



XXI Reunión Argentina de Agrometeorología

X Reunión Latinoamericana de Agrometeorología

Agrometeorología: respondiendo al futuro

Mariana Garbi - María Eugenia Sánchez de la Torre

Editoras responsables

RALDA 2026

23 al 25 de septiembre de 2026

La Plata, Argentina



XXI Reunión Argentina de Agrometeorología
X Reunión Latinoamericana de Agrometeorología

Garbi, Mariana; María Eugenia Sánchez de la Torre

Editoras Responsables

Garbi, Mariana; María Eugenia Sánchez de la Torre

Compiladoras

Asociación Argentina de Agrometeorología

La Plata, Buenos Aires, Argentina

Garbi, Mariana

XXI Reunión Argentina de Agrometeorología - X Reunión Latinoamericana de Agrometeorología: Agrometeorología: respondiendo al futuro / Mariana Garbi; María Eugenia Sánchez de la Torre; Compilación de Mariana Garbi; María Eugenia Sánchez de la Torre; Editado por Mariana Garbi; María Eugenia Sánchez de la Torre. - 1a ed. compendiada. - Manuel B. Gonnet: Mariana Garbi, 2026.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-631-01-8347-3

1. Bioclimatología. 2. Agronomía. 3. Planificación. I. Garbi, Mariana, comp. II. Sánchez de la Torre, María Eugenia, comp. III. Garbi, Mariana, ed. IV. Sánchez de la Torre, María Eugenia, ed. V. Título.

CDD 630

Equipo editorial

Editoras responsables

Garbi, Mariana (UNLP, UNAJ)

Sánchez de la Torre, María Eugenia (UNLP)

Compiladoras

Garbi, Mariana (UNLP, UNAJ)

Sánchez de la Torre, María Eugenia (UNLP)

Diseño del isologotipo de la RALDA 2026

Puig, María Lucrecia (UNLP)

Autoridades de la AADA 2024-2026

Presidente

Leonardo Ariel Serio (UBA)

Vicepresidente

Mariana Garbi (UNLP, UNAJ)

Secretaria

Andrea del Valle Rivarola (UNRC)

Secretaria de actas

Verónica Anibalini (UNR)

Prosecretaria

Silvina Maio (UBA)

Tesorero

Ángel Domingo Blasón (UNLZ)

Protesorero

Diego Agustín González (UNCo)

Vocales titulares

Guillermo Toffoli (UNL)

Luis Damian Rodríguez (UNICEN)

Vocales suplentes

Ana B. Wingeyer (INTA, CONICET)

Cristian Albors (UNSJ)

Comisión organizadora de la RALDA 2026

Presidente

Susana Beatriz Martínez (UNLP)

Vicepresidente

María Lucrecia Puig (UNLP)

Secretarias

María Pincioli (UNLP)

Luciana Agostina Dell’Arciprete Giglio (UNLP)

Tesorero

Martín Pardi (UNLP)

Colaboradores

Delfina Guaymasí (UNLP)

Marco D’Amico (UNLP)

María Herminia Abre (UNLP)

Comité científico de la RALDA 2026

Presidente

Mariana Garbi (UNLP, UNAJ)

Vicepresidente

María Eugenia Sánchez de la Torre (UNLP)

Pares evaluadores

Agnelli, Lorena (UNLP)	Gusmerotti, Lucas (UNLP, INTA)
Aguirre, César Augusto (UNER, CONICET)	Irigoyen, Andrea (UNMdP)
Alfonso, Carla (UNdMP)	Maiale, Santiago (INTECH, UNLP)
Anibalini, Verónica (UNR)	Maio, Silvina (UBA)
Altamirano, Rodrigo (UNLP)	Martínez, Susana Beatriz (UNLP)
Barrucand, Mariana (UBA, CONICET)	Morelli, Gabriela Andrea (UNLP, UNAJ)
Bezus, Rodolfo (UNLP)	Otero, Jeremías (UNLP)
Besteiro, Sebastián (UNLP)	Palazzini, Dino Andrés (UNLP, INTA)
Bohn, Vanesa (UNS, CONICET)	Pántano, Vanesa (UBA, CONICET)
Calvo, Luciano (UNLP, UNAJ)	Pardi, Martín (UNLP)
Caputo, Agustina (UNLP)	Pincirolí, María (UNLP)
Carmona, Facundo (IHLLA, CIC-UNICEN-CONICET)	Puig, María Lucrecia (UNLP)
Castro, Ana Carolina (UNLP)	Rivarola, Andrea (UNRC)
Chale, Walter (UNLP)	Saldúa, Vilma Luciana (UNLP)
Cravero, Silvia (UNSa)	Strassera, María Eugenia (INTA)
Delgado, María Isabel (UNLP)	Tonti, Natalia (UBA, CONICET)
de la Casa, Antonio (UNC)	Trigo, María Soledad (UNLP)
del Barrio, Ricardo (UNRN, CONICET)	Rodríguez, Luis Damian (UNICEN)
Demetrio, Pablo (CONICET)	Sánchez de la Torre, María Eugenia (UNLP)
Fava, Maximiliano (UNLP)	Serio, Leonardo Ariel (UBA)
Fernández, Federico (UNLP)	Spescha, Liliana (UBA)
Fernández Long, María Elena (UBA)	Toffoli, Guillermo (UNL)
Gaspari, Fernanda Julia (UNLP)	Wingeyer, Ana Beatriz (INTA, CONICET)

Declaración de Interés Académico e Institucional

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata

Expediente N° 200-3057/26 – Resolución C.D. N° 243

Prólogo

A 52 años de su fundación, la Asociación Argentina de Agrometeorología (AADA) continúa fomentando el desarrollo de la Ciencia Agrometeorológica en todo el país y estrechando vínculos con colegas de todo el continente, a través de la Federación de Asociaciones Latinoamericanas de Agrometeorología (FALDA). Aún en contextos desfavorables, por motivos sanitarios primero y económicos después, ha mantenido la continuidad de sus actividades y reuniones periódicas, reuniendo en cada ocasión a investigadores, docentes, estudiantes, profesionales y empresarios vinculados directa o indirectamente a la actividad.

En ocasión de la XXI Reunión Argentina y X Latinoamericana de Agrometeorología (RALDA 2026) renació la oportunidad de reencontrarnos, frente a frente después de muchos años, en la hermosa ciudad de La Plata, corazón del cinturón hortícola bonaerense.

La Reunión, con sede en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), fue organizada por docentes e investigadores locales, quienes definieron el lema “Agrometeorología: respondiendo al futuro”, una temática acorde con el rol que debemos asumir frente a los desafíos de un mundo que cambia a un ritmo cada vez más acelerado.

Esta publicación reúne los resúmenes extendidos de los trabajos presentados en la RALDA 2026, conformando una muestra del estado del arte de la Agrometeorología en la Argentina y en el resto de Latinoamérica.

Se agradece el trabajo de la Comisión Organizadora, del Comité Científico y de los pares evaluadores, sin cuya colaboración no hubiera sido posible la realización del evento y la publicación de este libro de resúmenes.

En nombre de la AADA, extendiendo el agradecimiento a las instituciones que expresaron su interés, a las empresas que auspiciaron el evento y, muy especialmente, a la UNLP por los recursos económicos, humanos y edilicios que hicieron posible este encuentro.

Dr. Leonardo Serio
Presidente de la Asociación Argentina de Agrometeorología

La XXI Reunión Argentina de Agrometeorología y X Reunión Latinoamericana de Agrometeorología, que bajo el lema “Agrometeorología respondiendo al futuro” nos convoca a compartir conocimientos, experiencias y desafíos en torno a una disciplina esencial para comprender y acompañar las transformaciones de los sistemas productivos y del ambiente.

Esta Reunión tiene para nuestra Facultad un significado particularmente especial. Hace veinte años, en este mismo ámbito, la entonces Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, hoy Agroclimatología y Bioclimatología, organizaba la XI Reunión Argentina de Agrometeorología, cuyo lema fue “La Agrometeorología y el desarrollo local”.

Veinte años después, volvemos a encontrarnos en este lugar. El tiempo transcurrido nos permite reconocer cuánto ha evolucionado nuestra disciplina y, al mismo tiempo, cuánto han cambiado los desafíos que debemos afrontar. Aquella mirada puesta en el desarrollo local se proyecta hoy hacia un futuro caracterizado por una creciente variabilidad climática, el cambio climático, la transformación de los sistemas productivos y la incorporación permanente de nuevas tecnologías.

En este escenario, la Agrometeorología adquiere una relevancia cada vez mayor. El conocimiento del clima y sus interacciones con los sistemas agropecuarios constituye una herramienta fundamental para comprender los procesos productivos, anticipar riesgos, mejorar la toma de decisiones y contribuir al desarrollo de sistemas más sostenibles y resilientes.

Responder al futuro implica también transformar nuestras formas de investigar, enseñar y generar conocimiento. Las nuevas tecnologías y herramientas disponibles abren posibilidades que hace apenas algunos años eran difíciles de imaginar, pero también nos plantean nuevos interrogantes y responsabilidades. El desafío no es solamente incorporar tecnología, sino ponerla al servicio del conocimiento y de las necesidades de nuestra sociedad.

La dimensión latinoamericana de esta Reunión representa, en este sentido, una oportunidad privilegiada. Los desafíos asociados al clima, la producción y el ambiente trascienden las fronteras nacionales y requieren de la cooperación, el intercambio de experiencias y la construcción colectiva de conocimiento. Este encuentro constituye un espacio para fortalecer vínculos, compartir resultados y generar nuevas oportunidades de colaboración entre quienes, desde distintos lugares de nuestra región, contribuimos al desarrollo de la Agrometeorología.

Para nuestra Facultad, este encuentro tiene además una profunda significación histórica. Desde esta institución, que ha realizado aportes fundamentales a la formación y al desarrollo de la Agrometeorología en nuestro país, y que tuvo entre sus referentes al Ingeniero Agrónomo Julio Hirschhorn, reconocido como el primer agrometeorólogo del país. Celebramos especialmente la posibilidad de recibir nuevamente a la comunidad científica y académica de nuestra disciplina.

Los trabajos reunidos en este libro representan una parte de la diversidad y riqueza de conocimientos que actualmente se generan en el ámbito de la Agrometeorología. Cada contribución es, a su vez, expresión del compromiso de investigadores, docentes, profesionales y estudiantes con una ciencia que debe continuar evolucionando para acompañar las necesidades de nuestro tiempo.

Esperamos que este encuentro sea una oportunidad para compartir conocimientos, pero también para formular nuevas preguntas, establecer vínculos y construir colectivamente las respuestas que los desafíos actuales y futuros nos demandan. Hace veinte años hablábamos de desarrollo local. Hoy hablamos de responder al futuro. Entre ambos conceptos existe un mismo compromiso: generar conocimiento para comprender nuestro presente, anticiparnos a los cambios y contribuir a construir un futuro más sostenible y resiliente.

Deseamos que estas jornadas sean un espacio de encuentro, intercambio y construcción colectiva para seguir fortaleciendo, desde Latinoamérica, el presente y el futuro de nuestra Agrometeorología.

Dra. Ing. Agr. Susana Beatriz Martínez
Presidente Comisión Organizadora

Listado de Resúmenes por Área Temática

Orden alfabético de primer autor

Área Temática 1 - Agrometeorología y Biometeorología

Código	Autores	Título	Página
AT 1 - 001	Aguilera, R.B. Rodríguez, M.E. Selán A.L. Zamorano H.A. Dominguez F.M. Córica J.F.	Seguimiento agrometeorológico y fenológico en cerezos en la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo 2025	21
AT 1 - 002	Alanís, A.C. Puig, M.L. Acuña, N. Baeck, C. Florio, M.L. Morelli G.	Efecto del sombreado sobre el microclima y el crecimiento en plantas de kiwi (<i>Actinida deliciosa</i>) en condiciones de vivero	23
AT 1 - 003	Albarracin, S. Cardozo, A.R. Olinuck, J. Fernandez, C.	Análisis de olas de calor en Cerro Azul (Misiones, Argentina) durante el periodo 2009–2026	25
AT 1 - 004	Algañaraz, S.L. Ibarbia, B. Stemphelet, A. Mastronardi, A. Alfonso, C. Martínez D.R. Darwich, G. Pereyra Iraola M.M. Nagore M.L.	Efecto de la fecha de siembra y ciclo del híbrido sobre el rendimiento de maíz de segunda en Balcarce	27
AT 1 - 005	Álvarez Marichelar, J.M. Algañaraz, S.L. Ibarbia, B. Stemphelet, A. Mastronardi, A. Alfonso, C. Nagore M.L.	Cómo se determina el llenado de los granos en maíces de segunda en Balcarce	29
AT 1 - 006	Aragón, A.F. Paz, R.C. Roig, F. González Antivilo, F.	Efectos de las condiciones térmicas ambientales sobre la endodormancia, resistencia al frío y reservas de almidón durante la latencia invernal de <i>Vitis vinifera</i> L.	31
AT 1 - 007	Barberis, J.G. Kantolic, A. Barrucand, M.	Análisis comparativo de la relación entre rendimientos de soja y el SPI3 derivado de datos de precipitación observada, estimada por satélite y reanálisis	33
AT 1 - 008	Bezus, R. May, M.P. Porto, N. Maiale, S.	Caracterización de la variabilidad fenológica y productiva de poblaciones de <i>Sporobolus indicus</i> (L.)	35
AT 1 - 009	Bravo, M.V. Puig M.L. Florio M.L. Morelli G.	Condiciones meteorológicas y calidad poscosecha de kiwi en Mercedes	37
AT 1 - 010	Campos, B.S. Silva, L.F.F. Eloy, A.V.M. Navarro, L.M. Luz, L.M. Fernandes, G.S.T.	Evaporação da água do solo e coeficiente e coeficiente de evaporação (Ke) em ambientes no trópico úmido	39

AT 1 - 011	Campos, B.S. Souza, E.V. Silva, L.F.F. Eloy, A.V.M. Navarro, L.M. Luz, L.M. Fernandes, G.S.T.	Monitoramento meteorológico em ambientes sob diferentes níveis de sombreamento em clima tropical úmido	41
AT 1 - 012	Cavagnaro, M.A. Araneo, D.C. González Antivilo, F.	Evaluación de un modelo predictivo de brotación de vid con temperaturas medias	43
AT 1 - 013	Cavagnaro, M.A. Hidalgo, V.G.	Pronóstico de evapotranspiración potencial como herramienta de toma de decisiones. Caso de estudio en Los Chayanes, Tunuyán (Mendoza)	45
AT 1 - 014	Dell'Arciprete, L.A. Guaymasí, D. Pincioli, M. Puig, L. Martínez, S.B. Garbi, M.	Fenología reproductiva de tomate injertado según número de ejes por planta y aplicación de ácido salicílico	47
AT 1 - 015	Faroni, P.A. Veliz, A. Maio, S.	Evaluación del índice de requerimiento de satisfacción hídrica mediante la incorporación de un coeficiente de cultivo variable	49
AT 1 - 016	Fernández, F.E. Montes, F. Rodríguez Guiñazú, A. Bonamy, M. Prando, A.	Efecto del cultivo de servicio y su pastoreo sobre el rendimiento de soja en escenarios hídricos contrastantes	51
AT 1 - 017	Fernández, F.E. Rodríguez Guiñazú, A. Heguy, B. Jalil, G. Lamarche, L. Sarandón, P.	Variabilidad temporal de la productividad primaria neta aérea de una pradera húmeda de mesófitas de la depresión del Salado	53
AT 1 - 018	Gallego, L.D. Martin, D.M. Marilef, J.J. Fuente, G.E.	Acumulación de frío y calor para la brotación y floración de nogal (<i>Juglans regia</i> L.) en el Valle Inferior de Río Negro	55
AT 1 - 019	Gariglio, L. Tuninetti, F. Alisio, M.S. Toffoli, G.D. Dunger, G. Del Valle, E.E.	Parámetros poblacionales de <i>Tetranychus urticae</i> en soja y su relación con las variables meteorológicas	57
AT 1 - 020	Gariglio, L. Tuninetti, F. Alisio, M.S. Toffoli, G.D. Jáuregui, J.M. Del Valle, E.E.	Influencia de las variables meteorológicas sobre la oviposición de <i>Tetranychus urticae</i> en soja	59
AT 1 - 021	González, D.A. Merino, C. Pueblas, L. Orrego, L.	Análisis de índices térmicos para <i>Cydia pomonella</i> en frutales con enfoque agroecológico de Cinco Saltos, Río Negro	61
AT 1 - 022	Heck, M.I. Albarracin, S. Fariza, S.I. De Lucía, A.D. Cardozo, A.R. Blaszchik, J.A. Radke, R.A.	Condiciones agrometeorológicas asociadas a la explosión poblacional de <i>Dalbulus maidis</i> y al brote epidémico del complejo del achaparramiento del maíz en Misiones durante la campaña 2023-24	63

AT 1 - 023	Mare, F.E. Giacomino, C.S. Nieto, R.G. Palo Oliver, T. Sylvester A.S. Tkachuk, C. Gariglio, L. Toffoli, G.D.	Efecto de las olas de calor sobre la producción y la composición láctea en vacas Holstein en la cuenta lechera santafecina	65
AT 1 - 024	Mariano, A.G. Uhlmann, L.O. Thewes, F.R. Schutz, N.W. Pinto, B.R.C. Agnes, L.V. Santos, M.G.	Estimativa da temperatura basal inferior e antocrono para emissão de flores masculinas em <i>Abobrinha italiana</i>	67
AT 1 - 025	Mariano, A.G. Uhlmann, L.O. Thewes, F.R. Schutz, N.W. Loss, E. Reis, B.E. Costa, L.P.	Filocrono de genótipos de <i>Abobrinha italiana</i> em distintas épocas de semeadura	69
AT 1 - 026	Martin, D.M. Marilef, J.J. Fuente, G.E. Roncoroni, F. Gallego, L.D. del Barrio, R. A.	Disponibilidad agroclimática para el almendro (<i>Prunus amygdalus</i> Batsch.) en zonas no tradicionales, Valle Inferior del Rio Negro y Coronel Rosales	71
AT 1 - 027	Martínez, S. Sánchez de la Torre, M.E. Abre, M.H. Dell'Arciprete, L. Garbi, M.	Déficit de presión de vapor dentro de un invernadero del cinturón hortícola platense para un ciclo de tomate tardío	73
AT 1 - 028	Mastronardi, A. Cerrudo, A. Nagore, M.L.	Análisis comparado del crecimiento de soja, maíz y girasol de segunda en el sudeste bonaerense	75
AT 1 - 029	Moura, M.G.G. Campos, B.S. Souza, E.V. Navarro, L.M. Luz, L.M. Fernandes, G.S.T.	Necessidades térmicas do girassol de corte cultivado nas condições climáticas de Amazonia Oriental	77
AT 1 - 030	Pautasso, J.M. Barbagelata, P. Díaz, M.	Variables climáticas y rendimiento de maíz y trigo en Entre Ríos: análisis exploratorio	79
AT 1 - 031	Puccetti, C Maio, S.	Análisis de eventos cálido-húmedos durante el periodo 2000-2026 en la ciudad de Buenos Aires	81
AT 1 - 032	Pugliese, G. Aragon, F. Martin, E. Gonzalez Antivilo, F. Paz, R.	Influencia de las condiciones meteorológicas en el desarrollo de oidio en cucurbitáceas	83
AT 1 - 033	Rodríguez, L.D. Lázaro, L. Hernandez, G. Ressia, J. Lyra, G.B. Rodrigues Pereira, C.	Parametrización del modelo Armida para simular el crecimiento potencial de <i>Arundo donax</i> L.	85
AT 1 - 034	Rodríguez, D. Lázaro, L. Ressia, J. Laddaga, J. Grosso, J. Bongiorno, C.	Evaluación de la producción de biomasa aérea de <i>Arundo donax</i> L. durante cuatro años bajo diferentes condiciones de manejo en Azul, Buenos Aires	87
AT 1 - 035	Rosales Flores, S.J. Segura Badilla, D.	Influencia del gradiente altitudinal sobre la aptitud agroclimática del chayote en Paraíso, Costa Rica	89

AT 1 - 036	Stemphelet, A. Mastronardi, A. Alfonso, C. Candelo, A. Nagore M.L.	Rendimiento del cultivo de arveja y fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense	91
AT 1 - 037	Toffoli, G.D. Gariglio, L. Leva, P. Acetta, P. Ribero, G.G. Stegmayer, I. Strappini, A.C.	Respuesta funcional de vacas Holstein a una ola de calor	93
AT 1 - 038	Toffoli, G.D. Viretto, P.E. Frossasco, G.P. Leva, P. Ribero, G.G. Gariglio, L. Mendez, L. Strappini, A.C.	Efecto del índice de temperatura y humedad sobre el comportamiento postural en vacas lecheras	95
AT 1 - 039	Viale, M. García Bu Bucogen, G.	Características climáticas de la zona vitivinícola de Gualtallary, Mendoza	97
AT 1 - 040	Voisin, A. Bezus, R. Marega, F. Castro, A. Pellegrini, A.	Comportamiento fenológico y productivo de canola en la zona de influencia de La Plata (Buenos Aires, Argentina)	99
AT 1 - 041	Zeman, E. Agüero, S. Portocarrero, R. Abbas Silman, M. Castillo, E. Valdivieso, E. Merhell, L.	Patrón espacial de horas de frío efectivas en el gradiente altitudinal de Tucumán, Argentina	101

Área Temática 2 – Micrometeorología – Modelos biofísicos

Código	Autores	Título	Página
AT 2 - 001	Aguilar Ferraro, S. Honoré, M.N. Demetrio, P.M. Sánchez, E.Y. Molina-Aiz, F.D.	Modelización del impacto de diferentes coberturas de suelo en el microclima de invernaderos: caso de estudio en Almería, España	104
AT 2 - 002	Aguirre, C.A. Sedano, C.G. Rondán, G.A. Rut, T.M.A. Cardozo, M.A.	Modelo de flujo de calor para estimar el perfil de la temperatura del suelo	106
AT 2 - 003	Dickie, M.J. Martín, B. Coronel, A.	Calibración del modelo Aquacrop para el cultivo de maíz en Cañada de Gómez, Santa Fe	108
AT 2 - 004	Elguezabal, M.C. Aguas, L. Hernández, G. Laddaga, J.	Eventos extremos de precipitación en Azul (Buenos Aires): análisis comparativo entre registros pluviográficos (2003-2017) y automáticos (2019-2026)	110
AT 2 - 005	Hernández, G. Mujica, C. Aguas, L. Rodríguez, D. Laddaga, J. Elguezabal, C.	Coherencia espacial de inversiones térmicas nocturnas en la llanura pampeana y su relación con heladas	112
AT 2 - 006	Palamidessi, E. Covi, M. Curto, L. Carnelos, D.	Estudio de la variabilidad espacio-temporal de la radiación fotosintéticamente activa en un invernadero	114

Área Temática 3 – Instrumental - Redes de Observación - Servicios Agroclimáticos

Código	Autores	Título	Página
AT 3 - 001	Anibalini, V.A. Gastardo, J. Spinozzi, J. Berardi, J.	Análisis espacio-temporal de las precipitaciones a corta distancia	117
AT 3 - 002	Araujo, V.A. Naranjo Tamayo, E.B.	Desarrollo de un modelo de pronóstico operativo y sectorizado de heladas en Mendoza	119
AT 3 - 003	Bonel, N. Romero, P. Goñi, J. Ferreira, L. Bazzana, J. Pearson, J.	Coproducción de servicios climáticos: experiencia de las mesas agroclimáticas comunitarias en Santa Victoria Este (Salta)	121
AT 3 - 004	Borges, A.B.C. Chagas, C.I.B. Moura, M.G.G. Soares, A.G.M. Fernandes, G.S.T.	Atmosense: solução multiplataforma para monitoramento e visualização de dados meteorológicos	123
AT 3 - 005	Carmona, F. Orte, P.F. Laino Baldini, C. Serrano Gandolfo, M. Wolfram, E.	Estimación de la radiación fotosintéticamente activa mediante modelos empíricos en Río Gallegos, Argentina	125
AT 3 - 006	Fernandes, G.S.T. Souza, E.V. Borges, A.B.C. Moura, M.G.G. Navarro, L.M. Carvalho, T.S. Soares, A.G.M. Almeira, I.R.	Avaliação do desempenho do CHIRPS na estimativa da precipitação pluviométrica na região da Amazônia oriental	127
AT 3 - 007	Francce, V. Sambuccetti, E. Ferreira, L. Romero, P.	Estudio inicial de beneficios socioeconómicos de servicios climáticos: metodología en la cuenca del Pilcomayo	129
AT 3 - 008	Franco, M. Flores, K. Barnatán, I. Almiron, M.A. Hamze, L.M.	UPLUV: una herramienta dinámica para la digitalización de fajas pluviométricas	131
AT 3 - 009	Golin, A. Mujica, C. Laddaga, J. Elguezabal, M.C. Villanueva, I.	Efecto de la ventana de acumulación diaria (09 HL vs. 00 UTC) en la precipitación de la llanura pampeana	133
AT 3 - 010	Jozami, E. Barbero, S. Dickie, M.J.	Caracterización de los eventos de inversión térmica durante junio 2025-junio 2026 en Zavalla, Santa Fe	135
AT 3 - 011	Mendez, M.J. Bazan-Azargado, R.	Desarrollo de un lisímetro-evaporímetro para medir la evapotranspiración de referencia	137
AT 3 - 013	Ovando, G. de la Casa, A. Díaz, G. Clemente, J. Díaz, P. Soler, F. Tortero, M.K. Bustos Revol, S. Caramello, N. Gabba, L.	Desarrollo de un sistema electrónico para monitorear estrés hídrico en soja	139
AT 3 - 014	Pautasso, J.M. Fontanini, P. Barbagelata, P.	Calibración de ERA5-LAND para reconstrucción de series agrometeorológicas en el centro-este de Entre Ríos	141

AT 3 - 015	Serrano Gandolfo, M. Carmona, F. Gargiulo, J.D.	Automatización de un tanque tipo A para el monitoreo continuo de la evaporación	143
------------	---	---	-----

Área Temática 4 – Teledetección - Sistemas de Información Geográfica

Código	Autores	Título	Página
AT 4 – 001	Carrasco Galleguillos, F.M. Basualdo, A.B.	Índice satelital TVDI obtenido a partir de productos VIIRS	146
AT 4 - 002	Forlenza, M.A. Texeira, M.A.	Efecto del fenómeno el niño sobre la dinámica de pastizales del río de la plata	148
AT 4 - 003	García Bu Bucogen, G. López, C.A. Araneo, D.C. Viale, M.	Detección satelital y caracterización topográfica de áreas afectadas por heladas tardías (2017-2023)	150
AT 4 - 004	Gaspari, F.J. Anselmino, C.B. Giovenale, V.E.	Identificación de eventos pluviales a nivel satelital	152
AT 4 - 005	Golin, A. Mujica, C. Hernández, G. Rodríguez, L.D. Villanueva, I.	Validación y corrección de ERA5-LAND para series climáticas diarias transferibles a zonas no aforadas en la cuenca del Azul	154
AT 4 - 006	González, D.A. Forquera, J.C. Pueblas, L. Nobile, N. Orrego, L. Roca, J.C.	Modelado geostadístico híbrido y proyección del cambio climático en la cuenca del arroyo Vilcunco, Aluminé	156
AT 4 - 007	Melgares, E. Gabioud, E.A. Ghilini, D.A. Wingeyer, A.B.	Estimación de susceptibilidad a inundaciones mediante variables topográficas e hidrometeorológicas para Entre Ríos	158
AT 4 - 008	Vargas, S.M. Vázquez, V.N. Visentini, E. Arias, J. Velázquez, N. Hurtado, R.	Calidad y consistencia de datos de precipitación satelitales en provincia de Salta, Argentina	160

Área Temática 5 – Variabilidad Climática - Cambio climático - Adaptación, Mitigación y Resiliencia - Energías alternativas

Código	Autores	Título	Página
AT 5 - 001	Berman, A.L. Gattinoni, N.	Análisis de la ocurrencia de temperaturas extremas para maíz en Argentina a partir de simulaciones climáticas	163
AT 5 - 002	Blanco, P.S. Doyle, M.E.	Tendencia climática histórica y futura en la región húmeda del este argentino mediante modelos climáticos globales del CMIP6	165
AT 5 - 003	Blanco, P.S. Doyle, M.E.	Expansión futura de las tierras secas en Argentina bajo distintos escenarios de cambio climático	167
AT 5 - 004	Cabré, M.F. Solman, S. Nuñez, M.	Zonificación vitivinícola futura de uva Malbec en Argentina en base a las simulaciones CORDEX-CORE	169
AT 5 - 005	Carvalho, T.S. Mota, A.O.N. Chagas, I.B.C. Navarro, L.M. Fernandes, G.S.T.	Caracterização climatológica dos extremos mensais de precipitação na microrregião Bragantia, Amazônia Oriental	171
AT 5 - 006	Chagas, C.I.B. Borges, A.B.C. Souza, E.V. Almeida, I.R. Fernandes, G.S.T.	Variabilidade e extremos de precipitação na região da Amazônia Oriental: uma abordagem baseada em percentis	173

AT 5 - 007	de la Casa, A. Ovando, G. Díaz, G. Clemente, J. Díaz, P. Soler, F. Tortero, K. Bustos Revol, S. Caramello, N.	Tendencia de calor extremo y olas de calor entre 1970 y 2024 en la región central de Córdoba, Argentina	175
AT 5 - 008	Dickie, M.J. Martín, B. Coronel, A.	Áreas homogéneas de rendimiento de maíz y su asociación con la variabilidad climática en el sur de Santa Fe	177
AT 5 - 009	Erbetta, E. Pintos, D.O.	Riesgo de exposición a altas temperaturas en el cultivo de papa en escenarios climáticos pasados y recientes	179
AT 5 - 010	Erbetta, E. Pintos, D.O.	Riesgo de heladas en el cultivo de papa en escenarios climáticos pasados y recientes	181
AT 5 - 011	Fernandes, G.S.T. Souza, E.V. Navarro, L.M. Carvalho, T.S. Mota, A.O.N. Soares, A.G.M. Almeira, I.R.	Avaliação do desempenho de modelos climáticos e projeções futuras para a região Bragantina, Amazônia Oriental	183
AT 5 - 012	Iacovone, M.F. Pántano, V.C. Penalba, O.C.	Eventos compuestos bajo condiciones ENSO en el sudeste de Sudamérica	185
AT 5 - 013	Laddaga, J. Elguezabal, M.C. Aguas, L. Hernandez, G.	Caracterización de lluvias de alta intensidad en Azul mediante registros históricos y automáticos	187
AT 5 - 014	Luna Toledo, E. Montilla, P. Valdez, J. Juárez, O. Martínez del Pezzo, A.	Respuesta de las precipitaciones extremas de Chimal, La Rioja, a las fases del ENSO	189
AT 5 - 015	Mendez, M. Vergara, G. Casagrande, G.	Proyección de heladas meteorológicas bajo el escenario de emisiones moderadas en el oeste de la región pampeana de Argentina	191
AT 5 - 016	Pántano, V.C. Iacovone, M.F. Penalba, O.C.	Impacto de los extremos compuestos en el rendimiento del maíz para las distintas fases del ENSO	193
AT 5 - 017	Pinto, L. Sanchez, S.I. Vahnovan, V.	Caracterización de sequías en La Plata mediante curvas Magnitud-Duración-Frecuencia	195
AT 5 - 018	Rivarola, A. Ledesma, M. Accastello, N. Paton, L. Palermo, J. Llames, A.	Variabilidad climática interanual y estacional en el Departamento de Río Cuarto: análisis comparativo de tres localidades	197
AT 5 - 019	Rodríguez Diana, G. Cravero, S.A.C. Curti, R.N.	Incremento de temperaturas en las últimas 5 décadas en el Valle de Lerma (Provincia de Salta)	199
AT 5 - 020	Rodríguez Diana, G. Cravero, S.A.C. Curti, R.N.	Análisis de olas de calor registradas en el último medio siglo en dos localidades de la provincia de Salta	201
AT 5 - 021	Rosales Flores, J.	Tendencias térmicas en la región central de Costa Rica: implicaciones para la producción de café	203

AT 5 - 022	Rosales, D.A. Incicco, C.N. Sörensson, A.A. Montaña, E. Mussetta, P. Rivera, J.A.	Construyendo información útil para productores sobre la disponibilidad de agua en Mendoza	205
AT 5 - 023	Rosales, D.A. Sörensson, A.A. Ruscica, R.C. Mindlin, J. Shepherd, T.G. Cos, P. Cappelletti, L.M.	Narrativas dinámicas de controladores climáticos que conducen a impactos en la Cuenca del Plata	207
AT 5 - 024	Sanchez, S.I. Blázquez, J. Pántano, V.C.	Evolución reciente del ciclo hidrológico atmosférico en sudamérica	209
AT 5 - 025	Tarazona, N.L. Chilan, W.P.	Coberturas de suelo como estrategia de mitigación y resiliencia frente a la variabilidad climática	211
AT 5 - 026	Xavier, R.G. Martins, F.B. Santos, F.C.O. Fagundes, F.F.A.	Padrões espaciais de risco climático para a teca em cenários atuais e futuros no Brasil	213
AT 5 - 027	Zeman, E. Maio, S. Serio, L.	Validación de la generación de una serie extendida de precipitación en el área productiva de Tucumán, Argentina	215

Área Temática 6 – Adversidades Agroclimáticas - Riesgo y Vulnerabilidad Socioambiental

Código	Autores	Título	Página
AT 6 - 001	Andruchow Colombo, C. Doyle, M.E. Viale, M.	Características y cuantificación del transporte de humedad hacia el centro argentino en enero y julio	218
AT 6 - 002	Barbero, S. Dickie, M.J. Jozami, E.	Heladas agrometeorológicas y su relación con el Oceanic Niño Index (ONI) en Zavalla, Santa Fe	220
AT 6 - 003	de Estrada, M. Alvarez Zanelli, E.	Efectividad de la respuesta estatal ante sequías: análisis del monitoreo y la emergencia (2020-2023)	222
AT 6 - 004	Kucheruk, L.L. Spennemann, P.C. Rivera, J.A. Naumann, G. Peretti, M. Otkin, J.A.	Caracterización de la sequía de rápido desarrollo 2017-2018 en la pampa húmeda mediante múltiples índices	224
AT 6 - 005	Kucheruk, L.L. Spennemann, P.C. Rivera, J.A. Naumann, G. Gómez Mayol, M. Valdora, M. Rodríguez, D.	Análisis de forzantes de sequías de rápido desarrollo en el sudeste de Sudamérica	226
AT 6 - 006	Merino, R.A. Martorelli, B.A. Gassmann, M.I.	Efecto de eventos compuestos cálidos y secos sobre el NDVI integrado en áreas sojeras de Argentina	228
AT 6 - 007	Peretti, M. Spennemann, P. Carrasco Galleguillos, F. Bonhaure, D. Skansi, M.	Fortalezas y limitaciones de CHIRPS V3 para su uso en la detección de sequías agrícolas	230
AT 6 - 008	Ravelo, A.C. Zanvetor, R. Planchuelo, A.M	A strong El Niño event is developing in 2026: an analysis of international climate model outputs	232
AT 6 - 009	Ramos, S. García, M. de los A. Tesón, N. De la Peña, C.	Efecto de la disponibilidad hídrica en el crecimiento diamétrico de clones de eucalipto de alta productividad en el noreste entrerriano	234

AT 6 - 010	Serio, L.A.	Cambios en la probabilidad de heladas agrometeorológicas en localidades de la región pampeana	236
AT 6 - 011	Serritella, D.A. Mollá Kralj, A. Blasón, A.D.	Índice de peligrosidad climática de heladas: comparación de las series 1971-1995 vs. 1996-2020 sobre el territorio argentino	238
AT 6 - 012	Serritella, D.A. Mollá Kralj, A. Blasón, A.D.	Índice de peligrosidad climática de heladas (IPCH) en Argentina: período normal climatológico 1991-2020	240

Área Temática 7 – Enseñanza - Extensión – Sociedad

Código	Autores	Título	Página
AT 7 – 001	Aguilera, R.B. Hidalgo, V.G. Flores, C.A. Cavagnaro, M.A. Caretta, A.I.	Panel de expertos del ámbito privado como estrategia pedagógica en una clase de Meteorología Agrícola	243
AT 7 – 002	Dell'Arciprete Giglio L. A. Guaymasí D. Puig, M.L. Pincioli, M. Sánchez de la Torre, M.E. Garbi, M. Martínez, S. B.	Percepciones estudiantiles sobre el uso de inteligencia artificial en su trabajo integrador	245
AT 7 – 003	Fernández López, C. Hamze, L. Almirón, M.A. Fernández, J. Escalante, S.	Comunicación agrometeorológica en las actividades socioproductivas	247
AT 7 – 004	Flores, C.A.	Implementación de una estación meteorológica IoT como recurso didáctico	249
AT 7 – 005	Gastaud, J. Anibalini, V.A. Barbero, S. Jozami, E. Pistarelli, D. Dickie, M.J.	Más allá de los datos: la estación agrometeorológica de la FCA-UNR como aula abierta a la comunidad	251
AT 07 – 006	Hidalgo, V.G. Arancibia, C. Domínguez, D.L.E. Aguilera, R.B. Flores, C.A. Cavagnaro, M.A. Caretta, A.I.	Instagram e inteligencia artificial para enseñar Agrometeorología y Fisiología Vegetal	253
AT 7 - 007	Paton, L. Rivarola, A. Salusso, F. Pautasso, G. Ramos, D. Accastello, N. Cabrera, R. Llames, A. Ledesma, M. Palermo, J.	Integración de prácticas socio-comunitarias en el abordaje de adversidades climáticas: una experiencia en la formación agronómica	255
AT 7 - 008	Zeman, E. Biaggi, C. Portocarrero, R. D'Acunto, L. Valeiro, J. Bazán, W.	Propuesta pedagógica de agrometeorología a nivel primario. El club de los medidores	257

Área temática 1

Agrometeorología y biometeorología

SEGUIMIENTO AGROMETEOROLÓGICO Y FENOLÓGICO EN CEREZOS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS UNCUIYO 2025

Aguilera*, R.B.¹; Rodríguez, M.E.¹; Selán A.L.¹; Zamorano H.A.¹; Domínguez F.M.¹; Córca J.F.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, Chacras de Coria, Mendoza, 5505, Argentina

*Contacto: raguilera@fca.uncu.edu.ar

Palabras clave: requerimientos térmicos; latencia

INTRODUCCIÓN

La producción de cerezos está condicionada por las características agrometeorológicas del sitio y temporada. Para garantizar una brotación uniforme y una floración comercialmente viable, las especies frutales de hoja caduca deben satisfacer dos etapas críticas de latencia: la endolatenia, regulada por la acumulación de frío, y la ecolatenia, también dependiente de la acumulación de calor (Lang *et al.*, 1987; Tersoglio *et al.*, 2006). La variabilidad interanual de las condiciones agrometeorológicas presentes en Mendoza, acentuada por eventos de viento Zonda y precipitaciones estivales, plantea desafíos en la sincronización fenológica entre variedades autoincompatibles y sus polinizadoras (Tersoglio *et al.*, 2006). El objetivo de este trabajo fue relacionar las condiciones meteorológicas de la temporada 2025 con el comportamiento fenológico de las variedades Brooks (B), Lapins (L) y Santina (S) en la parcela experimental de la FCA-UNCuyo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se registraron las variables de temperatura del aire, precipitaciones y eventos adversos (viento Zonda). Mediante los datos térmicos, se calculó la oferta de frío acumulada -Unidades de Frío Utah modificadas, UF- (Tabla 1) y la acumulación de calor -Grados Horarios de Desarrollo, GDH- para las etapas de endo y ecolatenia. La endolatenia se consideró completada en base a los requerimientos bibliográficos locales según Tersoglio (2006): para B (355 UF), L (437 UF) y S (263 UF), mientras que la demanda de la latencia total se alcanzó a las 966, 923 y 1065 UF, respectivamente. Los GDH se contabilizaron desde la salida de la endolatenia hasta plena floración (70 % de flores abiertas), tomando como temperatura base 4,5 °C, considerando una temperatura óptima de 25 °C y una temperatura máxima de 36 °C. El seguimiento fenológico se realizó en la parcela productiva de la FCA UNCUIYO, siguiendo la escala de Baggiolini en las 3 variedades: B, L y S, donde se seleccionaron 3 plantas de cada variedad y ramas orientadas en los 4 puntos cardinales, marcando 50 yemas por planta y orientación. El monitoreo incluyó el conteo de yemas, flores por yema y frutos cuajados para determinar porcentajes de floración y cuaje de frutos.

Tabla 1. Unidades de frío (UF) asignado a cada rango de temperatura horaria (°C) según UCDavis.

UF	0	0,5	1	0,5	0	-0,5	-1
Rango	<1,11	1,12-2,22	2,23-8,88	8,89-12,22	12,23-15,55	15,56-18,33	>18,34

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que los requerimientos de latencia se cumplieron en las siguientes fechas (endo/eco): B (15/06 y 30/07), L (21/06 y 28/07) y S (09/06 y 05/08). La plena floración se registró el 19/09 (B), 21/09 (L) y 23/09 (S) (véase evolución del porcentaje de floración en la Figura 1). La acumulación de GDH fue de 12189 (B), 11670 (L) y 13071 (S), respectivamente. La acumulación de frío y calor citadas para estos cultivares y sitio se cumplieron para la temporada 2025. Los porcentajes de cuaje fueron del 4 % para B, 20 % L y 38 % S, siendo muy bajo para B, bajo para L y alto para S. En cuanto a los eventos meteorológicos relevantes registrados se encuentran la precipitación con caída de granizo del día 21 de septiembre, coincidente con la plena floración en Lapins. Esto pudo haber afectado negativamente el cuaje en dicha variedad. El bajo porcentaje de cuaje en la variedad Brooks (autoincompatible) se puede atribuir al adelantamiento de su floración respecto a su polinizadora (Lapins) sumado a la presencia de malezas con flores para la fecha que también son polinizadas por las abejas presentes. Estos resultados refuerzan que la satisfacción de la demanda de frío de un cultivar no explica totalmente, el comportamiento productivo. La satisfacción de la demanda mediante una adecuada oferta de frío es una condición necesaria, pero no suficiente, para lograr altas producciones. También hay aspectos muy específicos de cada variedad como la longevidad del óvulo, la producción de polen, la sensibilidad a heladas, la densidad de flores, la intercompatibilidad, la auto-compatibilidad, entre otros, que tienden a modificar la productividad de los cultivares.

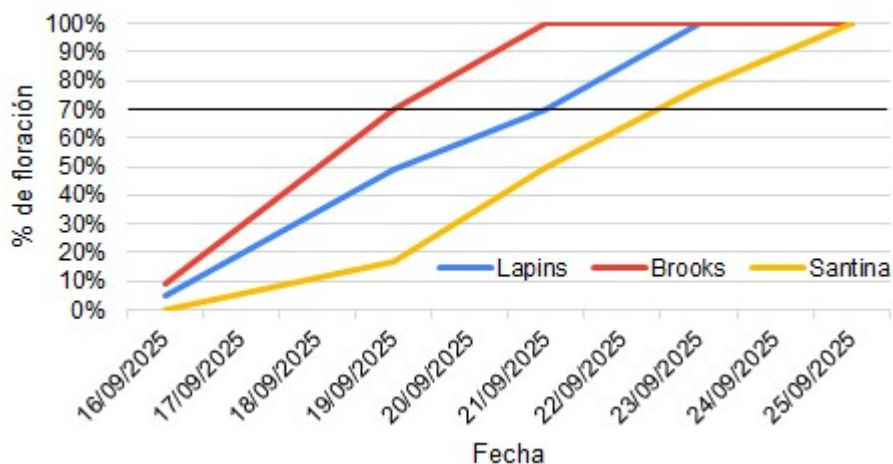


Figura 1. Evolución de la floración en cerezos Lapins, Brooks y Santana (70 % plena floración) FCA UNCUIYO 2025.

CONCLUSIONES

Se concluye que la cantidad de frío de latencia total y GDH superaron la demanda varietal indicada en la bibliografía para las 3 variedades, por lo que la oferta térmica de frío y calor 2025 satisfizo la demanda requerida. Sin embargo, el bajo cuaje en la variedad autoincompatible Brooks se atribuye al adelantamiento de su floración respecto a su polinizadora (Lapins). Asimismo, la precipitación con granizo registrada el 21/09 pudo haber afectado negativamente el cuaje en la variedad Lapins, demostrando la influencia de las condiciones meteorológicas en el comportamiento de los cultivares y reforzando la importancia de realizar registros meteorológicos y fenológicos para explicar la productividad entre otros factores.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los alumnos participantes en las reiteradas mediciones fenológicas llevadas a cabo.

REFERENCIAS

- Lang, G.A.; Early, J.D.; Martin, G.C.; Darnell, R.L. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22 (3):371-377.
- Tersoglio, E.; Naranjo, G.; Rivero, L.; Quiroga, M. 2006. Requerimientos de frío invernal y de calor en variedades de cerezos. *ITEA* 102(3):251-259.
- Tersoglio, E.D.; Setien, N.A. 2023. Requerimientos climáticos del cerezo. Cómo producir cerezas al norte del paralelo 32°. Monitoreo y control del déficit de frío en cerezos. Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, INTA 2023.

EFFECTO DEL SOMBREADO SOBRE EL MICROCLIMA Y EL CRECIMIENTO EN PLANTAS DE KIWI (*Actinidia deliciosa*) EN CONDICIONES DE VIVERO

Alanís, A.C.¹; Puig*, M.L.¹, Acuña, N.¹; Baeck, C.¹; Florio, M.L.¹; Morelli, G.¹

¹ Cátedra de Fruticultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Calle 60 y 119 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: lucrecia.puig@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: microclima; sombreado; *Actinidia deliciosa*

INTRODUCCIÓN

El manejo del ambiente durante las etapas iniciales del cultivo de kiwi (*Actinidia deliciosa*) resulta fundamental para optimizar la calidad de plantas en vivero. El kiwi es sensible a altos niveles de radiación y déficit de presión de vapor (DPV), factores que afectan la regulación estomática y el crecimiento vegetativo (Gucci *et al.*, 1996; Bardi *et al.*, 2022). El uso de cubiertas permite modificar estas condiciones microclimáticas. El objetivo fue evaluar el efecto de mallas con 50 % y 80 % de sombreado sobre el microclima (temperatura, humedad relativa y DPV), el crecimiento en altura y diámetro y el índice de verdor (SPAD) de plantas de kiwi durante el período estival.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en un vivero en La Plata, Buenos Aires, Argentina, entre el 12/12/2025 y el 06/03/2026, utilizando plantas de portainjerto “Bruno” de Kiwi (n = 20 por tratamiento) dispuestas bajo dos tratamientos de vivero: i) media sombra de malla al 50 % (T1) y ii) media sombra de malla al 80 % (T2). Las plantas se encontraban distribuidas aleatoriamente dentro de cada ambiente de sombreado y fueron seleccionadas por uniformidad inicial en altura y diámetro. El monitoreo de temperatura (T, °C) y humedad relativa (HR, %) se realizó mediante sensores automatizados con registro continuo. Para el análisis microclimático y su correspondencia con las determinaciones fisiológicas y morfológicas, se procesaron los datos correspondientes a la ventana horaria de mayor radiación y demanda atmosférica (11:00 a 15:00 h). El DPV (kPa) se estimó según Tetens (Allen *et al.*, 1998). Se evaluó la altura final (cm), el incremento de diámetro total acumulado (mm) y el índice de verdor mediante un medidor portátil SPAD en hojas completamente expandidas del tercio superior. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva (medias y DE) y las diferencias entre tratamientos se determinaron mediante la prueba t de Student (p<0,05) utilizando InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El registro de las variables microclimáticas evidenció que T1 presentó mayor temperatura y menor humedad relativa, determinando un DPV medio de 1,03 kPa, frente a 0,83 kPa registrado bajo T2. Estas diferencias indican que el mayor nivel de sombreado generó un ambiente de menor demanda evaporativa. En kiwi, la conductancia estomática presenta una marcada sensibilidad al incremento del DPV, constituyendo la regulación estomática un mecanismo de respuesta frente al aumento de la demanda atmosférica (Gucci *et al.*, 1996; Bardi *et al.*, 2022). En este sentido, el menor DPV registrado bajo T2 podría haber contribuido a generar condiciones más favorables para el intercambio gaseoso y, consecuentemente, para el crecimiento de las plantas. La tasa media de crecimiento en altura fue mayor bajo T2 (2,31 cm día⁻¹) que bajo T1 (1,91 cm día⁻¹), aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Asimismo, T1 presentó una mayor variabilidad en esta respuesta. En contraste, el incremento diametral fue significativamente mayor bajo T2, alcanzando un valor aproximadamente 40 % superior al registrado en T1. Esta respuesta diferencial sugiere que, bajo las condiciones del ensayo, el crecimiento radial resultó más sensible que el crecimiento en altura a las diferencias microclimáticas generadas por ambos niveles de sombreado. Antecedentes en kiwi indican que la modificación del ambiente lumínico mediante el uso de mallas puede afectar diferentes componentes del crecimiento vegetativo y la arquitectura del canopeo (Basile *et al.*, 2014). En este sentido, el mayor incremento diametral observado bajo T2 podría estar asociado no sólo a la reducción de la radiación incidente, sino también a las condiciones microclimáticas generadas por la mayor cobertura, particularmente la menor temperatura y el menor DPV registrados durante las horas de mayor demanda atmosférica. El índice SPAD fue significativamente mayor en T1, posiblemente asociado a respuestas de aclimatación a las diferentes condiciones de irradiancia (Boardman, 1977). Sin embargo, este mayor valor no se correspondió con un mayor crecimiento diametral, sugiriendo que las condiciones de mayor temperatura y DPV bajo T1 podrían haber limitado el crecimiento. En contraste, el menor SPAD de T2 coexistió con un mayor incremento diametral, probablemente favorecido por las condiciones microclimáticas generadas bajo la mayor cobertura. En conjunto, el mayor crecimiento diametral bajo T2 podría asociarse a las condiciones de menor temperatura y DPV generadas por el mayor sombreado, respuestas compatibles con las descriptas para kiwi bajo condiciones de modificación del microclima (Mandalà *et al.*, 2025).

Tabla 1. Parámetros microclimáticos medios (11:00 a 15:00 h) registrados bajo dos densidades de malla.

Tratamiento	Temperatura, °C	Humedad relativa, %	DPV, kPa
T1	24,2 ± 1,1 b	66,0 ± 4,2 b	1,03 ± 0,12 b
T2	22,9 ± 0,8 a	70,3 ± 3,5 a	0,83 ± 0,09 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05)

Tabla 2. Valores promedio (± DE) morfológicos y fisiológicos en plantas de kiwi bajo dos densidades de malla.

Tratamiento	Tasa de crecimiento en altura, cm día ⁻¹	Incremento diámetro, mm	Unidades SPAD
T1	1,91 ± 1,31 a	0,69 ± 0,26 b	33,95 ± 10,64 a
T2	2,31 ± 0,83 a	0,98 ± 0,40 a	23,65 ± 3,00 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05)

CONCLUSIONES

Las mallas con 80 % de sombreo mejoraron las condiciones microclimáticas durante el período evaluado, disminuyendo el DPV e incrementando la humedad relativa. Bajo este ambiente, las plantas presentaron mayor incremento diametral, mientras que el tratamiento con 50 % de sombreo registró mayores valores de SPAD. Estos resultados sugieren que, durante el período estival, una mayor cobertura puede contribuir a reducir la demanda atmosférica y favorecer el crecimiento de plantas de kiwi en vivero.

REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. FAO. Roma, Italia. 300 p.
- Bardi, L.; Nari, L.; Morone, C.; Solomita, M.; Mandalà, C.; Faga, M.G.; Migliori, C.A. 2022. Kiwifruit adaptation to rising vapor pressure deficit increases the risk of kiwifruit decline syndrome occurrence. *Horticulturae* 8:906.
- Basile, B.; Giaccone, M.; Shahak, Y.; Forlani, M.; Cirillo, C. 2014. Regulation of the vegetative growth of kiwifruit vines by photo-selective anti-hail netting. *Scientia Horticulturae* 172:300–307.
- Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology* 28:355–377.
- Gucci, R.; Massai, R.; Xiloyannis, C.; Flore, J.A. 1996. The Effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) vines. *Annals of Botany* 77:605–613.
- Mandalà, C.; Palazzi, F.; Bencresciuto, G.F.; Migliori, C.A.; Morabito, C.; Morone, C.; Nari, L.; Monaco, S.; Bardi, L. 2025. Orchard microclimate control as a way to prevent kiwifruit decline syndrome onset. *Plants* 14(7):1049.

ANÁLISIS DE OLAS DE CALOR EN CERRO AZUL (MISIONES, ARGENTINA) DURANTE EL PERÍODO 2009–2026

Albarracin*, S.¹; Cardozo, A.R.¹; Olinuck, J.¹; Fernandez, C.²

¹ INTA. E.E.A Cerro Azul. Ruta nacional 14. Km. 1085 - 3313 - Cerro Azul – Misiones – Argentina

² INTA. E.E.A Corrientes. Ruta nacional 12. Km 1008 - 3400 – El Sombrero – Corrientes – Argentina

*Contacto: albarracin.silvia@inta.gob.ar

Palabras clave: temperatura máxima; mínima; registro diario

INTRODUCCIÓN

El incremento de la temperatura media global y la intensificación de los eventos cálidos extremos constituyen señales ampliamente documentadas del cambio climático reciente. Los extremos cálidos han aumentado en frecuencia e intensidad en numerosas regiones, con efectos directos sobre la salud humana, la producción agropecuaria, los ecosistemas y la demanda hídrica (IPCC, 2023; World Health Organization, 2024). En regiones subtropicales húmedas, como el Nordeste Argentino, las olas de calor presentan particular relevancia debido a la combinación de temperaturas máximas elevadas, alta humedad atmosférica y temperaturas mínimas también altas, lo que reduce la recuperación térmica nocturna.

Misiones posee un clima subtropical húmedo, con elevada disponibilidad de humedad y frecuentes ingresos de masas de aire cálidas durante octubre-marzo. En este contexto, Cerro Azul constituye una localidad de interés agrometeorológico, debido a la presencia de sistemas productivos sensibles al estrés térmico, como yerba mate, té, cítricos, mandioca y horticultura. El análisis de olas de calor permite evaluar no solo la ocurrencia de días cálidos aislados, sino también la persistencia e intensidad de eventos capaces de generar impactos acumulativos.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor registradas en Cerro Azul (Misiones) durante el período 2009–2026, utilizando el criterio del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) basado en la superación simultánea de umbrales percentílicos de temperatura máxima y mínima durante tres o más días consecutivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima (TX) y temperatura mínima (TN) correspondientes a la estación meteorológica convencional de Cerro Azul (Misiones, Argentina). El período analizado fue 2009–2026. Para la identificación de olas de calor se aplicó el criterio del SMN, según el cual un evento ocurre cuando durante tres o más días consecutivos la temperatura máxima y la temperatura mínima igualan o superan simultáneamente los umbrales locales correspondientes al percentil 90 del semestre cálido octubre–marzo. Los umbrales utilizados para Cerro Azul fueron 34,6 °C para la temperatura máxima y 22,7 °C para la temperatura mínima, los mismos se estimaron de la serie histórica 1960/2008. A partir de estos valores se clasificaron los registros diarios en tres categorías: días con temperatura máxima extrema, cuando $TX \geq 34,6$ °C; días con temperatura mínima extrema, cuando $TN \geq 22,7$ °C; y días cálidos según criterio SMN, cuando ambas condiciones se cumplieron simultáneamente. Posteriormente, se identificaron secuencias de tres o más días cálidos consecutivos. Para cada evento se calcularon los siguientes indicadores: fecha de inicio y finalización, duración, temperatura máxima promedio, temperatura máxima alcanzada, intensidad acumulada de TX, intensidad acumulada de TN e intensidad acumulada total. La intensidad diaria se calculó como el exceso térmico respecto del umbral correspondiente. Por lo tanto, la intensidad acumulada total resultó de sumar, durante cada evento, los excedentes diarios de TX sobre 34,6 °C y de TN sobre 22,7 °C. Este enfoque permite evaluar no solo la frecuencia de los eventos, sino también su persistencia y severidad, indicadores ampliamente utilizados en estudios de caracterización de olas de calor (Lemus-Canovas *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período 2009–2026 se identificaron 16 eventos de ola de calor en Cerro Azul, que totalizaron 68 días bajo condiciones de calor persistente. La duración de los eventos osciló entre 3 y 9 días, con predominio de olas de calor breves a moderadas, entre 3 y 5 días. Sin embargo, se destacan episodios de mayor persistencia, principalmente en 2012 y 2022 (Figura 1). El año 2012 presentó la mayor frecuencia, con 5 eventos, y también la mayor cantidad de días dentro de olas de calor, con 22 días. Este resultado indica una elevada recurrencia de condiciones cálidas persistentes durante ese año. Por su parte, 2022 registró 3 eventos y se destacó por presentar la ola de calor de mayor duración e intensidad del período, ocurrida entre el 13/01/2022 y el 21/01/2022, con 9 días consecutivos. Este evento constituyó el episodio más severo del período analizado, debido a la combinación de persistencia, temperaturas máximas elevadas y mínimas superiores al umbral.

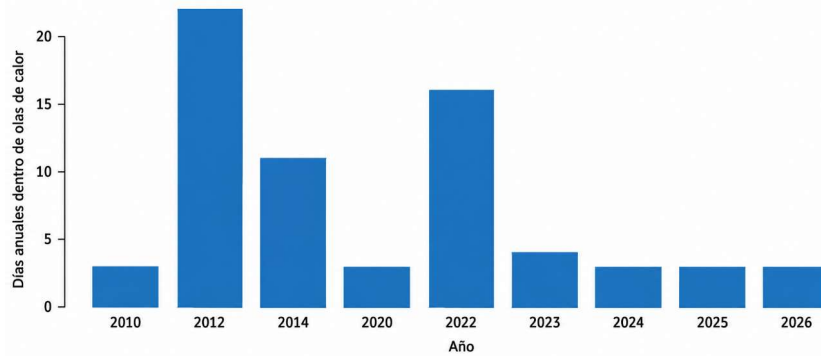


Figura 1. Días anuales dentro de olas de calor en Cerro Azul (Misiones) durante el período 2009–2026. Se consideran eventos definidos por tres o más días consecutivos con $TX \geq 34,6^{\circ}\text{C}$ y $TN \geq 22,7^{\circ}\text{C}$.

La Figura 1 muestra que la mayor carga térmica anual ocurrió en 2012, con 22 días dentro de olas de calor. En segundo lugar, se ubicó 2022, con 16 días. Estos dos años concentran una proporción importante de los días bajo condiciones de calor persistente del período analizado. En 2014 también se observó una carga térmica relevante, con 11 días en ola de calor, mientras que los años 2010, 2020, 2024, 2025 y 2026 presentaron eventos más breves, con 3 días cada uno. En 2023 se registraron 4 días dentro de olas de calor.

La intensidad acumulada permitió diferenciar eventos de duración similar pero distinta severidad. Según los indicadores calculados, la intensidad acumulada de TX alcanzó $187,1^{\circ}\text{C}$, la de TN $127,1^{\circ}\text{C}$ y la intensidad total $314,2^{\circ}\text{C}$. En promedio, durante los días en ola de calor la TX superó su umbral en $2,3^{\circ}\text{C día}^{-1}$ y la TN en $1,6^{\circ}\text{C día}^{-1}$. Estos valores resaltan el aporte de las noches cálidas a la carga térmica total. En términos agroclimáticos, la persistencia de TX y TN elevadas puede aumentar la evapotranspiración, reducir la humedad del suelo, afectar la floración y crecimiento, disminuir la productividad y elevar la demanda de riego. Desde el punto de vista sanitario, la TN elevada limita la recuperación nocturna y aumenta el riesgo en población vulnerable y trabajadores expuestos.

El análisis de olas de calor en Cerro Azul, Misiones, durante el período 2009–2026 permitió identificar 16 eventos y 68 días bajo condiciones de calor persistente según el criterio SMN. La mayoría de los eventos presentó una duración de 3 a 5 días, aunque se registró una duración máxima de 9 días en enero de 2022. Los resultados más relevantes indican que 2012 fue el año con mayor frecuencia de eventos y mayor cantidad de días en ola de calor, mientras que 2022 presentó el episodio más prolongado e intenso.

CONCLUSIONES

Las olas de calor en Cerro Azul se caracterizaron por una frecuencia moderada, con episodios de alta carga térmica anual. El año 2012 fue crítico por recurrencia y acumulación de días bajo calor persistente, el año en el cual se atravesó un segundo período de sequía persistente registró la Ola de Calor más extensa.

El uso de indicadores de duración e intensidad acumulada mejora la interpretación del riesgo térmico respecto del análisis de máximas aisladas. Los resultados sostienen la necesidad de mantener el monitoreo meteorológico local, fortalecer alertas tempranas y considerar estrategias de adaptación para sistemas productivos y población expuesta en Misiones.

REFERENCIAS

- IPCC. 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- Lemus-Canovas, M.; Martin-Vide, J.; Moreno-Garcia, M.C.; Lopez-Bustins, J.A. 2017. Changes in heat wave characteristics over Extremadura, SW Spain. *Theoretical and Applied Climatology* 129:605–617.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2024. Estadísticas climáticas y definición operativa de olas de calor. Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina.
- World Health Organization. 2024. Heat and health. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y EL CICLO DEL HÍBRIDO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ DE SEGUNDA EN BALCARCE

Algañaraz, S.L.¹; Ibarbia, B.¹; Stemphelt, A.¹; Mastronardi, A.¹; Alfonso, C.¹; Martínez, D.R.¹; Darwich, G.¹; Pereyra Iraola, M.M.¹; Nagore*, M.L.¹

¹ FCA, UNMDP Balcarce, Argentina, Ruta 226, km 73,5; Balcarce, 7620, Argentina

*Contacto: mnagore@mdp.edu.ar

Palabras clave: biomasa; índice de cosecha; radiación; número de granos; peso de granos

INTRODUCCIÓN

La siembra de maíz (*Zea mays* L.) de segunda aumentó significativamente en las últimas campañas en el SE bonaerense, desplazando a la soja. La región se caracteriza por poseer una gran proporción de su superficie bajo cultivos de invierno, como trigo y cebada, generando una gran oportunidad para la siembra de cultivos de segunda, y caracterizados además por tener una estación de crecimiento acotada. Retrasos en la fecha de siembra de maíz afecta el crecimiento y la fenología del cultivo. En comparación con siembras tempranas, los maíces de segunda aceleran su crecimiento y desarrollo durante la etapa vegetativa (previo a floración), debido a mayores valores de temperatura y radiación a los que se exponen (Otegui *et al.*, 2023). Durante etapas reproductivas de llenado de granos, dichas condiciones fototermales se deteriora provocando caídas en el número de granos y afectando considerablemente el llenado de los granos, pudiendo incluso producirse una finalización anticipada del mismo por la ocurrencia de heladas (Otegui *et al.*, 2023). Dependiendo del cultivo de primera, la siembra de maíz de segunda puede extenderse desde mediados de diciembre con antecesor cebada, hasta principios de enero con antecesor trigo. Cuando más tarde sea la siembra del maíz mayor será la reducción del rendimiento y la probabilidad de la incidencia de una helada en etapas reproductivas (Andrade *et al.*, 2023). El efecto de las bajas temperaturas sobre la acumulación de materia seca en los granos puede disminuir usando maíces de menor ciclo o de menor madurez relativa (MR). Se espera que maíces precoces, de menor ciclo, se adapten mejor a siembras de segunda que maíces de mayor ciclo. En el presente trabajo se estudiará como variaciones en la madurez relativa del híbrido y en las fechas de siembra de segunda afectan el rendimiento de un cultivo de maíz de segunda en condiciones de secano. Además, se ahondará en los mecanismos ecofisiológicos que pueden estar involucrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue llevado a cabo en la UIB, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, durante la campaña 2023/24. Se sembraron 4 híbridos de maíz de distinta madurez relativa: MR80 (Experimental), MR99 (P9946VYHR), MR106 (P0622 VYHR) y MR120 (DK7220PRO4) en tres fechas de siembra de segunda: 14-dic, 27-dic y 18-ene, luego de cultivo antecesor trigo, bajo sistema de siembra directa, con una densidad de 6 pl m⁻², con una distancia entre hileras 0,52 m. Se fertilizó a la siembra con 40 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico y 100 kg ha⁻¹ de urea. Las parcelas fueron mantenidas libres de malezas, plagas y enfermedades. El diseño experimental empleado fue diseño completamente aleatorizado (DCA) con arreglo en parcelas divididas, asignando como parcela principal la fecha de siembra y como la subparcela el híbrido, con tres repeticiones. La fenología se determinó semanalmente (Ritchie y Hanway, 1982). La radiación solar incidente (I₀) y la radiación incidente debajo de la última capa de hoja verde (I_t) fueron medidas a lo largo del ciclo utilizando un sensor lineal (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). El porcentaje de radiación interceptada se calculó mediante la fórmula $(1 - I_t/I_0) \times 100$, con la cual se estimó la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFA_i) por el cultivo acumulada a lo largo del ciclo. En madurez fisiológica (R₆) se determinó la biomasa aérea total cosechando diez plantas en los surcos centrales de cada parcela y el índice de cosecha (IC) se estimó como la relación entre el peso de los granos y la biomasa total. El rendimiento se determinó mediante la cosecha de 15 m lineales en los surcos centrales de cada parcela. El peso de los granos se calculó pesando dos submuestras de 250 granos. El número de granos se estimó como el cociente entre el rendimiento y el peso de los granos. Los datos climáticos fueron recolectados de la estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la campaña 2023/24 en Balcarce indican que el rendimiento del maíz de segunda estuvo determinado por la interacción entre fecha de siembra de segunda y la MR del híbrido. Las siembras de segunda de mediados de diciembre con híbridos de ciclo largo ($\geq$ MR106) alcanzaron los mayores rendimientos (Tabla 1), los cuales estuvieron asociados a una mayor producción de biomasa aérea, explicada por una elevada interceptación de radiación fotosintéticamente activa acumulada a lo largo del ciclo, con valores de interceptación de la radiación superior al 90 % en híbridos de alta MR, frente a valores por debajo en ciclo más cortos. A su vez, el índice de cosecha se mantuvo elevado en estas condiciones, evidenciando una elevada partición hacia los granos. El atraso en la fecha de siembra de segunda produjo reducciones marcadas del rendimiento, del orden del 73 % en los híbridos de mayor MR en fechas de siembra del 18 de enero, explicadas tanto por caídas en la biomasa total como por descensos en el índice de cosecha, siendo estos últimos más pronunciados en

los híbridos de mayor ciclo. En siembras de enero, la biomasa cayó un 34 % respecto de la siembra de mediados de diciembre, mientras que el índice de cosecha se redujo entre un 27 % en ciclos cortos y hasta un 56 % en el MR121, reflejando una creciente limitación en la partición de asimilados hacia los granos. El desplazamiento de las etapas reproductivas hacia ambientes con menor radiación y temperatura determinó una menor fijación de granos, al tiempo que las bajas temperaturas durante el llenado redujeron el peso de los mismos entre un 39 y un 54 % según el ciclo, siendo el efecto más severo en los híbridos más largos por la ocurrencia de la primer helada (3 de mayo, quince días previo a la histórica para Balcarce) que interrumpieron anticipadamente su período de llenado (Otegui *et al.*, 2023; Torreani, 2021; Bonelli *et al.*, 2016). En cuanto a la fijación de destinos reproductivos se observó una clara tendencia decreciente con el atraso de la fecha de siembra, ubicando etapas de definición del rinde de mediados de febrero hacia mediados de marzo, exponiendo al cultivo a condiciones de menor temperatura y radiación (Bonelli *et al.*, 2016), no observando una relación clara con la madurez del híbrido. El peso de los granos se redujo en la fecha de siembra de enero, respecto de las de diciembre, con caídas del orden del 39-43 % en el PMG en los ciclos más cortos y del 53 al 54 % para los ciclos de mayor duración. Un ajuste en la duración del ciclo permite que ciclos más precoces completen de manera más lograda el llenado de sus destinos, lo cual se acentúa más cuanto más se retrase la fecha de siembra.

Tabla 1 Rendimiento, biomasa, índice de cosecha (IC), radiación fotosintéticamente activa acumulada (RFAi), eficiencia de uso de la radiación (EUR), número y peso de granos (NG y PG, respectivamente) en cuatro híbridos de maíz de madurez relativa 80, 99, 106 y 121, sembrados en tres fechas de siembra de segunda: 14-dic, 27-dic y 18-ene.

Fecha de siembra	Madurez relativa	Rendimiento, kg ha ⁻¹	Biomasa, kg ha ⁻¹	IC	RFAi, MJ m ⁻²	EUR, kg MJ ⁻¹	NG, m ⁻²	PG, mg
14-dic	80	7651	12609	0,59	637,9	19,9	2719	281
	99	8636	16356	0,57	695,0	23,6	3318	260
	106	9923	18174	0,59	716,0	25,4	3604	276
	121	9261	18152	0,55	786,1	23,9	3528	264
27-dic	80	6857	13674	0,54	572,6	23,9	2549	269
	99	8260	15712	0,55	625,6	25,1	3007	275
	106	7979	17684	0,56	590,5	30,1	2922	273
	121	6873	16670	0,48	607,0	26,3	2730	252
18-ene	80	3106	8896	0,44	390,8	22,8	1801	172
	99	3813	10816	0,41	422,4	25,6	2570	149
	106	3359	10855	0,35	431,4	25,2	2584	130
	121	2487	12102	0,24	418,9	29,0	2041	122
FS* MR		*	*	*	*	*	ns	*
FS		*	*	*	*	*	*	*
MR		*	*	*	*	*	*	*

* indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$); ns indica diferencias no significativas ($p > 0,05$)

CONCLUSIONES

Los resultados de la campaña 2023/24 en Balcarce confirmaron que el rendimiento del maíz de segunda estuvo determinado por la interacción entre la fecha de siembra y el ciclo del híbrido, siendo las siembras de mediados de diciembre con híbridos de madurez relativa $\geq$ MR106 las que maximizaron la acumulación de biomasa y las condiciones fototermiales durante las etapas críticas. El atraso en la fecha de siembra redujo drásticamente el rendimiento, especialmente en híbridos de ciclo largo, por el desplazamiento de las etapas reproductivas hacia ambientes menos favorables y la ocurrencia de heladas, destacando la importancia de anticipar la siembra y ajustar el ciclo del híbrido como prácticas clave de manejo en la región.

REFERENCIAS

- Andrade, F.H.; Otegui, M.E.; Cirilo, A.G.; Uhart, S.A. (Eds.). 2023. Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. Maizar. Buenos Aires, Argentina. 486 p.
- Bonelli, L.E.; Monzon, J.P.; Cerrudo, A.; Rizzalli, R.H.; Andrade, F.H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research* 198:215–225.
- Otegui, M.E.; Andrade, F.H.; Cirilo, A.G.; Uhart, S.A. (Eds.). 2023. En: Andrade, F.H.; Otegui, M.E.; Cirilo, A.G.; Uhart, S.A. (Eds.). Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. Maizar. Buenos Aires, Argentina. 486 p.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J. 1982. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, EE.UU.
- Torreani, F. 2021. Maíz de segunda: ajuste de ciclo y densidad para maximizar rendimiento en el sur de Buenos Aires. Tesis de grado, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina.

CÓMO SE DETERMINA EL LLENADO DE LOS GRANOS EN MAÍCES DE SEGUNDA EN BALCARCE

Álvarez Marichelar, J.M.¹; Algañaraz, S.L.¹; Ibarbia, B.¹; Stemphelet, A.¹; Mastronardi, A.¹; Alfonso, C.¹; Nagore* M.L.¹

¹ FCA, UNMDP Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Ruta 226, km 73,5; Balcarce, 7620, Argentina

*Contacto: mnagore@mdp.edu.ar

Palabras clave: madurez relativa; tasa de llenado de granos; duración efectiva; suma térmica

INTRODUCCIÓN

En siembras de segunda el peso de los granos de maíz (*Zea mays* L.) se reduce cuanto más se retrasa la siembra ya que el período de llenado se desplaza hacia condiciones ambientales progresivamente menos favorables: menor radiación incidente diaria y menor temperatura. Caídas del peso de los granos se observaron en fechas de siembra de mediados de enero, respecto de siembras de mitad y fines de diciembre, del orden de 54 % para los ciclos de madurez relativa (MR) mayor o igual a 106, mientras en los ciclos más cortos (MR80-99) la reducción fue menor, de 39-43 %, (Algañaraz, 2026). Un ajuste en la duración del ciclo permite que ciclos más precoces completen de manera más lograda el llenado de sus granos, situación que es más determinante cuanto más se retrase la fecha de siembra. El peso de los granos es el resultado de la acumulación de materia seca en los mismos, luego de la fecundación del ovario y se define por dos etapas: i) una primer etapa llamada fase “lag”, de muy lenta acumulación de biomasa, con división activa de células del endosperma y formación de amiloplastos que determinan el tamaño potencial de los granos y puede durar entre 100-160 °C d⁻¹; y ii) una fase de llenado efectivo de acumulación lineal de materia seca y que se define por dos componentes, la tasa de crecimiento del grano (TCG) y la duración de esa fase que determina la denominada duración efectiva (DE) del período de llenado de los granos (Daynard y Kannenberg, 1976; Cirilo y Andrade, 1996; Borrás *et al.*, 2003). Este trabajo caracterizará la determinación del peso de los granos en cuatro híbridos de maíz de madurez relativa variable, sembrados en tres fechas de siembra de segunda en la localidad de Balcarce y se analizarán los mecanismos involucrados en la determinación del peso de los granos: TCG y DE.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2023/24 se sembraron 4 híbridos de maíz con distinta madurez relativa: MR80 (Experimental), MR99 (P9946VYHR), MR106 (P0622VYHR) y MR121 (DK7220PRO4), en la UIB Balcarce, Buenos Aires, Argentina; en tres fechas de segunda: 14-dic, 27-dic y 18-ene. La siembra se realizó sobre un cultivo de primera de trigo, de manera manual, a una densidad de 6 plantas m⁻² y un espaciado entre hileras de 0,52 m. Se aplicaron 40 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico y 100 kg ha⁻¹ de urea a la siembra. El ensayo fue mantenido libre de malezas, plagas y enfermedades durante todo el ciclo. El diseño estadístico fue un DCA con arreglo en parcelas divididas, asignando la fecha de siembra como parcela principal y el híbrido como subparcela (n = 3). El estado fenológico se determinó según Ritchie y Hanway (1982). El peso de los granos se calculó pesando dos submuestras de 250 granos. La evolución del peso de granos se determinó semanalmente a partir de 7-10 días posterior a R1 y hasta tres semanas posterior a capa negra, tomando 15 granos del centro de las espigas en 3 plantas por parcela. Los granos fueron pesados luego de ser colocados en estufa a 100 °C. La TCG durante la fase lineal del período de llenado de granos se determinó por análisis de regresión lineal+plateau (GraphPad Prism 5.0) entre el peso de los granos y la suma térmica en cada momento de muestreo a partir de R1 (tb = 8 °C; Maddonni *et al.*, 1998; Borrás y Otegui, 2001). Los datos de la fase lag (160 °C d⁻¹) no fueron tenidos en cuenta en este ajuste. Del ajuste lineal se obtuvo la TCG como la pendiente de la curva y la DE como la diferencia entre el punto de corte de la ecuación cuando y = 0 y el punto de x donde comienza la fase plateau, considerado como madurez fisiológica o fin de la fase de llenado de granos. Los datos climáticos fueron recolectados de la estación meteorológica del EEA INTA Balcarce.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El atraso en la fecha de siembra redujo marcadamente el peso de los granos (PG), con una caída del orden del 35–54 % en la siembra de 18 de enero respecto de la de 14 de diciembre, siendo la reducción más severa en los híbridos de mayor ciclo (MR106 y MR121) que en los más cortos (interacción significativa fecha de siembra*MR; p<0,05; Tabla 1). Este comportamiento estuvo asociado principalmente a una menor duración del llenado (DE), que se redujo entre un 42 % en el MR80 y un 68 % en el MR121 entre la primera y la última fecha de siembra de segunda. El atraso en la siembra de segunda desplazó la floración (R1) desde mediados de febrero hasta fines de marzo en los ciclos más largos, lo que determinó que el período de llenado ocurriera en un ambiente progresivamente menos favorable: la RFAi interceptada entre R1 y el fin del llenado se redujo un 57 % en promedio entre la siembra de 14 de diciembre y la de 18 de enero y la temperatura media del período descendió de aproximadamente desde 19 °C a 15 °C. El desplazamiento de la etapa de llenado hacia ambientes de menor radiación y temperatura se tradujo en menor DE (Cirilo y Andrade, 1996; Bonelli *et al.*, 2016). Adicionalmente, la ocurrencia de una helada el 3 de mayo interrumpió anticipadamente el llenado en las fechas de siembra de 27-dic y 18-ene:

mientras los híbridos de ciclo corto (MR80) ya habían finalizado el llenado hacia el 12 de abril en la siembra de 27-dic y el 1 de mayo en la de 18-ene, los ciclos más largos (MR106, MR121) aún se encontraban en activo llenado al momento de la helada, convergiendo en una fecha de fin de llenado común en torno al 5 de mayo independientemente de la fecha de siembra, lo que explica la mayor penalización sobre el PG en esos híbridos (Bonelli *et al.*, 2016; Otegui *et al.*, 2023). La TCG, en cambio, aumentó con el atraso en la fecha de siembra, sin interacción significativa con MR, lo que confirma su menor plasticidad diferencial entre híbridos respecto de la DE (Borrás *et al.*, 2003; Gambín *et al.*, 2006). El incremento de TCG en la siembra de enero puede interpretarse como una respuesta compensatoria parcial frente a la menor disponibilidad de tiempo de llenado y a la menor capacidad de los destinos por planta, resultando insuficiente para sostener un elevado PG (Borrás y Otegui, 2001).

Tabla 1. Peso de granos (PG), tasa de crecimiento del grano (TCG), duración efectiva del llenado de granos (DE), temperatura media entre R1 y MF (T_{R1-MF}), radiación fotosintéticamente activa interceptada entre R1 y MF ($RFAi_{R1-MF}$), floración femenina de maíz (R1) y fin de llenado de granos en cuatro híbridos de maíz de madurez relativa 80, 99, 106 y 121, sembrados en tres fechas de siembra de segunda: 14-dic, 27-dic y 18-ene.

Fecha de siembra	Madurez relativa	PG, mg	TCG, mg °C d ⁻¹	DE, °C d ⁻¹	T_{R1-MF} , °C	$RFAi_{R1-MF}$, MJ m ⁻²	R1	Fin llenado de granos
14-dic	80	281	0,65	457	19,9	357,8	6-feb	1-abr
	99	260	0,56	473	19,1	412,9	13-feb	9-abr
	106	276	0,51	546	18,4	457,8	12-feb	22-abr
	121	264	0,58	519	17,4	403,4	22-feb	30-abr
27-dic	80	269	0,64	444	19,1	355,6	16-feb	12-abr
	99	275	0,60	496	17,9	382,6	19-feb	27-abr
	106	273	0,59	480	17,6	378,5	21-feb	29-abr
	121	252	0,77	354	16,5	344,4	28-feb	7-may
18-ene	80	172	0,76	266	16,5	210,4	9-mar	1-may
	99	149	0,73	275	15,8	225,2	13-mar	7-may
	106	130	0,70	209	15,8	204,1	16-mar	5-may
	121	122	0,80	165	15,3	173,9	24-mar	5-may
FS* MR		*	ns	*	*	*	*	*
FS		*	*	*	*	*	*	*
MR		*	*	ns	ns	*	*	*

* indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$); ns indica diferencias no significativas ($p > 0,05$)

CONCLUSIONES

El retraso en la fecha de siembra de segunda en Balcarce redujo marcadamente el peso de los granos, lo cual estuvo asociado principalmente por el acortamiento de la duración efectiva del llenado como consecuencia del desplazamiento de esta etapa hacia condiciones de menor radiación y temperatura, además de la interrupción anticipada por heladas que afectó en mayor medida a los híbridos de mayor MR. La TCG mostró un incremento compensatorio con el atraso, pero de magnitud insuficiente para contrarrestar la pérdida de duración. Por lo tanto, en una región donde la ventana de crecimiento para cultivos de segunda es tan acotada sería beneficioso la siembra de ciclos cortos que logren completar de una manera más acabada su ciclo.

REFERENCIAS

- Algañaraz, M.E. 2026. Efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento de maíz de segunda en Balcarce. Tesis de grado: Ingeniero agrónomo, Universidad de Mar del Plata, Balcarce, Argentina.
- Bonelli, L.E.; Monzon, J.P.; Cerrudo, A.; Rizzalli, R.H.; Andrade, F.H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research* 198:215–225.
- Borrás, L.; Otegui, M.E. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science* 41(6):1816–1822.
- Borrás, L.; Westgate, M.E.; Otegui, M.E. 2003. Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Annals of Botany* 91:857–867.
- Cirilo, A.G.; Andrade, F.H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science* 36:325–331.
- Daynard, T.B.; Kannenberg, L.W. 1976. Relationships between length of the actual and effective grain filling periods and the grain yield of corn. *Canadian Journal of Plant Science* 56:237–242.
- Gambín, B.L.; Borrás, L.; Otegui, M.E. 2006. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Research* 95:316–326.
- Maddoni, G.A.; Otegui, M.E.; Bonhomme, R. 1998. Grain yield components in maize: II. Post-silking growth and kernel weight. *Field Crops Research* 56(3):257–264.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J. 1982. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, EE.UU.

EFFECTOS DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS AMBIENTALES SOBRE LA ENDODORMANCIA, RESISTENCIA AL FRÍO Y RESERVAS DE ALMIDÓN DURANTE LA LATENCIA INVERNAL DE *Vitis vinifera* L.

Aragón*, A.F.¹; Paz, R.C.¹; Roig, F.²; González Antivilo, F.¹

¹ Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biósfera (CIGEOBIO), CP: J5402DCS, Rivadavia, San Juan, Argentina

² Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA). Av. Ruiz Leal S/N, 5500, Mendoza, Argentina

*Contacto: nandoaragon.14@gmail.com

Palabras clave: vid; fisiología invernala; temperatura

INTRODUCCIÓN

La latencia invernala de la vid (*Vitis vinifera* L.) constituye un proceso fisiológico complejo regulado principalmente por la temperatura y el fotoperíodo (Fennell *et al.*, 2004; Anzanello *et al.*, 2018). Durante este período se desarrollan mecanismos adaptativos como la endodormancia (ED), definida como la incapacidad de las yemas para brotar aún bajo condiciones favorables; la resistencia al frío (CH, cold hardiness), que permite tolerar temperaturas de congelación; y la acumulación y posterior movilización de reservas de almidón (SR, starch reserves) en órganos perennes (Mohamed *et al.*, 2010; Rubio *et al.*, 2019). Diversos estudios han demostrado que estos procesos se encuentran estrechamente relacionados y responden a la acumulación de frío invernala y a la dinámica térmica del ambiente (Grant y Dami, 2015; Pérez y Rubio, 2022). Sin embargo, existen escasos antecedentes que evalúen simultáneamente estos mecanismos en condiciones de campo para diferentes variedades de vid. El objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica estacional de la endodormancia, la resistencia al frío y la acumulación de reservas de almidón, en relación con parámetros térmicos y lumínicos ambientales, en Chardonnay, Malbec y Cabernet Sauvignon.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante 2018 y 2019 en un viñedo comercial de *Vitis vinifera* L. ubicado en Maipú, Mendoza, Argentina. Se evaluaron las variedades Chardonnay, Malbec y Cabernet Sauvignon mediante muestreos mensuales efectuados entre marzo y agosto. Se registraron temperatura mínima (Tmin), máxima (Tmax) y media diaria (Tmean), heliofanía efectiva (Hel) y unidades de frío acumuladas (CU; modelo Utah modificado). La profundidad de endodormancia (ED) se determinó mediante el tiempo requerido para alcanzar el 50 % de brotación bajo condiciones forzadas (Br50), mientras que la resistencia al frío (CH) se evaluó mediante análisis térmico diferencial, a partir de la estimación de la temperatura letal media (LT50). Las reservas de almidón (SR) en caña y tallo principal fueron cuantificadas por espectrofotometría. La dinámica fisiológica se analizó mediante modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) y correlaciones de Pearson entre variables ambientales y fisiológicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones térmicas registradas durante la latencia invernala difirieron entre años, observándose una acumulación de unidades de frío (CU) más temprana y acelerada durante 2019 respecto de 2018. En junio se registraron 704 CU en 2019 y 551 CU en 2018, mientras que en mayo se acumularon 304 y 201 CU, respectivamente. Asimismo, en 2019 se detectó una ocurrencia más temprana de eventos térmicos inferiores a 0 °C. La dinámica fisiológica evidenció una estrecha relación entre la profundidad de la endodormancia (Br50), la resistencia al frío (LT50) y las reservas de almidón en órganos perennes. En las tres variedades evaluadas, la disminución progresiva de Br50 durante el invierno estuvo acompañada por un aumento de la resistencia al frío, alcanzando los valores más bajos de LT50 (máxima resistencia al frío) entre -15,0 °C y -16,1 °C. Este proceso ocurrió con mayor anticipación durante 2019, coincidiendo con una acumulación más rápida de frío. Paralelamente, las reservas de almidón en caña y tallo principal alcanzaron valores máximos durante las primeras etapas de la latencia y posteriormente disminuyeron conforme avanzó la aclimatación invernala. Las matrices de correlación mostraron que las asociaciones más consistentes ocurrieron entre los parámetros fisiológicos y las variables térmicas vinculadas al frío invernala. La acumulación de CU y la ocurrencia de eventos con temperaturas inferiores a 0 °C se correlacionaron negativamente con Br50, LT50 y las reservas de almidón, mientras que Tmin, Tmean y Tmax presentaron correlaciones positivas con dichas variables. Además, se observaron asociaciones positivas entre Br50, LT50 y el contenido de almidón, evidenciando un fuerte acoplamiento fisiológico entre la liberación de la endodormancia, la adquisición de resistencia al frío y la movilización de reservas carbonadas. La variedad Chardonnay presentó menores valores de Br50 respecto de Cabernet Sauvignon y Malbec, indicando una menor profundidad de endodormancia y una respuesta más rápida a condiciones favorables de crecimiento. Sin embargo, el patrón general de interacción entre endodormancia, resistencia al frío y reservas de almidón fue consistente en las tres variedades.

En conjunto, los resultados indican que la acumulación de frío y los eventos térmicos de baja temperatura constituyen los principales reguladores ambientales de la dinámica de latencia invernal en vid. Estos resultados coinciden con estudios previos que describen una estrecha interacción entre acumulación de frío, liberación de la endodormancia y desarrollo de resistencia al frío en yemas de *Vitis vinifera* (Mohamed *et al.*, 2010; Grant y Dami, 2015; Anzanello *et al.*, 2018; Pérez y Rubio, 2022).

CONCLUSIONES

La endodormancia, la resistencia al frío y la dinámica de reservas de almidón constituyen procesos fisiológicos estrechamente acoplados durante la latencia invernal de la vid. La acumulación de frío emergió como el principal factor ambiental asociado a la sincronización de estos mecanismos adaptativos. Los resultados destacan la utilidad de integrar indicadores fisiológicos y meteorológicos para comprender la respuesta varietal frente a la variabilidad climática.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan y al Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biósfera (CIGEOBIO, CONICET–UNSJ) por el apoyo institucional brindado. Asimismo, agradecen la colaboración técnica de los miembros de la Carrera del Personal de Apoyo a la Investigación y Desarrollo (CPA) del CIGEOBIO: Téc. Washington Hugo Sánchez de la Vega, Ing. Rodolfo Alfredo Godoy e Ing. Leonardo Gastón Montero Flores y Dra. Magalí Gimenez.

REFERENCIAS

- Anzanello, R.; Fialho, F.B.; Santos, H.P. 2018. Chilling requirements and dormancy evolution in grapevine buds. *Ciência e Agrotecnologia* 42:364–371.
- Fennell, A. 2004. Freezing tolerance and injury in grapevines. *Journal of Crop Improvement* 10:201–235.
- Grant, T.N.; Dami, I.E. 2015. Physiological and biochemical seasonal changes in *Vitis* genotypes with contrasting freezing tolerance. *American Journal of Enology and Viticulture* 66: 195–203.
- Mohamed, H.B.; Vadel, A.M.; Geuns, J.M.C.; Khemira, H. 2010. Biochemical changes in dormant grapevine shoot tissues in response to chilling: possible role in dormancy release. *Scientia Horticulturae* 124: 440–447.
- Pérez, F.J.; Rubio, S. 2022. Relationship between bud cold hardiness and budbreak in two *Vitis vinifera* L. cultivars, Chardonnay and Thompson Seedless. *Journal of Plant Growth Regulation* 41:840–847.
- Rubio, S.; Noriega, X.; Pérez, F.J. 2019. ABA promotes starch synthesis and storage metabolism in dormant grapevine buds. *Journal of Plant Physiology* 234–235:1–8.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTOS DE SOJA Y EL SPI3 DERIVADO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN OBSERVADA, ESTIMADA POR SATÉLITE Y REANÁLISIS

Barberis*, J.G.¹; Kantolic, A.²; Barrucand, M.^{3,4}

¹ Departamento de Educación Agropecuaria (FAUBA, UBA, Av. San Martín 445,3 CABA, 1417, Argentina)

² Departamento de Producción Vegetal (FAUBA, UBA, Av. San Martín 445,3 CABA, 1417, Argentina)

³ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA), Ciudad Universitaria, Pab. 0 infinito, CABA, 1428, Argentina

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-UBA)

*Contacto: barberis@agro.uba.ar

Palabras clave: soja; índice de precipitación estandarizado

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de soja (*Glycine max*) depende fuertemente de la disponibilidad hídrica, especialmente durante las etapas de fructificación y llenado de granos que, en la Región Pampeana, ocurren principalmente entre diciembre y marzo. En este contexto, el monitoreo preciso de la precipitación en esta etapa resulta crítico para evaluar la estabilidad de los rendimientos agrícolas. La escasa cobertura de estaciones meteorológicas de superficie ha impulsado el uso de productos satelitales y reanálisis climáticos como fuentes alternativas de información. Entre ellos, IMERG Final Run (Huffman *et al.*, 2015) y ERA5 (Hersbach *et al.*, 2020) se destacan por su cobertura global y alta resolución temporal. Sin embargo, la utilidad de estos productos para la gestión agrícola regional requiere una validación específica de su capacidad para representar tanto la precipitación diaria como indicadores climáticos derivados, tales como el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), particularmente en su escala de 3 meses (SPI3; McKee *et al.*, 1993). Este índice es ampliamente utilizado para el monitoreo de sequías agrícolas y la planificación de recursos hídricos. En este trabajo se analiza la relación entre el índice SPI3 y los rendimientos de soja según el origen de los datos de precipitación utilizados para su cálculo. Para ello, se evaluó la correlación entre los rendimientos de soja en 18 sitios de la Pampa Húmeda y el SPI3 calculado con datos de precipitación observada en estaciones meteorológicas, estimada mediante un producto satelital (IMERG) y derivada de datos de reanálisis (ERA5). Los índices fueron calculados con una periodicidad de 10 días para capturar el período de mayor sensibilidad hídrica con impacto en los rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron los datos de precipitación diaria para el período 2003-2020, provenientes de (i) 18 estaciones meteorológicas oficiales (Servicio Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), (ii) estimaciones a partir del producto GPM IMERG Final Run (V06) y (iii) reanálisis de datos horarios de ERA5 (a partir de los cuales se calcularon valores diarios). En los casos ii y iii, se tomó el valor correspondiente al punto de enrejado de la base de datos más cercano a la estación meteorológica. Con estos datos, se calculó el SPI3 con una periodicidad decadal (SPI3D). De esta forma, en lugar de contar con un dato por mes, se obtuvieron 3 valores mensuales, asociados con períodos finalizados en la primera, segunda o tercera década del mes (días 10, 20 y el último día del mes, respectivamente). Esto permitió un seguimiento continuo de las condiciones de disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo (noviembre a mayo). Adicionalmente, para aumentar la representatividad espacial del producto satelital IMERG Final Run, se calculó un SPI3D departamental, promediando los valores de precipitación de 10 puntos de enrejado de dicha base de datos, distribuidos dentro de cada localidad/departamento considerado. Por otro lado, se obtuvieron los rendimientos promedios departamentales de soja, correspondientes a las campañas y localidades evaluadas, a los que se les removió la tendencia asociada al componente tecnológico (de Felipe *et al.*, 2016). Los rendimientos ajustados se correlacionaron con el índice SPI3D y se analizó la evolución temporal del coeficiente de correlación de Pearson (r) para todos los datos en su conjunto y para cada localidad por separado. Finalmente, se analizó la distribución geográfica de los coeficientes de correlación, con la finalidad de detectar patrones en las respuestas encontradas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación entre el SPI3D y el rendimiento del cultivo presentó una marcada variación temporal a lo largo del ciclo agrícola (Figura 1a). El período de correlaciones más altas se registró entre enero y marzo, particularmente, en el mes de febrero (que involucra información de precipitación de diciembre, enero y febrero). Estos resultados indican que las anomalías hídricas en los 90 días previos a las fases críticas del cultivo de soja (fructificación y llenado de granos) constituyen un predictor robusto del rendimiento del cultivo. Si bien las correlaciones entre el SPI3D y el rendimiento tuvieron una dinámica temporal similar al emplear las tres fuentes de datos, resultaron sistemáticamente menores al utilizar ERA5, indicando una representación más suavizada de la señal. Asimismo, la variabilidad entre departamentos fue mayor cuando el

SPI3D se calculó a partir de ERA5 (Figura 1b). Para todas las fuentes de datos consideradas, las correlaciones más altas se encontraron en los departamentos ubicados en la zona norte de la región (Figura 2). ERA5 mostró en el centro y sur de la región, una menor proporción de localidades con correlaciones significativas. Las correlaciones derivadas de observaciones meteorológicas fueron significativas ($p < 0,05$) o altamente significativas ($p < 0,01$) en el norte y centro de la región, con excepción de la estación San Pedro. Finalmente, las derivadas de datos satelitales resultaron significativas en una mayor proporción de estaciones, siendo más altas cuando se utilizó un promedio de precipitación departamental, lo que permitió captar de manera más adecuada la heterogeneidad espacial que influye sobre el rendimiento promedio de todo el departamento.

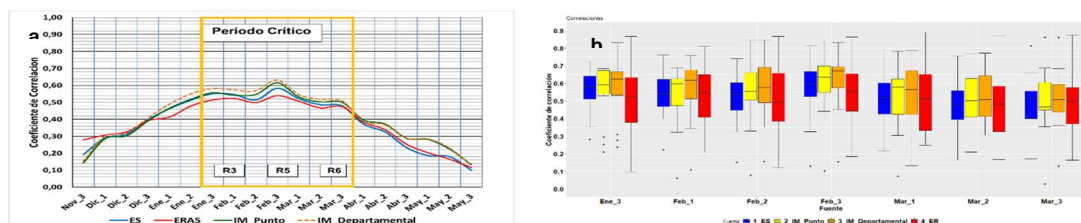


Figura 1: a. Evolución de los coeficientes de correlación entre el índice SPI3D y el rendimiento de soja durante el ciclo productivo, según la fuente de datos utilizada: estación meteorológica (ES, azul), reanálisis ERA5 (ER, rojo), producto satelital IMERG correspondiente al pixel de la estación (IM Punto, amarillo) y promedio de 10 puntos del departamento (IM Departamental, naranja). El eje x representa cada ventana móvil decadal de tres meses (i.e. Nov_3 abarca desde el 1-sep al 30-nov; Dic_1 abarca desde el 10-sep al 10-dic). El rectángulo abarca el período crítico para la determinación del rendimiento en soja: estados fenológicos de fructificación (R3), inicio (R5) y pleno llenado de granos (R6). b. Diagrama de cajas con la distribución de los coeficientes de correlación discriminados por período SPI3D y fuente de datos.

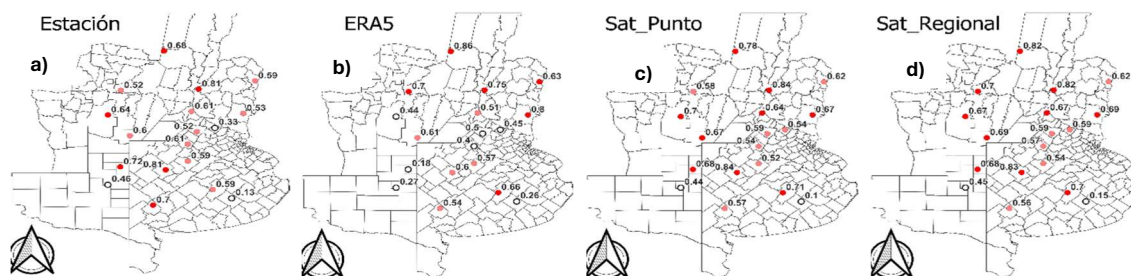


Figura 2: Distribución geográfica de los coeficientes de correlación (r) entre el rendimiento y el SPI3D calculados para Feb_3: a. partir de registros en estación meteorológica. b. reanálisis ERA5. c. IMERG a nivel puntual. d. IMERG a nivel departamental. Los números indican el valor de r . Rojo: altamente significativo ($p < 0,01$), rosa: significativo ($p < 0,05$); blanco: no significativo.

CONCLUSIONES

El cálculo de correlaciones entre los rendimientos de soja y el SPI3D permitió destacar que las condiciones hídricas entre diciembre y febrero guardan estrecha relación con la productividad del cultivo. Las correlaciones más altas se obtuvieron al utilizar valores de SPI3 calculados con datos de precipitación derivados de satélite integrados espacialmente en todo el departamento/localidad analizada, explicando entre el 40 y el 67 % de la varianza en los departamentos de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos. Los porcentajes de varianza explicada para las localidades ubicadas hacia el sur fueron, en general, menores, especialmente cuando se utilizaron datos ERA5, con menor cantidad de correlaciones significativas. Este trabajo evidencia el impacto del uso de distintas fuentes de información en estudios de riesgo agroclimático de la Pampa Húmeda argentina.

AGRADECIMIENTOS: proyectos UBACyT 20020220200111BA y CONICET 11220200100333CO.

REFERENCIAS

- de Felipe, M.; Gerde, J.A.; Rotundo, J.L. 2016. Soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. *Crop Science* 56(6):3066–3077.
- Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P.; Hirahara, S.; Horányi, A.; Muñoz-Sabater, J.; Nicolas, J.; Peubey, C.; Radu, R.; Schepers, D.; Simmons, A.; Soci, C.; Abdalla, S.; Abellan, X.; Balsamo, G.; Bechtold, P.; Biavati, G.; Bidlot, J.; Bonavita, M.; Thépaut, J.N. 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730):1999–2049.
- Huffman, G.J.; Bolvin, D.T.; Braithwaite, D.; Hsu, K.L.; Joyce, R.J.; Kidd, C.; Nelkin, E.J.; Sorooshian, S.; Stocker, E.F.; Tan, J.; Wolff, D.B.; Xie, P. 2020. Integrated multi-satellite retrievals for the global precipitation measurement (GPM) mission (IMERG). *Advances in Global Change Research* 67:343–353.
- Mckee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Eighth Conference on Applied Climatology, 1993, California, EE.UU.

CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD FENOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE POBLACIONES DE *Sporobolus indicus* (L.)

Bezús*, R.¹; May, M.P.¹; Porto, N.¹; Maiale, S.¹

¹ Introducción al Mejoramiento Genético, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP. Av 60 y 119, CP1900. La Plata. Argentina

*Contacto: bezus@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: grados día; producción de materia seca; relación materia seca vegetativa / materia seca total

INTRODUCCIÓN

Sporobolus indicus (L.) R.Br. es una gramínea PVO, nativa de Sudamérica y difundida en la estepa de halófitas de la Cuenca del Salado. Esta especie en la comunidad del sitio presenta buena calidad forrajera siendo un recurso para considerar en los suelos con limitantes para el crecimiento de otras especies. En estos ambientes de la pampa deprimida es central el manejo de los pastizales para evitar su degradación y en lo posible mejorar y reincorporar poblaciones de las especies que prosperan y presenten alto valor forrajero. El mejoramiento de las poblaciones puede aportar características que se orienten a la mejora de la oferta en cantidad y calidad de forraje. Los primeros pasos deben orientarse al estudio de la variabilidad en cuanto a la implantación y crecimiento inicial, y luego a las características de crecimiento y desarrollo de las poblaciones. La evaluación de la producción de estructuras vegetativas y reproductivas permitiría seleccionar plantas que puedan ser mejor aprovechadas en el manejo. El estado fenológico al momento de corte influye en la producción de materia seca y la calidad del forraje. Si bien la máxima acumulación de materia seca se observó en el estado fenológico posterior a la caída de las semillas, este corresponde al momento de menor calidad forrajera de las plantas. Por ello, el análisis de la variabilidad fenológica resulta relevante para identificar genotipos y definir las características de crecimiento primaveral que permitan una mayor oferta de forraje de calidad y conduzcan luego a organizar y facilitar la planificación de estrategias el manejo del pastoreo (Padilla, 2004). Este estudio es necesario para conocer el potencial de las poblaciones y para definir las características que deben priorizarse en la selección. Asimismo, el análisis de la fenología y el crecimiento en ambientes menos restrictivos permite evaluar el potencial de las poblaciones. Estas evaluaciones permitirán la selección y posterior evaluación de las poblaciones mejoradas en las condiciones restrictivas. El objetivo de este trabajo fue analizar la existencia de variabilidad en el tiempo a panojamiento, la producción de materia seca y estructuras vegetativas para cinco poblaciones de *Sporobolus indicus* recolectadas en la Depresión del Salado (provincia de Buenos Aires, Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron cinco poblaciones espontáneas de *S. indicus* (EA, ER, DEFR, DEFO y GU) colectadas en sitios ubicados en los partidos de Magdalena y Punta Indio, Cuenca del Salado. Se produjeron plantas de las poblaciones en bandejas plantineras y cuando presentaron tres macollos se plantaron a campo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (34° 52' S; 57° 58' O). El marco de plantación fue de 25-30 cm entre plantas y 80 cm entre hileras. La fecha de plantación fue el 08-12-2023. Durante el segundo año de crecimiento se evaluaron 52 plantas de cada población registrando el tiempo a panojamiento a partir del comienzo del crecimiento vegetativo primaveral 15-09-2024. El 10 de diciembre de 2024 se cosecharon las plantas cuando las panojas de primavera ya habían perdido las semillas. Se separaron las fracciones de hoja y estructuras reproductivas para determinar el peso de materia seca vegetativa (MSH) y materia seca de estructuras reproductivas (MSER). Se calculó el tiempo térmico acumulado utilizando la base de 10 °C recomendada para especies megatérmicas (Paredes *et al.*, 2025). Se realizó ANOVA y prueba de Tukey para estos caracteres ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La suma térmica permitió caracterizar las poblaciones de acuerdo con el tiempo de vegetación y muestra a la población EA como la de ciclo más largo (Figura 1a). Este resultado representaría una ventaja al permitir disponer por mayor tiempo la producción de órganos vegetativos y organizar el manejo para un mejor aprovechamiento del crecimiento primaveral. Dentro de las poblaciones se registraron importantes variaciones en la duración del estado vegetativo, que mostró extremos entre 25 y 62 días. Los valores de suma térmica fueron de 337,5 °GD para EA y 258,7; 275,2; 264,8 y 273,6 °GD para DEFO, GU, DEFR y ER, respectivamente.

La producción de materia seca en el período setiembre-diciembre (85 días) mostró que cuatro de las poblaciones evaluadas no se diferenciaron en esa variable y solo DEFO presentó menor producción de materia seca al ser comparada con ER. La variación interna en las poblaciones brinda buenas oportunidades de seleccionar genotipos de mayor producción mostrando valores de producción que varían entre 495,7 y 143,2 g de materia seca (Figura 1b). La producción de órganos vegetativos (Figura 2a), en promedio, no mostró diferencias entre poblaciones salvo entre EA y DEFO. Los valores extremos en esta

variable fueron de 5,5 y 112,1 g de materia seca considerando todos los genotipos, lo que implica una gran variabilidad para este carácter.

La relación entre materia seca de estructuras vegetativas y materia seca total permiten detectar a EA con una mejor relación que permitiría un mejor aprovechamiento en el pastoreo (Lambert y Litherland, 2000). Esta variedad logró este comportamiento luego de presentar el mayor valor de tiempo térmico indicando que esa característica debe ser valorada como carácter promisorio para la mejora. Los valores máximo y mínimo de esta relación fueron de 0,75 y 0,11 denotando una considerable variabilidad.

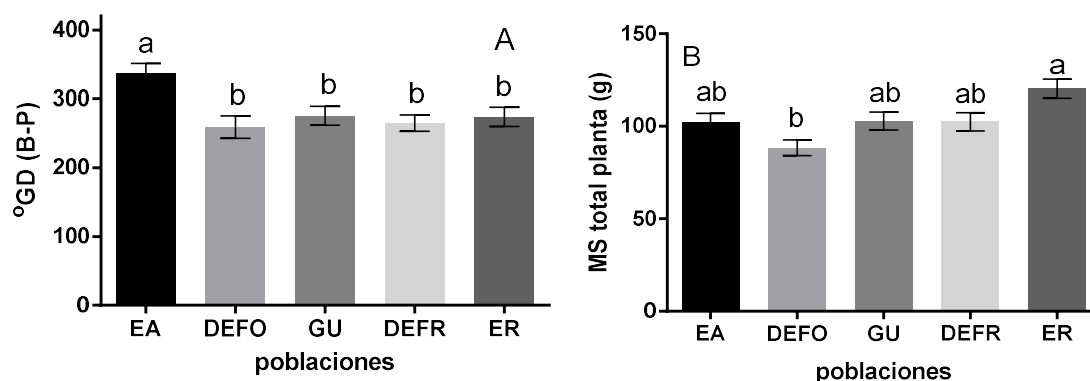


Figura 1.a. Tiempo térmico acumulado ($^{\circ}\text{C día}^{-1}$) a inicio de panojamiento para poblaciones de *Sporobolus indicus*. **b.** Materia seca total promedio por planta (g) de 5 poblaciones de *Sporobolus indicus*. La Plata, Buenos Aires (2024).

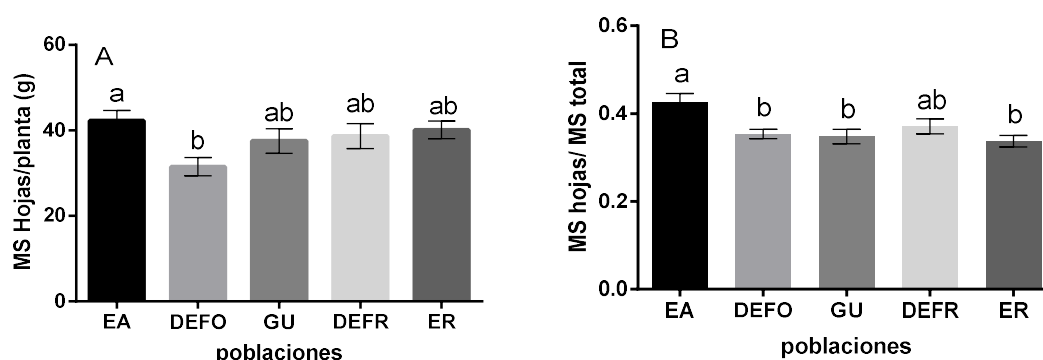


Figura 2.a. Producción de materia seca (MS) vegetativa en 5 poblaciones de *Sporobolus indicus* de 85 días de crecimiento. **b.** Relación entre materia seca vegetativa (g) y materia seca total (g) en 5 poblaciones de *Sporobolus indicus*. La Plata, Buenos Aires (2024).

CONCLUSIONES

En los programas de mejoramiento de *Sporobolus indicus*, el tiempo térmico transcurrido desde la brotación hasta el panojamiento constituye un carácter de interés debido a su estrecha relación con la calidad del forraje. Esta última depende en gran medida de la proporción de hojas respecto de la biomasa aérea total, ya que las hojas presentan mayor valor nutritivo y digestibilidad que los tallos y las estructuras reproductivas. En este contexto, la prolongación del período vegetativo previo al panojamiento favorece la producción y permanencia de tejido foliar, contribuyendo a mantener una mayor calidad forrajera. Por lo tanto, la determinación del tiempo térmico hasta el panojamiento puede constituir una herramienta útil para la selección de genotipos con mayor aptitud forrajera.

REFERENCIAS

- Lambert M.G.; Litherland A.J. 2000. A practitioner's guide to pasture quality. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 62:111–115.
- Padilla C.; Curbelo F. 2024. Efecto del estado fenológico en la calidad y producción de biomasa del espartillo (*Sporobolus indicus* L.) RB. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 38(3):317-321.
- Paredes, R.; Martínez-Romero, A.; Petry, M.T.; Carneira, M. do R.; Montoya, F.; Almeida, W.; Salman, M.; Pereira, L.S. 2025. Base and upper temperature thresholds to support the calculation of growing degree days aiming at their use with the FAO56rev crop coefficients curve: A review. Agricultural Water Management 319:109755.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y CALIDAD POSCOSECHA DE KIWI EN MERCEDES

Bravo, M.V.¹; Puig*, M.L.¹; Florio, M.L.¹; Morelli, G.¹

¹ Cátedra de Fruticultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Calle 60 y 119 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: lucrecia.puig@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: déficit hídrico; materia seca; Hayward

INTRODUCCIÓN

El kiwi (*Actinidia deliciosa*) cv. Hayward constituye la variedad de mayor difusión comercial y su producción en la provincia de Buenos Aires se ha expandido desde zonas tradicionalmente frutícolas hacia ambientes donde la aptitud agroclimática requiere mayor análisis. En estos sistemas, el éxito productivo depende de las condiciones meteorológicas de la campaña (temperatura, disponibilidad hídrica y humedad relativa), reguladoras de procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, expansión celular y translocación de fotoasimilados. Los factores de precosecha influyen decisivamente en la calidad intrínseca del fruto, revistiendo particular importancia el microclima del huerto, que modula en forma directa el crecimiento y rendimiento final (Warrington y Weston, 1990). Recientemente, se ratificó que las variaciones agroecológicas de cultivo no solo afectan el desarrollo en planta, sino que determinan significativamente las propiedades de calidad y la evolución fitoquímica del kiwi durante el almacenamiento en frío (Ozturk *et al.*, 2024). Debido a que esta especie no exhibe cambios externos durante su maduración, determinar la calidad a cosecha mediante indicadores internos es fundamental para predecir el comportamiento en poscosecha. La calidad final es el resultado directo de la interacción entre la fisiología de la planta y el ambiente térmico e hídrico de precosecha. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad física y química de frutos de kiwi cv. Hayward producidos en Mercedes (Buenos Aires) y analizar el impacto de las variables meteorológicas de la campaña 2022/2023 sobre sus atributos a cosecha y su aptitud para la conservación poscosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante la campaña 2022/2023 en un monte comercial de 0,3 ha ubicado en Mercedes, Buenos Aires (34°42' S; 59°23' O). El lote contó con plantas autorradicadas conducidas en parral (4,5 m × 2 m), riego por microaspersión y cobertura con media sombra al 35 %. La región presenta un clima templado húmedo, con una precipitación anual histórica de 1.004 mm y temperatura media anual de 16,8 °C. Los datos climáticos históricos (1991-2021) se obtuvieron de *Clima Data*, y los registros de la campaña provinieron de la estación del Observatorio Astronómico Municipal de Mercedes. Se calcularon valores mensuales de temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento para el período septiembre-abril (brotación a cosecha) para contextualizar la calidad de los frutos. Al inicio de la cosecha comercial se seleccionó una muestra representativa de frutos (excluyendo daños visibles o tamaños extremos). En el laboratorio se determinó: peso fresco individual, volumen (desplazamiento de agua), materia seca (secado en estufa hasta peso constante), firmeza de pulpa, sólidos solubles totales (SST, refractómetro) y acidez titulable (% de ácido cítrico). Una submuestra se almacenó por 30 días en cámara frigorífica convencional (0 ± 1 °C; 90-95 % HR), repitiéndose luego las mediciones de firmeza, SST y acidez. Los resultados se expresaron como media ± DE y variación porcentual y fueron analizados utilizando el programa Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La campaña 2022/2023 se diferenció claramente de la condición climática media de Mercedes. Si bien la localidad se caracteriza por un régimen húmedo, las precipitaciones durante el ciclo evaluado fueron escasas e irregularmente distribuidas. Entre septiembre y abril se registraron 53,6 mm acumulados, con valores muy bajos en primavera y un mínimo de 2,5 mm en febrero. Paralelamente, las temperaturas medias entre diciembre y marzo fueron aproximadamente 1 a 2 °C superiores a los valores históricos, y las máximas estivales alcanzaron valores cercanos a 32 °C. La HR media de la campaña fue 66,2 %, con un mínimo mensual de 54,8 % en noviembre. Este panorama contrasta con los requerimientos óptimos de la especie, la cual prospera en ambientes templados-húmedos con precipitaciones que superen los 800-1000 mm distribuidos durante el ciclo, veranos moderados (máximas de 25-30 °C) y una HR elevada. Estos registros indican que el crecimiento de los frutos ocurrió bajo una combinación de baja disponibilidad hídrica, mayor demanda atmosférica y temperaturas estivales superiores a las habituales (Tabla 1). Este contexto meteorológico afectó los atributos físicos del fruto. A cosecha, el peso fresco (91,8 ± 13,19 g) y el volumen (89,5 ± 11,17 mL) indicaron un tamaño comercial moderado. El marcado déficit hídrico observado concuerda con lo señalado por Warrington y Weston (1990), quienes describen que el tamaño del fruto de kiwi es altamente sensible al estado hídrico de la planta durante su desarrollo, ya que en condiciones de restricción la menor expansión celular limita el crecimiento físico. No obstante, la materia seca alcanzó un valor elevado (18,1 %). Esta respuesta fisiológica es característica ante la disponibilidad hídrica variable: el estrés hídrico restringe la entrada de agua, pero mantiene la

translocación de fotoasimilados desde las hojas, concentrando los componentes estructurales. Al respecto, Crisosto y Kader (1999) postulan que frutos con materia seca superior al 15 % poseen una vida de poscosecha más predecible y una mejor aceptación por el consumidor. Asimismo, Burdon *et al.* (2016) sostienen que la materia seca es el predictor más robusto del contenido final de sólidos solubles; en este estudio, el 18,1 % de MS actuó como el sustrato necesario para la posterior respuesta en cámara. Esta alta concentración de reservas fue consistente con la evolución poscosecha (Tabla 2). Tras 30 días de almacenamiento en frío, los SST aumentaron un 49,0 % por hidrólisis de almidón, alcanzando un rango óptimo para el consumo. Este incremento confirma la capacidad del fruto para completar su maduración organoléptica mediante la activa hidrólisis del almidón acumulado, proceso que continúa incluso a temperaturas de 0 °C, tal como describen MacRae *et al.* (1992). En contraposición, la acidez titulable disminuyó un 42,3 % debido al uso de ácidos orgánicos como sustrato respiratorio, completando adecuadamente la maduración organoléptica. La firmeza constituyó el principal factor limitante, con una pérdida del 68,1 % en 30 días. Al respecto, Snelgar *et al.* (2005) indican que temperaturas estivales superiores a los 30 °C pueden reducir la firmeza potencial del fruto a la cosecha y acelerar de manera directa su posterior tasa de ablandamiento en cámara, comportamiento que se alinea con los desvíos climáticos registrados en este ciclo. La lectura integrada de los resultados permite diferenciar dos efectos contrapuestos del desvío respecto a los requerimientos climáticos del cultivo: por un lado, se favoreció la concentración de materia seca y el potencial de dulzor poscosecha; por el otro, se aceleró el metabolismo de ablandamiento, comprometiendo la aptitud para la conservación prolongada. Frente a campañas con estas características, el manejo técnico requiere intensificar el monitoreo de la firmeza a cosecha y evaluar tecnologías de conservación complementarias para mitigar la pérdida de consistencia.

Tabla 1. Principales variables meteorológicas registradas durante la campaña 2022/2023 en Mercedes, Buenos Aires.

Variable	Valor de campaña
Temperatura máxima	≈32 °C
Temperatura media (anomalía)	+1 a 2 °C
Precipitación acumulada	53,6 mm
Precipitación mínima mensual	2,5 mm
Humedad relativa media	66,2 %
Humedad relativa mínima	54,8 %

Tabla 2. Evolución de parámetros físico-químicos de frutos de kiwi cv. Hayward al momento de cosecha y luego de 30 días de almacenamiento en frío convencional.

Parámetro	Cosecha	Post-cámara	Cambio
Firmeza, kg cm ⁻²	7,78 ± 1,13	2,48 ± 0,55	-68,1 %
SST, °Brix	8,86 ± 0,91	13,20 ± 1,69	+49,0 %
Acidez titulable, %	1,42 ± 0,38	0,82 ± 0,08	-42,3 %

CONCLUSIONES

La campaña 2022/2023 en Mercedes se caracterizó por un marcado déficit hídrico, precipitaciones irregulares, temperaturas estivales superiores al promedio histórico y humedad relativa moderada-baja. Bajo estas condiciones, los frutos de kiwi cv. Hayward presentaron tamaño moderado y elevada materia seca, lo que favoreció el incremento de sólidos solubles durante la maduración poscosecha. Luego de 30 días de cámara convencional, los frutos alcanzaron valores adecuados de SST y menor acidez, compatibles con calidad de consumo. Sin embargo, la pérdida acelerada de firmeza fue el principal factor limitante de la vida útil. El análisis conjunto de variables meteorológicas y calidad indica que el estrés hídrico-térmico de precosecha no impidió obtener frutos de buena calidad organoléptica, pero pudo afectar negativamente su aptitud para almacenamiento prolongado y comercialización a distancia.

REFERENCIAS

- Burdon, J.; Pidakala, P.; Puzari, A.; Billing, D.; Boldingh, H.; Coleman, A. 2016. Postharvest fruit quality as affected by crop load and dry matter in Hayward kiwifruit. *Scientia Horticulturae* 202:129-137.
- Crisosto, C.H.; Kader, A.A. 1999. Kiwifruit postharvest quality maintenance guidelines. Central Valley Postharvest Newsletter, University of California, Davis. 11 p.
- MacRae, E.A.; Quick, W.P.; Benker, C.; Stitt, M. 1992. Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit. *Planta* 188:314-323.
- Ozturk, B.; Gun, S.; Karakaya, O.; Yildiz, K. 2024. Changes in fruit quality properties and phytochemical substances of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) grown in different agro-ecological conditions during cold storage. *BMC Plant Biology* 24:550.
- Snelgar, W.P.; Hopkirk, G.; Seelye, R.J.; Martin, P.J.; Manson, P.J. 2005. Relationship between yield, dry matter, fruit size and storage quality of Hayward kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 33:289-306.
- Warrington, I.J.; Weston, G.C. (Eds.) 1990. *Kiwifruit: Science and Management*. Ray Richards, Auckland, Nueva Zelanda. 576 p.

EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO E COEFICIENTE DE EVAPORAÇÃO (K_e) EM AMBIENTES NO TRÓPICO ÚMIDO

Campos*, B.S.¹; Silva L.F.F.¹; Eloy, A.V.M.¹; Navarro L.M.²; Luz, L.M.¹; Fernandes, G.S.T.¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capanema-PA, Brasil

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de ciência e Tecnologia, Sorocaba

*Contato: brunocampos.engab28@gmail.com

Palavras-chave: microlisímetros; sombreamento; microclima

INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais úmidas, há uma intensa capacidade evaporativa devido as influências meteorológicas, onde traz grande relevância em estudos ambientais e agrometeorológicos (Fisch *et al.*, 1998). A partir desse contexto, a análise dos fluxos de água no sistema solo-atmosfera permite compreender a resposta da evaporação às diferentes condições ambientais e microclimáticas (Epondina *et al.*, 2020). Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a evaporação da água do solo e o coeficiente de evaporação (K_e) sob diferentes níveis de sombreamento no município de Capanema-PA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) no município de Capanema, estado do Pará, na região da Amazônia Oriental. Foram definidos três microclimas experimentais: sombra, meia-sombra e pleno sol. Para mensurar a evaporação da água do solo em cada ambiente, foram utilizados 9 microlisímetros, 3 para cada ambiente. A coleta de dados dos microlisímetros ocorreu diariamente em um horário fixo realizado a cada 24h. A determinação da evaporação coletada se deu a partir do método de gravimetria (Flumignan, 2012), que possibilitou o estudo da razão entre a massa e a área de cada microlisímetro (Equação 1).

$$Ev = \left(\frac{\Delta MML(Kg)}{AML} \right) + P \quad (1)$$

Onde Ev = Evaporação da água do solo (mm dia⁻¹); ΔMML = Variação de massa (g); AML = Área do microlisímetro (m²); P = Precipitação [Entrada – CAP (mm)]. Para determinação do coeficiente de evaporação do solo (K_e), utilizou-se a relação teórica proposta pelo método do kc dual (Allen *et al.*, 1998), conforme a Equação 2:

$$K_e = \frac{Ev}{ET_0} \quad (2)$$

Onde K_e = Coeficiente de evaporação do solo; Ev = Evaporação da água do solo (mm dia⁻¹); ET₀ = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva utilizando o software Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a variação da evaporação e da evapotranspiração ao longo do experimento. Durante o período experimental, a ET₀ variou de 1,10 mm dia⁻¹ a 4,60 mm dia⁻¹, com média de 3,44 mm dia⁻¹. Enquanto a Ev, variou de 0,38 mm dia⁻¹ a 3,31 mm dia⁻¹, 0,51 mm dia⁻¹ a 3,82 mm dia⁻¹ e 0,72 mm dia⁻¹ a 3,69 mm dia⁻¹, em sombra, meia-sombra e pleno sol, respectivamente. Observa-se que o padrão de comportamento da Ev segue a demanda atmosférica representada pela ET₀, conforme esperado. De forma geral, dezembro destacou-se como o período mais estável e com maiores valores registrados. Como síntese das interações microclimáticas observadas, a Tabela 1 apresenta os valores médios do coeficiente de evaporação do solo (K_e) e as respectivas lâminas diárias de evaporação (Ev) para cada ambiente estudado.

Os dados demonstraram que o sombreamento influenciou diretamente na conservação da água no sistema. O tratamento a pleno sol apresentou a maior evaporação diária e maior coeficiente K_e, devido à maior incidência de radiação solar sobre o solo, favorecendo a transformação da água em vapor (Galvani *et al.*, 2001). Em contrapartida, os ambientes sob sombra e meia-sombra reduziram a perda de água, com menores valores de evaporação e K_e, destacando-se a sombra com os menores resultados. Segundo Sentelhas *et al.* (2014), o sombreamento reduz a quantidade de energia solar incidente, diminuindo o saldo de radiação na superfície. Assim, como o coeficiente K_e depende da energia disponível (Allen *et al.*, 1998), houve limitação do processo evaporativo no ambiente sombra e no ambiente meia-sombra, influenciada pela alternância entre radiação direta e difusa.

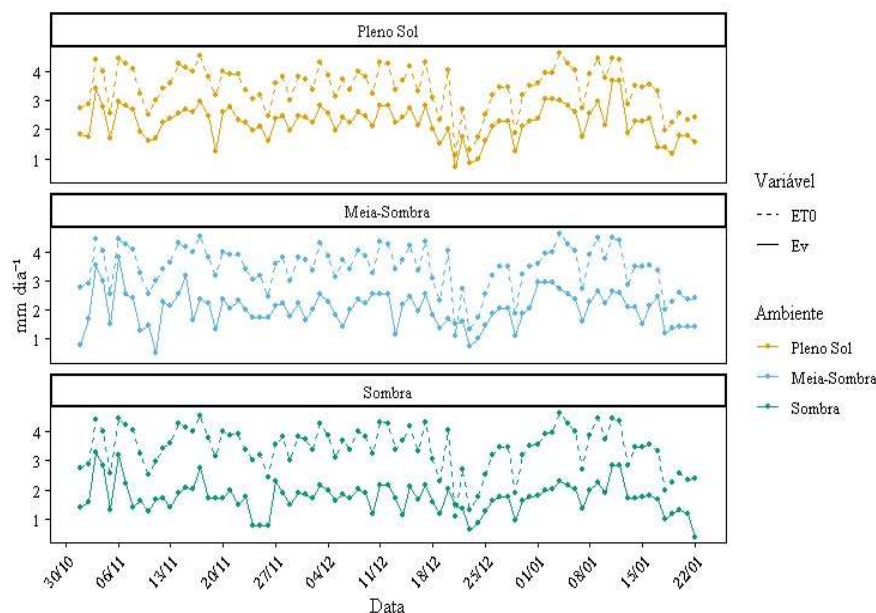


Figura 1. Variação da Evaporação (Ev) medida pelos microlisímetros e da Evapotranspiração (ET0) registrada pela estação meteorológica.

Tabela 1. Coeficiente de evaporação do solo (Ke) e evaporação média diária (Ev) nos diferentes ambientes.

Ambiente	Ke Médio	Evaporação Média, mm dia ⁻¹
Sombra	0,51 (± 0,13)	1,73 (± 0,52)
Meia-Sombra	0,59 (± 0,14)	2,02 (± 0,60)
Pleno- Sol	0,65 (± 0,06)	2,24 (± 0,57)

CONCLUSÕES

A dinâmica temporal do experimento mostrou que a evaporação diária do solo acompanhou paralelo a ET0, evidenciando a influência das condições do clima úmido no fluxo de vapor d'água entre o solo e a atmosfera, tendo bastante influência conforme o nível de sombreamento no ambiente. Essa variação refletiu-se diretamente nos valores do coeficiente de evaporação do solo (Ke), onde pode se mensurar a fração real da demanda atmosférica convertida em perda hídrica direta sob cada microclima.

REFERÊNCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.
- Epondina, A.E.; Costa, J.A.; de Figueiredo, J.V.; Vellame, L.M.; Costa, C.A.G. 2020. Avaliação da evaporação da água no solo através de células de carga sob diferentes condições de sombreamento. In: XXIX Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2020, Fortaleza, Brasil.
- Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. Acta Amazonica 28(2):101-126.
- Galvani, E.; Escobedo, J.F.; Pereira, A.B. 2001. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. Bragantia 60(2):139-147.
- Flumignan, D.L.; Faria, R.T. de; Lena, B.P. 2012. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. Engenharia Agrícola 32(1):80-90.
- Sentelhas, P.C.; Angelocci, L.R.; Marin, F.R. 2014. Meteorologia agrícola. ESALQ/USP. Piracicaba, Brasil. 192 p.

MONITORAMENTO METEOROLÓGICO EM AMBIENTES SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO

Campos*, B.S.¹; Souza, E.V.¹; Silva, L.F.F.¹; Eloy, A.V.M.¹; Navarro, L.M.²; Luz, L.M.¹; Fernandes, G.S.T.¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capanema-PA, Brasil

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de ciência e Tecnologia, Sorocaba

*Contato: brunocampos.engab28@gmail.com

Palavras-chave: dinâmica hidrotérmica; Amazônia Oriental; microclima

INTRODUÇÃO

Dados meteorológicos permitem caracterizar o comportamento climático de diferentes regiões por meio da análise de elementos como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, sendo fundamentais para a compreensão de processos ambientais e para o planejamento de atividades rurais e urbanas (Gonçalves, 2014). Além da variabilidade climática regional, fatores locais podem modificar significativamente as condições meteorológicas, influenciando diretamente a dinâmica microclimática dos ambientes.

Nesse contexto, alterações naturais ou artificiais, como a presença de cobertura vegetal e diferentes níveis de sombreamento, podem modificar a quantidade de radiação incidente na superfície, influenciando processos relacionados à temperatura, umidade e disponibilidade energética do ambiente (Costa, 2020). Dessa forma, o estudo do microclima torna-se importante para compreender as respostas ambientais em diferentes condições de cobertura. Diante disso, este trabalho tem como objetivo caracterizar e comparar as condições microclimáticas de ambientes com diferentes níveis de sombreamento (sombra, meia-sombra e pleno sol) no município de Capanema, Pará, por meio da análise da temperatura do ar, umidade relativa e precipitação, em condições de clima tropical úmido.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) no município de Capanema, no estado do Pará, na região da Amazônia Oriental, o estudo teve a duração de três meses: novembro, dezembro e janeiro. No local foram definidos três microclimas experimentais: sombra, meia-sombra e pleno sol. Para mensurar o monitoramento meteorológico dos ambientes através de termo-higrômetros automáticos, modelo IP-505 da marca IMPAC, posicionado em uma altura de um metro e trinta centímetros, e pluviômetros convencionais de acrílico com capacidade de 120mm da marca MFL, nos ambientes de sombra e meia-sombra, e de uma estação meteorológica automática (EMA) do tipo Davis Vantage Pro2, no ambiente de pleno sol. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva utilizando o software Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à distribuição temporal da precipitação pluviométrica nos ambientes avaliados durante o período experimental, observou-se comportamento irregular na ocorrência das chuvas, com maior concentração dos eventos pluviométricos entre o final de dezembro e início de janeiro. O acumulado pluviométrico total registrado durante o experimento foi de 181,6 mm, distribuído de forma desigual entre os meses avaliados. Novembro apresentou o menor acumulado, com 17,6 mm, enquanto dezembro concentrou os maiores volumes precipitados, totalizando 121,0 mm, seguido por janeiro, com 43,0 mm, evidenciando concentração temporal dos eventos chuvosos.

Ao analisar os ambientes experimentais, observa-se maior volume registrado em pleno sol, acumulando 83,6 mm, enquanto os ambientes sombra e meia-sombra apresentaram acumulados menores, ambos com 49,0 mm. O menor volume precipitado nos ambientes sombreados pode estar associado ao efeito de interceptação promovido pela cobertura vegetal, que reduz a quantidade de água que atinge diretamente a superfície (Melges *et al.*, 1989), reduzindo a quantidade de água que efetivamente atinge a superfície.

A Figura 1 apresenta a variação das temperaturas média, máxima e mínima nos ambientes de sombra, meia-sombra e pleno sol durante o período experimental. Observa-se que as temperaturas médias apresentaram baixa variabilidade entre os ambientes, mantendo valores próximos de 27 °C ao longo dos meses avaliados, enquanto diferenças mais evidentes foram observadas nas temperaturas extremas. As temperaturas máximas variaram entre 33,7 °C e 35,9 °C, enquanto as mínimas oscilaram entre 20,7 °C e 21,8 °C, indicando que as temperaturas mínimas apresentaram menores valores nos ambientes

sombreados e maiores registros em pleno sol, indicando diferenças no comportamento térmico entre os ambientes durante períodos de menor aquecimento.

A Figura 2 apresenta o comportamento da umidade relativa média nos ambientes avaliados durante o período experimental. Observa-se aumento gradual da umidade relativa em todos os ambientes. Os ambientes sombra e meia-sombra apresentaram comportamento semelhante, variando entre 73,0 % e 77,9 %, enquanto o ambiente pleno sol apresentou os maiores valores médios de umidade relativa durante todo o experimento, oscilando entre 84,2 % e 86,6 %. Observou-se que o ambiente de pleno sol apresentou os maiores valores médios de umidade relativa durante o período experimental. Esse comportamento pode estar relacionado às características dos ambientes avaliados e deve ser interpretado com cautela, uma vez que o estudo baseou-se em análise descritiva, não permitindo estabelecer relações de causa e efeito.

As diferenças observadas entre os ambientes também sugerem influência da cobertura vegetal sobre as condições microclimáticas locais. Segundo Pasa *et al.* (2020), a vegetação atua como reguladora do microclima ao reduzir a incidência de radiação solar e favorecer condições mais estáveis de temperatura e umidade relativa do ar.

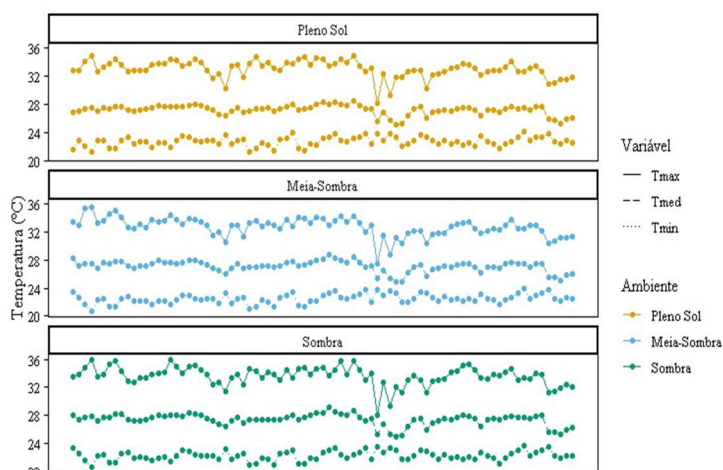


Figura 1. Variação temporal dos elementos meteorológicos: Temperatura do ar, em cada ambiente.

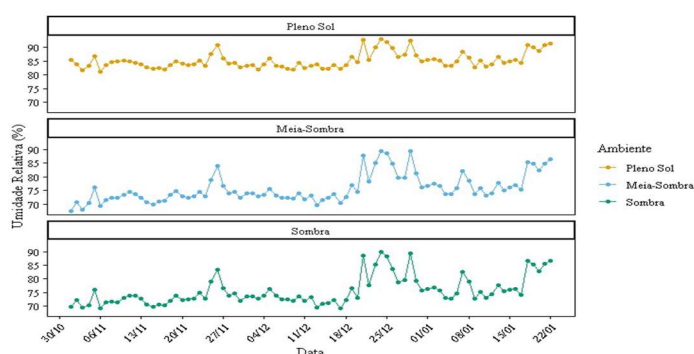


Figura 2. Variação temporal dos elementos meteorológicos: Umidade relativa, em cada ambiente.

CONCLUSÕES

O monitoramento meteorológico permitiu caracterizar as condições microclimáticas dos ambientes avaliados sob diferentes níveis de sombreamento, em Capanema-PA. Observou-se distribuição irregular da precipitação ao longo do período experimental, com maior concentração em dezembro, além de pequenas variações nas temperaturas médias entre os ambientes. As principais diferenças foram verificadas nas temperaturas extremas e na umidade relativa do ar, evidenciando comportamentos distintos entre os ambientes avaliados. De modo geral, os resultados sugerem que a presença de cobertura vegetal está associada a modificações nas condições microclimáticas locais em ambiente de clima tropical úmido.

REFERÊNCIAS

- Gonçalves, A.O. 2014. Caracterização climática. En: R.B. Prado; E.C.C. Fidalgo; A. Bonnet (Eds.). Monitoramento da revegetação do COMPERJ: etapa inicial. Embrapa. Brasília, Brasil. 65-82 pp.
- Costa, L.C.; Almeida, S.M. 2020. Manejos do solo associados a telas de sombreamento no cultivo da cebolinha no verão. Horticultura Brasileira 35:298-304.
- Melges, E.; Lopes, N.F.; Oliva, M.A. 1989. The effect of artificial shading on microclimate conditions in a soybean crop. Pesquisa Agropecuária Brasileira 24(7):857-863.
- Pasa, M.C.; Lenci, L.H.V.; Pereira, N.D.V.; Miranda, R.A.O. 2020. Vegetation and microclimate in open urban areas: Cuiabá, Mato Grosso, Brazil. Advances in Forestry Science 7(3):1111-1118.

EVALUACIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO DE BROTAÇÃO DE VID CON TEMPERATURAS MEDIAS

Cavagnaro*, M.A.¹; Araneo, D.C.²; González Antivilo, F.²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, 5528, Argentina

² CONICET, Centro Científico Tecnológico Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, Mendoza, 5500, Argentina

*Contacto: mcavagnaro@fca.uncu.edu.ar

Palabras clave: fecha de brotación; *Vitis vinifera* L.; correlaciones canónicas

INTRODUCCIÓN

La fecha de brotación de la vid es un dato importante para poder estimar el retraso o adelanto de la temporada agrícola y la planificación de las labores culturales. Asimismo, se puede prever junto con el pronóstico de mediano plazo la probabilidad de ocurrencia de heladas tardías en momentos fenológicos críticos.

Los modelos predictivos de la brotación de la vid han evolucionado significativamente, utilizando diversas metodologías para mejorar la precisión en la predicción de los eventos fenológicos. Los diferentes modelos estudiados incorporan diferentes datos meteorológicos y técnicas de aprendizaje automático para predecir las etapas críticas del crecimiento, como la brotación y la floración. Existen modelos de aprendizaje automático (Balcarcel *et al.*, 2025), modelos que emplean ecuaciones de tasas de desarrollo (SeokKyu *et al.*, 2010), otros con modelos matemáticos integrados (Faluomi y Borsi, 2019) y aquellos que emplean métodos de acumulación térmica (Felippeto *et al.*, 2012). Si bien estos modelos predictivos ofrecen metodologías avanzadas, su aplicación en diversas condiciones climáticas y variedades de uva sigue planteando desafíos.

El objetivo de este trabajo es evaluar una metodología práctica empleando temperaturas medias en un análisis de correlaciones canónicas, para así obtener un pronóstico de fecha de brotación en viticultura de zonas áridas de montaña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las temperaturas medias quincenales de una base de datos integrada por las temperaturas diarias de las estaciones meteorológicas San Martín y Mendoza AERO del Servicio Meteorológico Nacional. La base de datos de fecha de brotación corresponde a 8 variedades de vid, de una serie de 36 temporadas agrícolas desde 1983, en una propiedad ubicada en el departamento Santa Rosa, en el oasis Este de Mendoza.

Con ambas bases de datos se implementó un Análisis de Correlaciones Canónicas (ACC) utilizando las temperaturas quincenales como predictores y las fechas de brotación por variedad como variable respuesta, a lo largo de los 36 años de observaciones. A partir del ACC se implementaron distintos modelos predictivos a fin de estimar las fechas de brotación para cada variedad a partir de las temperaturas quincenales previas al mes de septiembre, utilizando entre 8 (de may-1 a ago-2) y 24 (de sep-1 –del año previo– a ago-2) quincenas, y reteniendo entre 1 y 8 variantes canónicas. En cada caso se estimaron los errores absolutos de estimación (i.e. $\varepsilon = |y_{\text{observado}} - y_{\text{pronosticado}}|$) mediante la técnica “Leave-One-Out Cross-Validation” y se compararon los promedios de las medianas de las distribuciones de errores para cada variedad, entre los modelos definidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diferentes corridas del análisis muestran una mejor performance utilizando el dato de promedio quincenal de temperatura media de 15 quincenas, desde la 2da de enero (mediados del verano anterior) hasta la segunda de agosto (fin del invierno), y tomando solo la primera variante canónica (Tabla 1). En este caso, el promedio de las medianas de los errores de predicción tomando las 8 variables fue de 3,64 días. La predicción mejor ajustada fue para la variedad Tempranillo (2,31 días) y el menor desempeño del modelo para Chardonnay (4,98 días) (Figura 1). En general, con un 90 % de confianza los errores resultaron menores a los 7-10 días, dependiendo de la variedad.

Otros modelos con errores semejantes se pueden lograr considerando 13 a 9 quincenas (desde febrero-abril hasta la 2da quincena de agosto) y alrededor de 6 variantes canónicas. En general, la performance se optimiza limitando el número de quincenas y variantes empleadas.

Considerando el rango medio de días entre los cuales ocurre generalmente la brotación (~20 días) en cada variedad, los errores encontrados con el modelo mostrado representan alrededor del 18 % del rango.

Tabla 1. Medianas de los errores absolutos, promediadas para las 8 variedades, obtenidos para los distintos modelos planteados, esto es, considerando como predictores las temperaturas quincenales desde la quincena de inicio indicada hasta la 2da de agosto, y el número de variantes canónicas indicado. La última columna muestra los valores medios de las columnas precedentes y la última fila, los valores medios de las filas precedentes.

N° quincenas	Quincena inicio	N° de variantes canónicas retenidas								Valor medio
		1	2	3	4	5	6	7	8	
8	May-01	3,84	3,97	4,03	4,03	4,06	4,17	4,11	4,01	4,03
9	Abr-02	3,83	3,96	4,00	3,85	3,80	3,69	3,79	3,95	3,86
10	Abr-01	3,89	3,95	4,01	3,81	3,87	4,00	4,00	3,92	3,93
11	Mar-02	3,91	3,89	3,86	4,00	3,77	3,82	3,87	3,81	3,87
12	Mar-01	4,03	3,92	3,95	3,76	3,78	3,70	3,98	3,84	3,87
13	Feb-02	3,94	4,08	3,97	3,92	3,83	3,71	4,30	4,08	3,98
14	Feb-01	3,73	3,92	4,09	4,11	4,18	4,00	3,79	3,88	3,96
15	Ene-02	3,64	4,09	4,14	3,94	4,19	4,36	4,20	4,26	4,10
16	Ene-01	3,73	4,05	4,16	4,21	4,57	4,16	4,30	4,48	4,21
17	Dic-02	3,75	4,11	4,03	4,21	4,49	4,42	4,37	4,57	4,24
18	Dic-01	3,77	3,98	4,06	4,30	4,19	4,47	4,56	4,98	4,29
19	Nov-02	4,00	3,98	3,88	4,11	4,19	4,70	4,83	5,06	4,34
20	Nov-01	4,09	3,90	3,92	4,50	4,38	4,56	4,81	5,06	4,40
21	Oct-02	4,15	4,16	4,37	4,43	4,57	4,40	4,93	4,98	4,50
22	Oct-01	3,73	4,22	4,37	4,76	4,74	4,73	5,32	5,26	4,64
23	Sept-02	3,84	4,22	4,45	4,76	5,01	4,90	5,61	5,90	4,84
24	Sept-01	3,78	3,99	4,91	5,14	5,30	5,73	6,56	6,32	5,22
Valor medio		3,86	4,02	4,13	4,23	4,29	4,32	4,55	4,61	

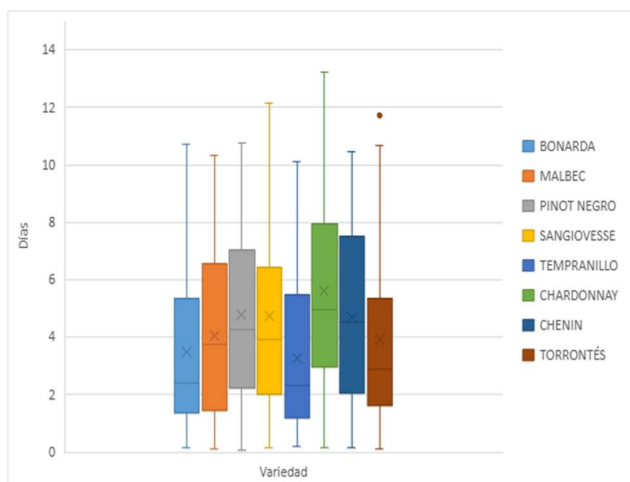


Figura 1. Representación box-plot de los errores absolutos de estimación por variedad, para el modelo de 15 predictores (quincenas desde 2 de enero hasta 2da de agosto) y 1 variante canónica. Las cajas representan los cuartiles Q1 y Q3. Las cruces representan el valor medio y los segmentos indican las medianas. Los bigotes representan los valores al 1.5 del rango intercuartil ($1.5 \times IQR$) por debajo y por encima de los cuartiles 1 y 3.

CONCLUSIONES

Mediante el uso de Correlaciones Canónicas se ha logrado obtener un modelo predictivo basado en una sola variable meteorológica (temperatura media quincenal) para la fecha de brotación de 8 variedades de vid. El modelo muestra una buena performance al predecir la fecha de brotación para las distintas variedades, con errores medios de entre 2 y 5 días, lo que representa entre el 12 % y el 25 % del rango de variabilidad de fechas de brotación, dependiendo de la variedad.

Tener esta precisión con error menor a una semana es importante para planificar tareas de podas tardías, preparación de tareas culturales de defensa pasiva contra heladas y planificación de defensa activa. Asimismo, tiene la ventaja de poder hacer la predicción con sólo una variable que es sencilla de calcular y está al alcance de los productores de vid.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la predisposición y colaboración con información del Ing. Agr. Sebastián Zuccardi y el Ing. Agr. Bernardo Nerviani.

REFERENCIAS

- Balcarcel, N.; Pesántez-Cabrera, P.; Goebel, K.; Keller, M.; Khot, L.R.; Fern, A.; Kalyanaraman, A. 2025. PhenoTracker: A machine learning model to track grape phenology. In: Workshop Proceedings of the 54th International Conference on Parallel Processing (ICPP Workshops '25), 2025, New York, USA.
- Faluomi, V.; Borsi, I. 2019. VINESYM: an integrated vine and grapevine mathematical model for vegetative development and production quality forecast. BIO Web of Conferences. 13. 10.1051/bioconf/20191302005.
- Felippeto, J.; Bergonci, J.I.; Santos, H.P. dos; Nava, G. 2012. Modelos de previsão de brotação para o cultivar de videira Cabernet Sauvignon na Serra Gaúcha. Pesquisa Agropecuária Gaúcha 26(2):85-91.
- SeokKyu, Y.; YongUk, S.; IkKoo, Y.; EunYoung, N.; JeomWha, H.; InMyung, C.; DukJun, Y.; HeeJae, L. 2011. Developmental rate equations for predicting bud bursting date of "Campbell Early" (*Vitis labrusca*) grapevines. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 29(3):181-186.

PRONÓSTICO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL COMO HERRAMIENTA DE TOMA DE DECISIONES. CASO DE ESTUDIO EN LOS CHACAYES, TUNUYÁN (MENDOZA)

Cavagnaro*, M.A.¹; Hidalgo, V.G.¹

¹ Cátedra de Meteorología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, CP 5528, Argentina

*Contacto: mcavagnaro@fca.uncu.edu.ar

Palabras clave: demanda atmosférica; agua; temperatura

INTRODUCCIÓN

La previsión de la evapotranspiración potencial (ET₀) mediante un pronóstico de temperatura de 7 días es un enfoque práctico para la gestión del riego y la asignación de los recursos hídricos. El método Hargreaves, que se basa principalmente en datos de temperatura, es ventajoso debido a su simplicidad y requisitos mínimos de datos en comparación con modelos más complejos como el Penman-Monteith. Este método se ha utilizado eficazmente en varios estudios para predecir la ET₀ con una precisión razonable en períodos de corto plazo. El método calcula la ET₀ utilizando la temperatura y la radiación incidente, lo que lo hace adecuado para áreas en las que solo se dispone de pronósticos de temperatura (Wu, 1997). Los estudios han demostrado que el método de Hargreaves, una vez calibrado, puede proporcionar estimaciones fiables del ET₀ comparables a las de modelos más complejos (Gentilucci *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022).

La calibración del coeficiente de Hargreaves es crucial para mejorar la precisión de los pronósticos del ET₀. Esto se ha demostrado en estudios en los que la calibración permitió obtener altos coeficientes de correlación entre los valores ET₀ pronosticados y medidos (Gentilucci *et al.*, 2021). Asimismo, Aguilera (2018) realizó la calibración del coeficiente para el oasis Norte de la Provincia de Mendoza, con resultados ajustados a estas condiciones.

El objetivo de este trabajo es estudiar si esta metodología de pronóstico, utilizando el método de Hargreaves-Samani puede resultar útil a los productores de la IG Los Chacayes para ajustar su régimen de riego, habida cuenta de la escasez del recurso en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima, media y mínima en tres (3) estaciones meteorológicas ubicadas en viñedos implantados en diferentes altitudes del distrito Los Chacayes (Tunuyán, Mendoza). El período de análisis fue desde diciembre de 2025 a abril de 2026. Se realizaron los cálculos de evapotranspiración potencial (ET₀) utilizando el método de Hargreaves-Samani (1982), ya que es un método recomendado par utilización en zonas áridas y necesita solamente registros de temperatura (1)

$$ET_{0HG} = Ca \times R_a \times (T_{med} + 17,78^{\circ}C) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (1)$$

Donde:

ET₀: evapotranspiración potencial de referencia, mm día⁻¹

T_{med}, T_{mín}, T_{máx}: temperatura media, mínima y máxima, respectivamente, °C

R_a: radiación astronómica, mm día⁻¹

Ca: Coeficiente de ajuste. Ecuación Original: 0,0023

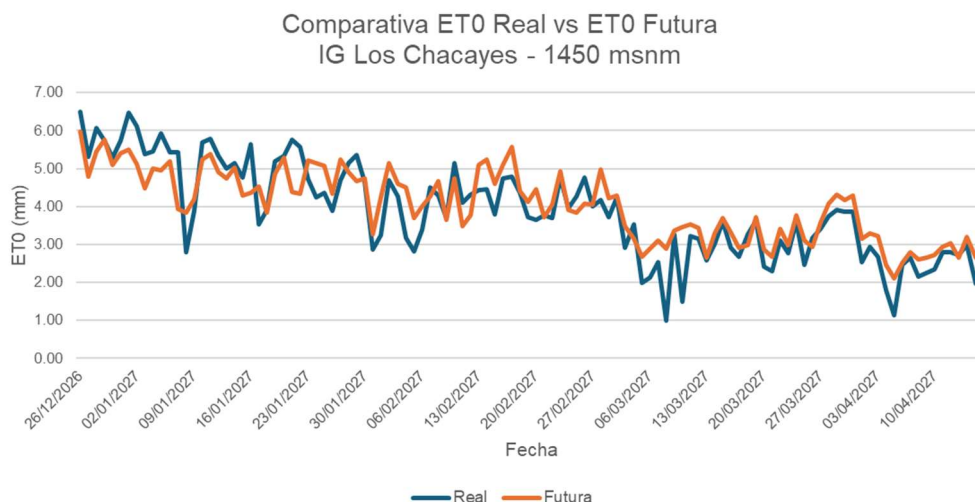
Los cálculos de ET₀ “futura” se realizaron con los pronósticos de temperatura a 7 (siete) días que brinda Meteoblue (www.meteoblue.com) a través de un ensamble de modelos de pronóstico. Se realizan cálculos de desvíos estándar y media de las diferencias entre valor real y pronosticado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estimaciones se evaluaron como positivas (Tabla 1 y Figura 1). Los errores de pronóstico fueron de algunas décimas de milímetro en promedio. Esto significa que es posible saber con anticipación cuánta agua demandará el viñedo la semana siguiente, planificando el riego con criterio agronómico preciso en lugar de reaccionar al estrés hídrico una vez que ya ocurrió.

Tabla 1. Estadísticos de la comparativa entre cálculos de ET0 real vs ET0 “futura” (pronosticada).

Altitud, m s.n.m.	Diferencia pronóstico-real, mm	DSt, mm	Coefficiente correlación
1450	0,15	0,61	0,8816
1242	-0,01	0,68	0,8561
1000	-0,38	0,60	0,8953

**Figura 1.** Comparativa de ET0 real y ET0 “futura” (pronosticada) en viñedos ubicados en Los Chacayes, Tunuyán, a 1450 m s.n.m.

CONCLUSIONES

Es posible estimar con información meteorológica básica y un pronóstico local ajustado, la demanda atmosférica de agua para así ajustar riegos en zonas donde el recurso hídrico se vuelve cada vez más escaso por causa del cambio climático. Los cálculos de evapotranspiración real y pronosticada podrán ser más precisos en cuanto se pueda ajustar por la incidencia de precipitaciones y por los coeficientes de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

A la Asociación Civil IG Los Chacayes, Lic. Lucas Giménez y Lic. Leandro Galmes.

REFERENCIAS

- Aguilera, R.B. 2018. Calibración de la ecuación de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET0) en el Oasis Norte de Mendoza, Argentina. Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina.
- Allen, R.G.; Pereira, R.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper56. Roma: FAO. ISBN 92-5-104219-5. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>, Consultado 11/09/2026.
- Gentilucci, M.; Bufalini, M.; Materazzi, M.; Barbieri, M.; Aringoli, D.; Farabollini, P.; Pambianchi, G. 2021. Calculation of potential evapotranspiration and calibration of the Hargreaves equation using geostatistical methods over the last 10 years in central Italy. *Geosciences* 11(8): 348.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Draining Division* 108(3):225–230.
- Wu, I.P. 1997. A simple evapotranspiration model for Hawaii: The Hargreaves Model. CTAHR Fact Sheet EN–106. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/12218/1/EN-106.pdf>, Consultado 11/09/2026.

FENOLOGÍA REPRODUCTIVA DE TOMATE INJERTADO SEGÚN NÚMERO DE EJES POR PLANTA Y APLICACIÓN DE ÁCIDO SALICÍLICO

Dell'Arciprete*, L.A.^{1,2}; Guaymasí, D.¹; Pincirolí, M.¹; Puig, L.¹; Martínez, S.B.¹; Garbí, M.¹

¹ Laboratorio de Investigación en Bioclima Vegetal (LIBIOV), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP.
Calle 60 y 119 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina

² Becaria Doctoral UNLP

*Contacto: lucianadellarciprete@gmail.com

Palabras clave: floración; fructificación; inicio de cosecha

INTRODUCCIÓN

En tomate (*Solanum lycopersicum* L.) el uso de plantas injertadas y la aplicación de ácido salicílico mejoran el desempeño de la planta frente a situaciones de estrés biótico y abiótico (Koo *et al.*, 2020; Suazo Castro *et al.*, 2023). Las plantas injertadas se conducen a más de un eje, aunque el aumento en el número de ramas puede generar competencia intraplanta, afectando su fenología, crecimiento y producción (Suazo Castro *et al.*, 2023). La aplicación de ácido salicílico puede estimular el crecimiento, tanto en condiciones normales como de estrés y favorecer diversos aspectos del desarrollo como la germinación de semillas, floración, fructificación y maduración; aunque los resultados pueden ser controversiales dependiendo de la concentración, la especie y las condiciones de cultivo (Koo *et al.*, 2020). La información acerca del comportamiento de plantas injertadas y tratadas con ácido salicílico es aún escasa, siendo objetivo de este trabajo evaluar el efecto del tratamiento con esta fitohormona sobre la fenología de la fase reproductiva en tomate injertado y conducido a uno y dos ejes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se condujo en un invernadero parabólico (24 m x 40 m), con orientación norte-sur, ubicado en la Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn, FCAyF, UNLP (34° 58' S, 57° 54' W). Se utilizaron plantas de tomate F1 cv. Yigido injertado sobre Idealfort (Semini Inc. St. Louis, US). El trasplante se realizó el 15/09/2025 a macetas de 5 L, utilizando sustrato en base a turba y perlita. Las plantas se condujeron a uno y dos ejes, ubicando las macetas de modo que se mantuvieran distancias de 25 cm y 50 cm entre plantas, para la conducción a uno o dos ejes, respectivamente, conservando en ambos casos una densidad de cuatro ejes m⁻¹. El tratamiento con ácido salicílico consistió en la aplicación de una concentración 100 µM por riego al cuello de la planta en la bandeja de germinación (1 ml planta⁻¹) 24 horas previas al trasplante, utilizando plantas sin tratar como testigo. Se registró la fecha de inicio de floración y fructificación hasta el cuarto racimo, considerando inicio de las fases cuando se presentó la apertura de al menos una flor en la inflorescencia, y la fructificación cuando ocurrió el cuajado de frutos en las flores observadas previamente. También se registró fecha de inicio de cosecha. Durante el periodo de ensayo se registró la temperatura del aire a intervalos de 60 minutos con una estación meteorológica automática Davis Advantage Pro2 ubicada en el centro del invernadero. Se calculó el tiempo térmico (TT) desde el trasplante hasta el inicio de cada fase según la fórmula $TT = T_{media} - T_{base}$, considerando una temperatura base de 10 °C (Guaymasí *et al.*, 2018). Se utilizó un diseño enteramente aleatorizado con arreglo factorial 2 x 2 y 4 repeticiones. Los datos se sometieron a análisis de la varianza utilizando el software estadístico Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de ejes por planta y la aplicación de ácido salicílico actuaron de manera independiente sobre la floración, la fructificación y el inicio de la cosecha, coincidiendo con el tipo de respuesta reportado por Dell'Arciprete *et al.* (2024) al evaluar el efecto de estos mismos factores sobre el crecimiento y producción del cultivo. La conducción a dos ejes retrasó significativamente el inicio de floración del cuarto racimo y la fructificación del tercer y cuarto racimo, tanto en tiempo cronológico como térmico (Tablas 1 y 2). La falta de respuesta en los primeros racimos se justifica por el momento en que se inició la conducción, 30 días después del trasplante, en coincidencia con la floración del segundo racimo. Los días y tiempo térmico a floración y fructificación del primer racimo son equivalentes a los registrados para el cv. Ichiban injertado sobre Maxifort y cultivado en una época equivalente (Suazo Castro *et al.*, 2019). Un adelanto de 3 días en la cosecha de plantas a dos ejes, respecto a la conducción a una rama, fue también observado por Dell'Arciprete *et al.* (2022) en tomate cv. Etereí injertado sobre Multifort, en tanto que el tiempo requerido desde el trasplante es coincidente con el reportado por estos autores y por Suazo Castro *et al.* (2023) al evaluar igual forma de conducción en el híbrido SVTH 2900 injertado sobre Multifort. La aplicación de ácido salicílico no incidió significativamente sobre la floración de los diferentes racimos, transcurriendo entre 18 y 20 días (139,9 y 152,5 GDA) para el primer racimo y entre 53 y 54 (451,6 y 459,0) para el cuarto; mientras que la fructificación del segundo y tercer racimos se vieron significativamente retrasadas por este tratamiento, sin afectar el inicio de cosecha (Tabla 3). Estos efectos contradicen lo reportado por Koo *et al.* (2020) para diversas especies, quienes indican que la aplicación exógena de ácido salicílico estimula la floración y mejora el cuajado de frutos, pero coincide con el hallazgo de Ojeda (2025) quien realizó tratamientos similares en tomate cv. Yigido, sin observar efectos significativos sobre la

ocurrencia de la floración. Estas discrepancias pueden deberse a respuestas específicas de la especie, dado que diferentes concentraciones de ácido salicílico pueden tener efectos estimulantes o bloquear el desarrollo según la especie (Koo *et al.*, 2020).

Tabla 1. Días y grados-día (GDA) requeridos desde trasplante a floración del primer al cuarto racimo en tomate cv. Yigido injertado sobre cv. Idealfort según número de ejes por planta. La Plata, Buenos Aires, Argentina. Ciclo 2025/26.

N° ejes	1° racimo		2° racimo		3° racimo		4° racimo	
	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA
1	18	139,9	29	243,5	40	343,4	50*	427,0*
2	18	139,8	31	259,5	43	366,4	57	490,7
CV	18,38	23,19	11,64	13,62	8,23	21,24	10,47	10,86
p	>0,9999	0,9958	0,4089	0,3682	0,1321	0,6148	0,0259	0,0251

* en la columna indican diferencias significativas según análisis de varianza ($p < 0,05$)

Tabla 2. Días y grados-día (GDA) requeridos desde trasplante a fructificación del primer al cuarto racimo e inicio de cosecha en tomate cv. Yigido injertado sobre cv. Idealfort según número de ejes por planta. La Plata, Buenos Aires, Argentina. Ciclo 2025/26.

N° ejes	1° racimo		2° racimo		3° racimo		4° racimo		Inicio cosecha	
	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA
1	26	210,5	38	325,2	48*	410,3*	61*	514,2*	70	629,4
2	26	209,5	39	335,6	52	444,4	67	588,0	66	582,9
CV	14,89	17,12	7,64	8,92	7,76	7,06	6,77	7,57	5,82	7,08
p	>0,9999	0,9712	0,4557	0,4919	0,0446	0,0427	0,0036	0,0041	0,0523	0,2814

* en la columna indican diferencias significativas según análisis de varianza ($p < 0,05$)

Tabla 3. Días y grados-día (GDA) requeridos desde trasplante a fructificación del primer al cuarto racimo e inicio de cosecha en tomate cv. Yigido injertado sobre Idealfort según tratamiento con ácido salicílico (AS) 100 μ M. La Plata, Buenos Aires, Argentina. Ciclo 2025/26.

	1° racimo		2° racimo		3° racimo		4° racimo		Inicio cosecha	
	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA	Días	GDA
Sin AS	24	194,8	36*	235,6*	48*	410,3*	63	545,5	67	594,1
Con AS	27	225,6	40	343,4	53	451,6	64	556,7	69	618,3
CV	14,89	17,12	7,64	13,62	7,76	7,06	6,77	7,57	5,82	7,08
p	0,1159	0,1130	0,0288	0,0886	0,0354	0,0390	0,5710	0,6017	0,2766	0,2814

* en la columna indican diferencias significativas según análisis de varianza ($p < 0,05$)

CONCLUSIONES

El número de ejes y la aplicación de ácido salicílico actuaron de manera independiente sobre la fenología del cultivo. Los retrasos en la floración y fructificación de los racimos superiores producidos por la conducción a dos ramas o el uso de ácido salicílico no impactaron de manera negativa en el inicio de cosecha, pudiendo recomendarse el uso combinado de estas prácticas sin que las modificaciones en la fenología retrasen la entrada en producción.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto I+D UNLP 114/366 Ecofisiología y bioclimatología de cultivos intensivos protegidos y a campo.

REFERENCIAS

- Dell'Arciprete, L.; Sánchez de la Torre, M.E.; Pincioli, M.; Puig, L.; Saldúa, V.L.; Garbi, M.; Martínez, S.B. 2022. Precocidad y productividad según número de ramas por planta en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado y sin injertar. *Investigación Joven* 9(2):51-52.
- Dell'Arciprete, L.; Puig, M.L.; Martínez, S.; Garbi, M. 2024. Tomate injertado conducido a dos y cuatro ejes: respuesta a distintas concentraciones de ácido salicílico. *Investigación Joven* 11:1-6.
- Guaymasí, D.V.; Garbi, M.; Morelli, G.; Martínez, S. Ex aequo. 2018. Días y tiempo térmico a floración y fructificación en solanáceas cultivadas en invernadero en La Plata. *Horticultura Argentina* 37(92): 35-41.
- Koo, Y.; Yeong Heo, A.; Choi, H.W. 2020. Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *Plant Pathology Journal* 36:1-10.
- Ojeda, J.P. 2025. Efecto del modo de aplicación de ácido salicílico a plantines de tomate sobre la respuesta fisiológica y productiva del cultivo en condiciones de restricción hídrica. Tesis de maestría, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina.
- Suazo Castro, B.R.; Garbi, M.; Pincioli, M.; Martínez, S. 2019. Comportamiento de un híbrido de tomate injertado según forma de conducción de la planta. *Investigación Joven* 6(2):20-30.
- Suazo Castro, B.R.; Martínez, S.; Puig, L.; Maiale, S.; Garbi, M. 2023. Periodo de cosecha y productividad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado y conducido a más de un eje, bajo invernadero. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 39(1): 23-34.

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE REQUERIMIENTOS DE SATISFACCIÓN HÍDRICA MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN COEFICIENTE DE CULTIVO VARIABLE

Faroni*, P.A.¹; Veliz, A.¹; Maio, S.¹

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. San Martín 4453 - C1417 DSE CABA, Argentina

*Contacto: afaroni@agro.uba.ar

Palabras clave: balance hidrológico; almacenaje; maíz

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua en el momento de la siembra, y especialmente durante el período crítico de floración, constituye un factor determinante en la productividad. El Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA) (Fernández Long *et al.*, 2012) permite estimar, en tiempo real, el contenido hídrico del suelo, representando una herramienta estratégica para la toma de decisiones en el sector agropecuario. Actualmente, el BHOA asigna un valor de Kc igual a uno en todos los casos. Dado que este Kc varía a lo largo del ciclo de cada cultivo según sus necesidades hídricas y está estrechamente vinculado a su fenología, su inclusión al modelo permitiría mejorar la precisión de las estimaciones y optimizar la gestión del agua en la producción agrícola (Veliz *et al.*, 2024). El Índice de Satisfacción de Requerimientos Hídricos (WRSI) fue propuesto por FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977; Frère y Popov, 1986) y estima el rendimiento potencial de los cultivos en función de la disponibilidad de agua. Este índice se define como la relación entre la evapotranspiración real del cultivo (ER) y el requerimiento hídrico total, representado por la evapotranspiración potencial del cultivo (ETc). El WRSI también conocido como índice de sequía específico del cultivo (CSDI) (Melesse *et al.*, 2007), proporciona una predicción del rendimiento del cultivo en función de la disponibilidad de agua durante el crecimiento (Frère y Popov, 1986; McNally *et al.*, 2015), muestra el grado en que se satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos durante el crecimiento (Patel *et al.*, 2011). El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del Índice WRSI calculado con un coeficiente de cultivo igual a 1 y otro variable para caracterizar la aptitud hídrica de la Región Pampeana y su relación con el rendimiento del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron los rendimientos de maíz de 25 departamentos y/o partidos de la Región Pampeana para las campañas comprendidas entre 2000/01 y 2022/23 (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2025). Las localidades consideradas están asignadas según las regiones definidas por la Bolsa de Cereales de Buenos Aires: Zona Núcleo (Junín, Pergamino, Laboulaye, Marcos Juárez, Rosario y Venado Tuerto), Centro de Buenos Aires (Azul, Bolívar, Las Flores), Centro-Norte de Santa Fe (Ceres, Sauce Viejo), Norte de La Pampa y Oeste de Buenos Aires (General Pico, Santa Rosa, 9 de Julio y Pehuajó), Centro-Norte de Córdoba (Río Cuarto, Villa María del Río Seco, Córdoba, Pilar), Sudoeste de Buenos Aires (Coronel Suárez y Pigüé), Sudeste de Buenos Aires (Tandil, Tres Arroyos) y Entre Ríos (Galeguaychú y Paraná). Utilizando las salidas resultantes del BHOA, se calculó diariamente el Índice WRSI (Ecuación 1), donde: ER= Evapotranspiración real y ETc = Evapotranspiración del cultivo

$$WRSI = ER/ETc \quad (1)$$

La ETc corresponde a la evapotranspiración potencial específica del maíz, ya que la evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia se ajusta mediante el uso de coeficientes de cultivo apropiados (Kc) según sus distintas fases fenológicas. Se calculó el WRSI para cada departamento en estudio y para cada década de la serie y se obtuvo el valor medio. La primera década se define como el período de diez días entre el 1ro y el 10mo día de cada mes; la segunda década, entre el 11ro y 20mo día. La última década del mes puede tener 8, 9, 10 u 11 días (OMM, 1966). Para poder realizar las comparaciones pertinentes, el WRSI se calculó considerando los valores de Kc a lo largo del ciclo del cultivo, como también los valores de cultivo de referencia, sin la introducción del Kc. Se computaron los coeficientes de correlación entre los valores de WRSI decadales Kc variable y con Kc = 1 en el ciclo del maíz durante las series analizadas. Se identificó la década con la mayor correlación y se comprobó si la misma coincidía con el período crítico, en el cual la fecha de floración supera el 50 % de la superficie del área sembrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios decadales de WRSI durante el trimestre crítico (diciembre-febrero) permitieron agrupar las localidades en cuatro clústeres según su comportamiento hídrico. El Clúster 1 quedó integrado por V. Tuerto, Paraná, S. Viejo, Rosario y Gualguaychú; el 2 por Pergamino, Junín, M. Juárez, 9 de Julio, G. Pico y Pehuajó; el 3 por Azul, Tandil, Tres Arroyos, C. Suárez, Bolívar y Pigüé; y el 4 por Córdoba, Ceres, Santa Rosa, Laboulaye y Pilar. La comparación entre el WRSI calculado con Kc = 1 y con Kc variable mostró diferencias en la respuesta del índice durante el período de máxima demanda hídrica del cultivo (Figura 1). En los Clústeres 2 y 3 las diferencias entre ambas metodologías fueron pequeñas durante casi todo el

período analizado, mientras que en el Clúster 1 aumentaron hacia fines de enero y febrero. El mayor contraste se observó en el Clúster 4, donde el WRSI calculado con Kc variable presentó los menores valores durante enero, coincidiendo con el período de máxima demanda hídrica del maíz. Estos resultados concuerdan con el fundamento del Índice WRSI, permitiendo identificar períodos en los que la disponibilidad de agua resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos hídricos (Frère y Popov, 1986). Asimismo, coinciden con lo señalado por McNally *et al.* (2015) y Tarnavsky *et al.* (2018) quienes destacan que la incorporación de los requerimientos hídricos específicos del cultivo mejora la capacidad del índice para detectar situaciones de estrés hídrico. En este sentido, la utilización de un Kc variable permitió representar de manera más realista la evolución de la demanda hídrica del maíz durante su ciclo fenológico, incrementando la sensibilidad del WRSI para diferenciar ambientes con distinta aptitud hídrica, en concordancia con lo observado por Patel *et al.* (2011).

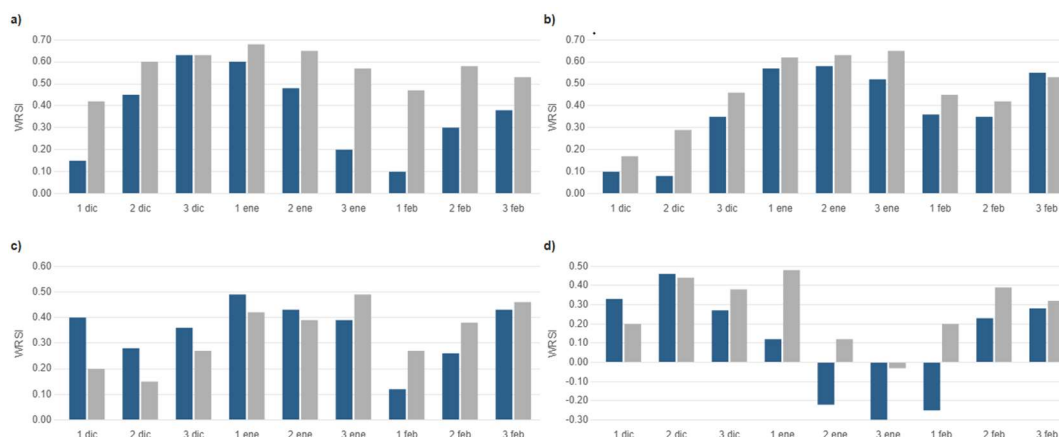


Figura 1. Comparación de los valores de WRSI con un Kc = 1 (barra gris) vs WRSI con un Kc variable (barras azules). a) Clúster 1: Venado Tuerto; b) Clúster 2: Pehuajó; c) Clúster 3: Azul; d) Clúster 4: Santa Rosa.

CONCLUSIONES

La incorporación de un coeficiente de cultivo variable al cálculo del WRSI permitió representar con mayor precisión la dinámica de los requerimientos hídricos del maíz durante el período crítico. Esta metodología mejoró la diferenciación de ambientes con distinta aptitud hídrica en la Región Pampeana, constituyendo una herramienta útil para la evaluación del riesgo de estrés hídrico y para la planificación del manejo del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto 20020220400028BA UBACYT 2023 Mod II.

REFERENCIAS

- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 24, Rome, Italy
- Fernández Long, M.E.; Spescha, L.; Barnatán, I.; Murphy, G.M., 2012. Modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA). Revista de la Facultad de Agronomía, Agronomía & Ambiente 32(1-2):31–47.
- Frère, M.; Popov, G.F. 1986. Early agrometeorological crop yield assessment. Plant Production and Protection. Paper N. 73. FAO, Rome, Italy.
- McNally, A.; Husak, G.J.; Brown, M.; Carroll, M.; Funk, C.; Yatheendradas, S.; Arsenault, K.; Peters-Lidard, C.; Verdin, J.P. 2015. Calculating crop water requirement satisfaction in the West Africa Sahel with remotely sensed soil moisture. Journal of Hydrometeorology 16(1):295–305.
- Melesse, A.M.; Weng, Q.; Thenkabail, P.S.; Senay, G.B. 2007. Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling. Sensors 7(12):3209–3241.
- OMM. 1966. Guide to Climatological Practices WMO-No. 100.
- Patel, N.R.; Manish, S.; Kumar, S. 2011. Use of earth observation for geospatial cropwater accounting of rain-fed agro-ecosystem in India. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII-8/W20:23–28.
- Tarnavsky, E.; Chavez, E.; Boogaard, H. 2018. Agro-meteorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index (WRSI) model to rainfall. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 73:77-87.
- Veliz, A.; Maio, S.; Faroni, A.; Puccetti, C.; Sosa, G.; Fernández Long, M.E. 2024. Evaluación del balance hidrológico operativo para el agro considerando un coeficiente del cultivo de maíz mediante sensores remotos. En: XX Reunión Argentina de Agrometeorología: desafíos para la producción en zonas secas ante escenarios futuros, 2024, Chilecito, Argentina.

EFFECTO DEL CULTIVO DE SERVICIO Y SU PASTOREO SOBRE EL RENDIMIENTO DE SOJA EN ESCENARIOS HIDRICOS CONTRASTANTES

Fernández*, F.E.¹; Montes, F.¹; Rodríguez Guñazú, A.¹; Bonamy, M.² y Prando, A.²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 1900, Argentina

² Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 1900. Argentina

*Contacto: federico.fernandez@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: sistemas integrados; SPI; raigrás anual

INTRODUCCIÓN

Los sistemas integrados agrícola-ganaderos (SI) se proponen como una alternativa de intensificación sostenible frente a los sistemas convencionales debido a sus beneficios agronómicos, económicos, ecológicos y sociales (Rota y Sperandini, 2011). El manejo del pastoreo adquiere especial relevancia en los SI, ya que la intensidad de utilización modifica la heterogeneidad de la vegetación, la cantidad y calidad de residuos y, en consecuencia, las condiciones para el cultivo posterior (Carvalho *et al.*, 2018). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación y el pastoreo de un cultivo de servicio sobre el rendimiento de soja para cosecha en condiciones climáticas contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante las campañas 2022/2023 y 2024/2025 en el campo Don Joaquín de la Universidad Nacional de La Plata, ubicado en Magdalena, Buenos Aires. Los tratamientos fueron: sin cultivo de servicio (SCS), cultivo de servicio sin pastoreo (CCSSP) y cultivo de servicio con pastoreo continuo a 20 cm (H20) y 10 cm (H10) de altura promedio, distribuidos al azar con dos repeticiones en 2022/2023 y tres en 2024/2025. Las alturas se registraron semanalmente con sward stick. Como cultivo de servicio se utilizó raigrás anual (*Lolium multiflorum*), implantado en siembra directa y posteriormente interrumpido con herbicida en encañazón, previo a la siembra de soja (*Glycine max*). Las fechas de siembra fueron 5/12/22 y 1/12/2024, grupo de maduración IV medio, de crecimiento indeterminado y la distancia entre líneas de 42 cm. El rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹) se determinó a madurez fisiológica mediante la cosecha manual de los granos en un área de 1 m² (2,86 m lineales) en 10 puntos de muestreo por tratamiento, extrapolando posteriormente los resultados a hectárea. Durante el periodo comprendido entre la finalización del cultivo de servicio y la cosecha de soja se registraron las precipitaciones con pluviómetro (P) en el establecimiento y se calculó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) mensual (McKee *et al.*, 1993) (Ecuación 1). La información de p^* y σp corresponden a la Sociedad Rural de Magdalena. Los rangos de clasificación de categorías fueron las definidas por el Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA: <https://sisssa.crc-sas.org/>), donde: P es la precipitación, p^* es la precipitación media, σp es la desviación estándar de la precipitación.

$$SPI = (P - p^*) / \sigma p \quad (1)$$

Los rendimientos entre tratamientos y años se compararon mediante ANOVA y test de Tukey ($p < 0,05$) mediante librerías específicas para análisis y gráficos en Python 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las campañas evaluadas presentaron escenarios hídricos contrastantes. En 2022/2023, el SPI promedio fue de -0,79, lo que indicó una condición general de déficit hídrico, con meses clasificados como de sequía severa ($-1,5 \leq SPI \leq -1$) en noviembre, febrero y abril. En 2024/2025 el SPI promedio fue de 0,00, correspondiente a una condición normal, aunque con variabilidad, ya que diciembre, enero, febrero y abril presentaron valores de sequía moderada ($-1 \leq SPI \leq -0,5$), mientras que marzo fue extremadamente húmedo ($SPI \geq 1,5$). Este contraste ambiental se reflejó en la respuesta del cultivo. El análisis de la varianza detectó un efecto significativo del año ($p < 0,0001$) y una interacción significativa entre tratamiento y año ($p = 0,008$).

En 2022/2023, el tratamiento SCS no difirió significativamente de CCSSP, aunque ambos superaron significativamente a los tratamientos pastoreados. En términos absolutos, SCS superó a H10 en 760,8 kg ha⁻¹ y H20 en 830,0 kg ha⁻¹, mientras que CCSSP superó a H10 en 480,0 kg ha⁻¹ y H20 en 549,2 kg ha⁻¹. En la campaña 2024/2025, por el contrario, no se detectan diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) (Figura 1). La falta de diferencias entre SCS y CCSSP coinciden con antecedentes que tampoco registraron efectos negativos del cultivo de servicio no pastoreado sobre el rendimiento de soja (Rillo, 2012; Scianca, 2010; Marino *et al.*, 2020). Del mismo modo, la ausencia de efecto negativo en el rendimiento por efecto del pastoreo en 2024/2025 coincide con lo informado por Tomassetti *et al.* (2024) y Zurbriggen *et al.* (2024). No obstante, en condiciones hídricas desfavorables los tratamientos pastoreados presentaron una reducción del rendimiento. Este comportamiento podría explicarse, al menos en parte, por el escaso tiempo de desarrollo del sistema integrado evaluado, que al momento del estudio transitaba su segundo año de implementación, a diferencia de otros trabajos realizados sobre sistemas

más estabilizados. En este sentido, Moraes *et al.* (2014) destacan que las mejoras en las propiedades del suelo y en la capacidad del sistema para amortiguar situaciones de estrés abiótico se manifiestan principalmente a largo plazo.

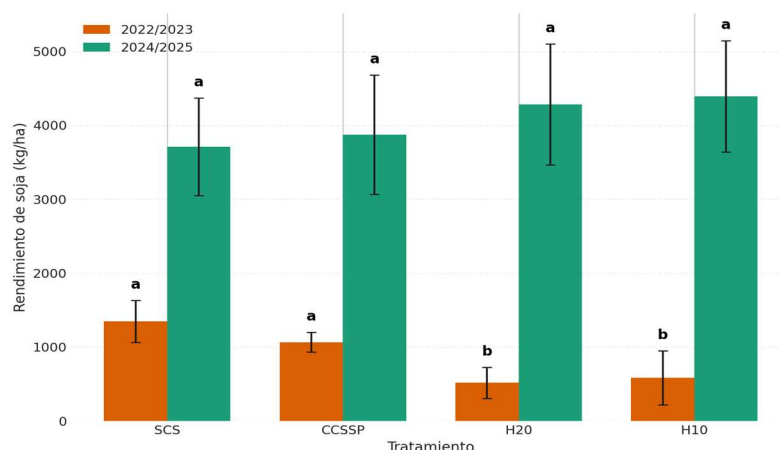


Figura 1. Rendimiento de soja según tratamiento en las campañas 2022/2023 y 2024/2025. Las columnas representan los medios y las barras verticales el desvío estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada campaña (Tukey $p < 0,05$). SCS: sin cultivo de servicio; CCSSP: cultivo de servicio sin pastoreo; H20: pastoreo a 20 cm; H10: pastoreo a 10 cm.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el efecto del cultivo de servicio y su pastoreo sobre el rendimiento de soja dependió de las condiciones hídricas de cada campaña. Bajo déficit hídrico, los tratamientos con pastoreo redujeron el rendimiento respecto de aquellos sin pastoreo, mientras que en condiciones de mayor disponibilidad de agua esas diferencias desaparecieron. Asimismo, la ausencia de diferencias entre SCS y CCSSP sugiere que la implantación del cultivo de servicio, sin pastoreo, no afectó el rendimiento de soja.

REFERENCIAS

- Carvalho, P.C.F.; Barro, R.S.; Neto, A.B.; de Albuquerque Nunes, P.A.; Moraes, A.; Anghinoni, I.; Bredemeier, C.; Bayer, C.; Martins, A.P.; Kunrath, T.R.; dos Santos, D.T.; Carmona, F.; Barros, T.; de Souza Filho, W.; Menezes de Almeida, G.; Caetano, L.A.M.; Cecagno, D.; Arnuti, F.; Denardin, L.; Bonetti, G.; Toni, C.; Moraes Borin, J.B. 2018. Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Brazilian Journal of Animal Science*. 47:e20170001.
- Marino, M.A.; Briguglio, M.; Berg, G.; Larrosa, M.; Berger, H.; Cuervo M.; Cuerbo Arango, S.; Santa Cruz, L.; Berone, G.D. 2020. Oat-soybean rotation: forage offer, aerial and belowground biomass and grain crop yield. En: 43° Congreso Argentino de Producción Animal, 2020, Modalidad virtual, Argentina.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints. In: 8th Conference on Applied Climatology, 1993, California, EE. UU.
- Moraes, A. de; Carvalho, P.C. de F.; Anghinoni, I.; Lustosa, S.B.C.; Costa, S.E.V.G. de A. & Kunrath, T.R. 2014. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy* 57:4-9.
- Rillo, S.N. 2012. Cultivos de cobertura para mejorar las condiciones del suelo en rotaciones con alta frecuencia de soja. Trabajo Final de Especialización, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Rota, A.; Sperandini, S. 2011. Integrated crop-livestock farming systems. *Livestock Thematic Paper IFAD* 1-8.
- Scianca, C.M. 2010. Cultivos de cobertura en molisoles de la región pampeana. Producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja. Tesis Magister, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Tomassetti, A.; Zurbriggen, G.A.; Nalino, M.; Ceaglio, E.; Kruijssen, I.; Galli, J.; Planisich, A. 2024. Evaluación del pastoreo secuencial y moderado de cultivos de servicio en el desempeño de sistemas integrados. *Revista Argentina de Producción Animal* 1:148.
- Zurbriggen, G.A.; Baigorria, T.; Pegoraro, V.; Ortíz, J.; Bertram, N.; Tomassetti, A.; Galli, J.R. 2024. Pastoreo de cultivos de servicios en sistemas integrados durante un año de sequía. *Revista Argentina de Producción Animal* 1:146.

VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA AEREA DE UNA PRADERA HUMEDA DE MESÓFITAS DE LA DEPRESIÓN DEL SALADO

Fernández*, F.E.¹; Rodríguez Guíñazú, A.¹; Heguy, B.¹; Jalil, G.¹; Lamarche, L.¹; Sarandón, P.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 1900, Argentina

*Contacto: federico.fernandez@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: precipitación; NDVI

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de cría bovina de la Depresión del Salado, el principal recurso forrajero es el pastizal natural, integrado por un mosaico de praderas húmedas de mesófitas (PHM), praderas de hidrófitas y estepas de halófitas (Burkart *et al.*, 2005). En este contexto, la productividad primaria neta aérea (PPNA), entendida como la tasa de acumulación de biomasa vegetal aérea por unidad de superficie y tiempo, representa una medida de la energía disponible para los herbívoros (Oesterheld *et al.*, 2011) y exhibe una elevada variabilidad espacial y temporal. La PPNA puede estimarse mediante el uso de sensores remotos a partir del modelo propuesto por (Monteith, 1972) (Ecuación 1), metodología ampliamente utilizada para cuantificar la producción de biomasa en ecosistemas pastoriles (Piñeiro *et al.*, 2006), donde la PPNA es la productividad primaria neta aérea ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$), RFAI es la radiación fotosintéticamente activa incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$), fPAR es la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la cobertura vegetal y la EUR representa el coeficiente de conversión de radiación absorbida en biomasa aérea expresado en gramos de biomasa seca por megajoule (g MJ^{-1}) de radiación absorbida.

$$\text{PPNA} = \text{APAR} (\text{RFAI} \times \text{fPAR}) \times \text{EUR} \quad (1)$$

El objetivo de este trabajo fue estimar la variabilidad interanual y estacional de la productividad primaria neta aérea y analizar la influencia de las precipitaciones sobre su dinámica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el establecimiento “El Amanecer” de la Universidad Nacional de La Plata, ubicado en Magdalena. El principal recurso forrajero corresponde al pastizal natural, integrado por un 70 % de pradera húmeda de mesófitas (PHM), un 15 % de estepa de halófitas y un 15 % de pradera de hidrófitas. La PPNA se estimó mediante la Ecuación 1. La radiación fotosintéticamente activa se obtuvo de la Estación Experimental Julio Hirschhorn, mientras que la fracción absorbida se determinó según (Grigera *et al.*, 2007). Los valores de NDVI se obtuvieron mediante el sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y se utilizó una eficiencia en el uso de la radiación (EUR) de 0,6. El análisis comprendió el período febrero de 2000–diciembre de 2024 e incluyó seis potreros con predominancia de PHM, utilizando un píxel representativo por unidad de análisis. A partir de esta información, se calculó la PPNA promedio anual y la PPNA acumulada estacional, considerando verano (enero-febrero), otoño (marzo-mayo), invierno (junio-agosto) y primavera (septiembre-diciembre). Las precipitaciones se registraron mediante pluviómetro en el establecimiento. La relación entre PPNA y precipitaciones se evaluó mediante correlaciones de Pearson y regresión lineal simple. Asimismo, los años se clasificaron en secos, intermedios y lluviosos según los terciles de precipitación anual, para comparar diferencias de PPNA entre categorías. Las diferencias estacionales se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de comparaciones múltiples de Dunn con corrección de Bonferroni. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron en Python 3 mediante librerías específicas de análisis y visualización de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La PPNA promedio de la PHM durante el período evaluado fue de $4.333 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y mostró una asociación positiva con la precipitación anual ($R^2 = 0,51$, $p = 0,0001$). Los años secos ($<806 \text{ mm}$) registraron valores significativamente menores de PPNA ($3717 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) respecto de los años lluviosos ($>1010 \text{ mm}$; $4750 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), equivalente a un incremento del 27,8 % en condiciones de mayor disponibilidad hídrica ($p < 0,05$) (Figura 1). La respuesta productiva frente a las variaciones en las precipitaciones fue diferencial: disminuciones superiores al 25 % respecto del promedio histórico anual se asociaron con reducciones del 28,8 % en la PPNA, mientras que incrementos superiores al 50 % en las precipitaciones produjeron aumentos del 17,1 % en la productividad. Resultados similares fueron reportados por (Irisarri *et al.*, 2013) en pastizales templados de Buenos Aires.

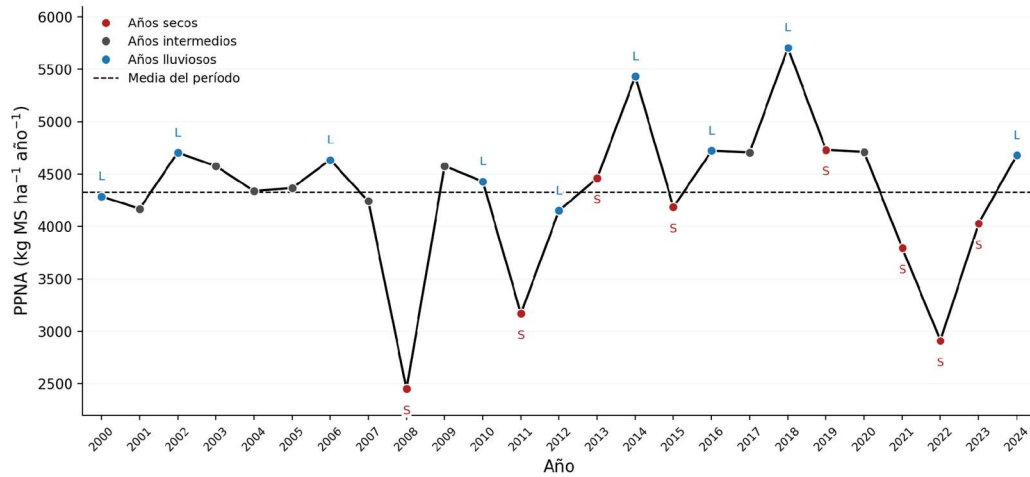


Figura 1. Variación interanual de la productividad primaria neta aérea anual (PPNA, kg MS ha⁻¹ año⁻¹) en la PHM. La línea continua representa los valores anuales de PPNA y la línea horizontal punteada indica la media del período. Los puntos se clasificaron según la precipitación anual en años secos (S<806 mm), intermedios y lluviosos (L>1010 mm).

La asociación entre precipitaciones y PPNA mostró un patrón estacional, alcanzando su mayor magnitud en primavera ($r = 0,68$; $p < 0,001$), seguida por verano ($r = 0,36$; $p = 0,077$), otoño ($r = 0,23$; $p = 0,269$) e invierno ($r = 0,18$; $p = 0,389$). Estos resultados sugieren una mayor sensibilidad productiva del pastizal a la disponibilidad hídrica durante primavera, en coincidencia con (Hossain y Beierkuhnlein, 2018) en pastizales de Europa central.

Tabla 1. Promedio, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de la productividad primaria neta aérea (PPNA) acumulada por estación durante el período analizado.

Estación	PPNA, kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹	DE	CV, %
Verano	776 b	306	39,4
Otoño	834 b	252	30,2
Invierno	626 b	145	23,1
Primavera	2205 a	538	24,4

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

CONCLUSIONES

La productividad primaria neta aérea de la pradera húmeda de mesófitas presentó marcada variabilidad interanual y estacional asociada a las precipitaciones. La primavera mostró la mayor productividad y sensibilidad hídrica, mientras que los años secos redujeron la PPNA cerca de un 28 % respecto de los lluviosos, destacando la importancia de las precipitaciones sobre la dinámica productiva del pastizal natural de la Depresión del Salado.

REFERENCIAS

- Burkart, S.E.; Garbulsky, M.F.; Ghersa, C.M.; Guerschman, J.P.; León, R.J.C.; Oesterheld, M.; Paruelo, J.M.; Perelman, S.B. 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. En: Oesterheld, M.; Aguiar, M.R.; Ghersa, C.M.; Paruelo, J.M. (Eds.). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. 379-399 pp.
- Grigera, G.; Oesterheld, M.; Pacín, F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94:637–648.
- Hossain, M.L.; Beierkuhnlein, C. 2018. Aboveground biomass increase by rainfall increment in a Central European grassland. *Ecological Processes* 7:37.
- Irisarri, J.G.N.; Gundel, P.E.; Clavijo, M.P.; Durante, M.; Sosa, P. 2013. Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida. *Revista Argentina de Producción Animal* 33(Supl. 1):11–20.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9:747–766.
- Oesterheld, M.; Paruelo, J.M.; Oyarzabal, M. 2011. Estimación de la productividad primaria neta aérea a partir de diferencias de biomasa y de integración de la radiación absorbida. En: Altesor, A.; Ayala, W.; Paruelo, J.M. (Eds.). Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. INIA, Serie FPTA N° 26. Montevideo, Uruguay. 113–120 pp.
- Piñeiro, G.; Oesterheld, M.; Paruelo, J.M. 2006. Seasonal variation in aboveground production and radiation use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9:357–373.

ACUMULACIÓN DE FRÍO Y CALOR PARA LA BROTAÇÃO Y FLORACIÓN DEL NOGAL (*Juglans regia* L.) EN EL VALLE INFERIOR DEL RIO NEGRO

Gallego*, L.D.¹; Martin, D.M.^{1,2}; Marilef, J.J.¹; Fuente, G.E.¹

¹ E.E.A. Valle Inferior del Río Negro, INTA, Km 971, Camino 4, Viedma, CP 8500, Argentina

² Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro, Viedma 8500, Argentina

*Contacto: lucasgallego955@gmail.com

Palabras clave: Norpatagonia; necesidades de frío; necesidades de calor

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción de frutos secos se ha convertido en una importante alternativa frutícola en los valles de la Norpatagonia. Las características edáficas y la disponibilidad de agua para riego de la región han permitido el desarrollo principalmente del cultivo de nogal. En la actualidad, la superficie plantada con nogales en la Norpatagonia ronda las 2.100 ha (Fernandez y Martin, 2025). La expansión de este cultivo se basa fundamentalmente en la variedad 'Chandler', debido a su eleva productividad por fructificación lateral y a la calidad premium de sus frutos, muy apreciados por el mercado interno y externo (Fernandez y Martin, 2025).

El nogal es una especie caducifolia, diclino monoica, dicogama, protandra, autocompatible e intercompatible (Muncharaz Pou, 2001). Cada cultivar posee una demanda determinada de acumulación de frío y de calor para salir de su reposo invernal y comenzar de manera uniforme los procesos de brotación y floración. La ruptura de la dormición y brotación depende de la acumulación de frío invernal, mientras que la floración está condicionada por la acumulación de calor (del Barrio y Martin, 2011). Además, debido a la dicogamia, la producción de nogal depende de la polinización cruzada y, por ende, de las exigencias térmicas fundamentales para una adecuada sincronización fenológica entre cultivares. Por tales motivos, resulta necesario conocer la acumulación de frío y de calor de cada cultivar ya que constituye uno de los principales criterios agroecológicos para definir la aptitud frutícola de una región e interpretar su fenología. El objetivo de este trabajo fue determinar la acumulación de frío para la brotación y las acumulaciones de calor para la floración masculina y femenina en tres cultivares de nogales en el Valle Inferior del Río Negro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Valle Inferior del Río Negro, región ubicada al este de la Norpatagonia. El seguimiento fenológico se realizó sobre tres cultivares de nogal, 'Chandler', 'Franquette' y 'Cisco', implantados en la Estación Experimental Valle Inferior del INTA (40° 47' 69" S; 63° 03' 58" O; 6 m s.n.m.). Durante dos años consecutivos, 2024 y 2025, se registraron las fechas de brotación y las fechas de inicio de la floración femenina (estigmas receptivos) e inicio de la floración masculina (emisión de polen), siguiendo la metodología y referencia propuesta por Germain (1999), con una periodicidad semanal. Para los cálculos de acumulación de frío y calor se utilizaron datos de temperaturas horarias registrados por una estación meteorológica automática perteneciente a la EEA Valle Inferior de INTA, ubicada próxima a la parcela experimental de nogal.

Para la determinación de la acumulación de frío invernal se utilizaron tres modelos: horas de frío (HF), unidades de frío de Utah (UF) y porciones de frío del modelo dinámico (MD) (del Barrio *et al.*, 2022). Para el modelo de HF se sumaron las horas en que la temperatura se encontraba entre 0 y 7,2 °C. La fecha inicial de acumulación de frío anual de HF se determinó a partir del valor mínimo de acumulación negativa otoñal en CU (del Barrio *et al.*, 2022), y cuando comienza la acumulación efectiva de porciones de frío en el MD (Luedeling, 2012), considerándose satisfechas las mismas cuando se alcanzaron las fechas de brotación. La acumulación de calor se calculó mediante la suma de temperaturas horarias acumuladas en grados de crecimiento (GDH) propuestos por Richardson *et al.* (1974), desde el 01 agosto hasta las fechas de inicio de floración femenina y masculina de cada cultivar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran las fechas de brotación y la acumulación de frío calculados por los tres modelos de acumulación para los tres cultivares evaluados. El cultivar más temprano en brotar fue 'Chandler' y mostró hasta el estado de brotación una acumulación de frío de 1427 HF, 1668 UF y 92 MD en el año 2024, y 1258 HF, 1546 UF y 83 MD en 2025. Los cultivares 'Franquette' y 'Cisco' mostraron diferentes momentos de brotación y acumulación de frío, según el año de evaluación. Se considera que los requerimientos de frío de los 3 cultivares fueron ampliamente satisfechos (del Barrio y Martin, 2011). En la Tabla 2 se presentan las fechas de inicio de la floración masculina y femenina, y la acumulación de calor correspondiente a cada estadio fenológico para cada cultivar evaluado. 'Chandler' es el cultivar que florece más temprano, seguido de 'Franquette' y 'Cisco'. Los valores de acumulación de calor para el inicio de la floración masculina oscilaron entre 12854 ('Chandler', año 2025) y 18556 GDH °C ('Franquette', año 2024) y para el inicio de la floración femenina de 15957 ('Chandler', año 2025) a 21177 GDH °C ('Cisco', año 2024). Las fechas de inicio de floración femenina resultaron similares

en los tres cultivares y en dos años de evaluación. ‘Franquette’ y ‘Cisco’, al requerir una mayor acumulación térmica para la floración masculina, se posicionan como buenos cultivares polinizadores para ‘Chandler’, en concordancia con estudios recientes en otras regiones de la Norpatagonia (Iannamico, 2009).

Tabla 1. Fecha de brotación y acumulación de frío para tres cultivares de nogal en el Valle Inferior del Río Negro.

Variedad	Año	Fecha brotación	Horas de frío	Unidades de frío	Modelo Dinámico
Chandler	2024	30-sep	1427	1668	92
	2025	28-sep	1258	1546	83
Franquette	2024	17-oct	1475	1695	98
	2025	10-oct	1273	1486	86
Cisco	2024	15-oct	1475	1714	98
	2025	14-oct	1283	1491	86

Tabla 2. Fechas de inicio de floración masculina y femenina y la acumulación de calor GDH °C (Growing Degree Hours) para tres cultivares de nogal en el Valle Inferior del Río Negro.

Variedad	Año	Inicio floración masculina		Inicio floración femenina	
		Fecha	GDH °C	Fecha	GDH °C
Chandler	2024	9-oct	13845	18-oct	16786
	2025	7-oct	12854	19-oct	15957
Franquette	2024	25-oct	18556	31-oct	20277
	2025	15-oct	14954	30-oct	18567
Cisco	2024	20-oct	17438	3-nov	21177
	2025	17-oct	15526	3-nov	19713

CONCLUSIONES

Este estudio documenta valores de requerimientos térmicos de cultivares de nogal para una zona productiva no tradicional, como es el Valle Inferior del Río Negro, y resultan útiles para predecir las fases fenológicas estudiada en función de las temperaturas del invierno y la primavera para otros años y/o distintas condiciones agroclimáticas.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación CIAC-940212: Caracterización fenológica de los cultivos de frutos secos para el ajuste local de las necesidades de agua de los cultivos en los valles irrigados de Río Negro, Neuquén y Mendoza (Convenio INTA-AUDEAS- CONADEV).

REFERENCIAS

- del Barrio, R.A.; Martín D.M. 2011. Aptitud agroclimática del Valle Inferior del Río Negro para los cultivos de avellano y nogal. Pilquen-Sección Agronomía 13(11):1–10.
- del Barrio, R.A.; Orioli, G.A.; Brendely, A.S.; Lindström, L.I.; Pellegrini, C.N.; Campoy, J.A. 2022. Persian walnut (*Juglans regia* L.) bud dormancy dynamics in Northern Patagonia, Argentina. *Frontiers in Plant Science* 12:803878. doi: 10.3389/fpls.2021.803878
- Fernández, D.; Martín, D. 2025. Inversión y costo de producción para el cultivo de nogal a pequeña y mediana escala en la Norpatagonia. *Fruticultura & Diversificación* 98:13-17.
- Germain, E.; Lespinasse, J.M. 1999. Les estados phenologiques du noyer – INRA-CTIFL.
- Iannamico, L. 2009. El cultivo del nogal en climas templados-fríos. INTA. Buenos Aires, Argentina. 116 p.
- Luedeling, E. 2012. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae* 144:218-229.
- Muncharaz Pou, M. 2001. El nogal: Técnicas de cultivo para la producción frutal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 292 p.
- Richardson, E.A.; Seeley, S.D.; Walker, D.R.; Anderson, J.L.; Ashcroft, G.L. 1974. Pheno-climatology of spring peach bud development. *HortScience* 10(3):236-237.

PARÁMETROS POBLACIONALES DE *Tetranychus urticae* EN SOJA Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

Gariglio*, L.¹; Tuninetti, F.^{1,2}; Alisio, M.S.²; Toffoli, G.D.¹; Dunger, G.^{1,2}; Del Valle E.E.^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, R.P. Kreder 2805 Esperanza, 3080, Argentina

² Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral, CONICET, Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ciencias Agrarias, R.P. Kreder 2805 Esperanza, 3080, Argentina

*Contacto: lgariglio@unl.edu.ar

Palabras clave: arañuela roja; temperatura; humedad

INTRODUCCIÓN

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es un ácaro fitófago de distribución cosmopolita, cuya relevancia como organismo plaga de cultivos agrícolas se ha incrementado en los últimos años, favorecida por el cambio climático (Migeon y Dorkeld, 2026). La densidad poblacional de *T. urticae* sobre las plantas hospedadoras suele ser muy variable y depende en gran medida de las condiciones ambientales, ya que factores abióticos como la temperatura, las precipitaciones y la humedad influyen en su tiempo de desarrollo, sobrevivencia y fecundidad (Devi y Challa, 2019). Los eventos extremos, como las olas de calor, pueden provocar consecuencias inmediatas en estos organismos poiquiloterms, generando efectos a nivel poblacional, especialmente en escenarios futuros más cálidos y secos (Urbaneja-Bernat y Jaques, 2022).

Massoni *et al.* (2022) reportaron la presencia de arañuelas rojas en lotes de soja (*Glycine max* L. Merrill) de la provincia de Santa Fe y señalaron que, bajo condiciones favorables, sus poblaciones pueden incrementarse rápidamente, lo que ocasiona retrasos en el desarrollo del cultivo y pérdidas de rendimiento. Existe escasa información acerca de la dinámica poblacional de estos artrópodos durante los estados vegetativos iniciales del cultivo. La generación de información en esta temática resulta necesaria para contribuir al desarrollo de estrategias de manejo integrado de la plaga en un cultivo de elevada importancia económica para la región y el país. El objetivo del trabajo fue analizar la dinámica poblacional de arañuelas rojas en relación con las variables meteorológicas en condiciones de campo en la región central de la provincia de Santa Fe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Individuos de *T. urticae* fueron recolectados de campos agrícolas de la región central de la provincia de Santa Fe y multiplicados en condiciones controladas (27 ± 1 °C, 65 ± 5 % HR, fotoperíodo 16:8 h L:O), siguiendo la metodología propuesta por Eroglu *et al.* (2019), con el objetivo de disponer de una población homogénea para su posterior utilización en los ensayos experimentales. Como hospedadores se utilizaron plantas de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) y soja (*G. max*, cv. Nidera 5421). Esta misma variedad de soja fue la empleada posteriormente en los experimentos. Las plantas hospedadoras empleadas en la cría fueron cultivadas en macetas de 4 L con suelo Argiudol típico y mantenidas en invernadero, libres de plagas y enfermedades.

Las parcelas experimentales se ubicaron en el campo Juan Donnet de la Facultad de Ciencias Agrarias (Esperanza, Santa Fe, Argentina), cuyo suelo se clasifica como un Argiudol típico serie Esperanza. Durante el verano de 2024, semillas de soja del cultivar Nidera 5421 (no Bt) fueron sembradas en tres fechas de siembra en líneas con 52 cm de entresurco. Se mantuvo al cultivo libre de plagas y enfermedades asegurando una condición sanitaria adecuada. Las plantas utilizadas en las experiencias fueron sembradas en macetas plásticas de 1,2 L y mantenidas a campo en las parcelas experimentales durante todo el período, realizándose sobre ellas la inoculación de *T. urticae*.

Mediante la utilización de pinceles finos se inocularon 25; 50; 75 y 100 hembras de *T. urticae* sobre plantas de soja. El momento de infestación fue en V2 según escala de Fehr y Caviness (1977) y se realizó liberando los individuos sobre la primera hoja trifoliada. El tratamiento testigo no fue infestado con la plaga. Las inoculaciones se realizaron en los meses de enero y febrero de 2024. Luego de la inoculación, las unidades experimentales fueron aisladas de su entorno mediante jaulas entomológicas recubiertas con tela voile para impedir el ingreso y egreso de individuos. Posteriormente fueron dispuestas en la parcela experimental y permanecieron a campo para ser evaluadas luego de 6 días. Se llevaron a cabo 5 repeticiones por tratamiento y la totalidad del ensayo fue replicado 4 veces. Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados donde el criterio de bloqueo fue el factor tiempo. Los registros de temperatura, humedad relativa y precipitación fueron obtenidos a partir de la estación meteorológica automática Omixom perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral. Posteriormente, para el período de exposición de las plantas a campo, se calcularon las temperaturas máxima, media y mínima, la humedad relativa media y la precipitación acumulada. Luego del período establecido, las unidades experimentales fueron trasladadas al laboratorio y evaluadas bajo lupa estereoscópica, contabilizándose el número de individuos vivos (larvas, protoninfas, deutoninfas y adultos) presentes sobre la superficie de la planta.

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA a través del software estadístico RStudio (R Core Team, 2025). Las relaciones significativas identificadas fueron analizadas en mayor detalle mediante el ajuste de modelos de regresión,

utilizando el mismo software. Además, se realizaron análisis de correlación de Pearson entre el número de individuos inmaduros y adultos de *T. urticae* y las variables meteorológicas registradas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad total de individuos vivos de *T. urticae* difirió significativamente según el número inicial de hembras inoculadas en plantas de soja ($F = 34,31$; $df = 4,92$; $P < 0,05$). Al aumentar la cantidad de inóculo, la densidad poblacional al finalizar las experiencias fue mayor. La composición de individuos vivos mostró una mayor proporción de inmaduros en comparación a arañuelas adultas en todos los tratamientos. Existió una correlación positiva y significativa entre el número final de individuos vivos por hembra inoculada y la temperatura media ($r = 0,58$; $P < 0,05$). Mediante regresión lineal se estableció una ecuación para estimar el número de individuos vivos al sexto día en función del inóculo de *T. urticae* y la temperatura media (Ecuación 1), donde, y = número final de individuos de *T. urticae*, HI = hembras inoculadas al inicio de la experiencia; T_x = temperatura media del período experimental ($^{\circ}C$).

$$y = 33,03 T_x + 3,16 HI - 854,35 \quad (r^2 = 0,68) \quad (1)$$

La cantidad de adultos en plántulas de soja luego de 6 días se correlacionó negativamente con la humedad media ($r = -0,43$; $P < 0,05$) y con la precipitación ($r = -0,42$; $p < 0,05$). A diferencia de lo anterior, la densidad de individuos inmaduros no correlacionó significativamente con la humedad relativa ni con la precipitación registrada durante el período inoculación-observación.

En relación con las correlaciones entre el número de individuos inmaduros y adultos y las variables humedad y precipitación, estudios previos documentaron correlaciones negativas entre la abundancia de adultos de *T. urticae* y la humedad en plantas de poroto (Khan *et al.*, 2011). Bajo condiciones de lluvia simulada, la densidad de hembras de *Tetranychus* sp. en plantas de poroto disminuyó significativamente en comparación con los estados inmaduros, evidenciando una menor tolerancia a la humedad (Ikegami *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

El aumento de la temperatura y del inóculo inicial favorece el crecimiento poblacional de *T. urticae* en soja. La humedad relativa y las precipitaciones actuaron como factores limitantes de la densidad poblacional, con mayor efecto sobre los individuos adultos que sobre los estados inmaduros.

AGRADECIMIENTOS

LG, FT, GT, GD y EDV agradecen a la Universidad Nacional del Litoral por el apoyo institucional. FT, MA, GD y EDV agradecen al CONICET por el apoyo institucional.

REFERENCIAS

- Devi, M.; Challa, N. 2019. Impact of weather parameters on seasonality of phytophagous mites. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7:1095-1100.
- Eroglu, C.; Cimen, H.; Ulug, D.; Karagoz, M.; Hazir, S.; Cakmak, I. 2019. Acaricidal effect of cell-free supernatants from *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* bacteria against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 160:61-66.
- Fehr, W.; Caviness, C. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agriculture and Economics Experiment Station Special Report 80.
- Ikegami, Y.; Yano, S.; Takabayashi, J.; Takafuji, A. 2000. Function of quiescence of *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae), as a defense mechanism against rain. *Applied Entomology and Zoology* 35:339-343.
- Khan, Y.A.; Nazeer, W.; Hameed, A.; Farooq, J.; Shahid, M.R. 2011. Impacts of abiotic factors on population fluctuation of insect fauna of *Vigna radiata* and *Tetranychus urticae* Koch in Sindh, Pakistan. *Frontiers of Agriculture in China* 5:231-236.
- Massoni, F.; Merke, J.; Ceballos, L. 2022. Evaluación del daño causado por la arañuela roja, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), y estimación de pérdidas de rendimiento en el cultivo de soja. *Producción Vegetal* 11:88-94.
- Migeon, A.; Dorkeld, F. 2026. Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. <https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/spmweb>. Consultado 20/05/2026.
- R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Urbaneja-Bernat, P.; Jaques, J.A. 2022. Can pollen provision mitigate competition interactions between three phytoseiid predators of *Tetranychus urticae* under future climate change conditions? *Biological Control* 165:104789.

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS SOBRE LA OVIPOSICIÓN DE *Tetranychus urticae* EN SOJA

Gariglio*, L.¹; Tuninetti, F.^{1,2}; Alisio, M.S.²; Toffoli, G.D.¹; Jáuregui, J.M.¹; Del Valle E.E.^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, R.P. Kreder 2805 Esperanza, 3080, Argentina

² Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral, CONICET, Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ciencias Agrarias, R.P. Kreder 2805 Esperanza, 3080, Argentina

*Contacto: lgariglio@unl.edu.ar

Palabras clave: araña roja; huevos; humedad

INTRODUCCIÓN

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) conocida comúnmente como araña roja, es una de las principales plagas de la soja (*Glycine max*) debido a su elevada tasa de desarrollo y capacidad reproductiva (Ruffatto *et al.*, 2024). En la provincia de Santa Fe se han registrado incrementos poblacionales de la especie en lotes de soja, asociados a efectos negativos sobre el desarrollo y el rendimiento del cultivo (Massoni *et al.*, 2022).

El ciclo biológico de *T. urticae* comprende los estados: huevo, larva, protocrisálida (larva en reposo), protoninfa, deutocrisálida (protoninfa en reposo), deutoninfa, teliocrisálida (deutoninfa en reposo) y finalmente adultos sexualmente maduros: machos y hembras (Jakubowska *et al.*, 2022). Bajo condiciones térmicas favorables (27,5–32,5 °C) cada hembra es capaz de ovipositar más de 100 huevos a lo largo de toda su vida adulta (Damos *et al.*, 2023). No obstante, dicha capacidad reproductiva se ve modulada por las condiciones meteorológicas, siendo la temperatura, la humedad atmosférica y las precipitaciones las variables de mayor incidencia sobre la oviposición de esta especie (Wermelinger *et al.*, 1992; Shibuya *et al.*, 2016). Sin embargo, existe escasa información sobre la influencia de las variables meteorológicas en la oviposición de esta especie bajo las condiciones ambientales de Argentina. El objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de las variables meteorológicas sobre la oviposición de *T. urticae* en el cultivo de soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Individuos de *T. urticae* fueron recolectados en cultivos agrícolas del centro de la provincia de Santa Fe. Las poblaciones de la plaga fueron multiplicadas sobre plantas de soja y poroto (*Phaseolus vulgaris*), de acuerdo con la metodología propuesta por Eroglu *et al.* (2019). Las plantas hospedadoras se cultivaron en macetas con suelo Argiudol típico y permanecieron bajo condiciones controladas en invernadero.

Los ensayos se realizaron durante el verano de 2024 en el campo experimental Juan Donnet de la Facultad de Ciencias Agrarias, ubicado en Esperanza, Santa Fe. Se sembraron semillas de soja cultivar Nidera 5421 (no Bt) utilizando un distanciamiento entre surcos de 52 cm. El cultivo se mantuvo libre de plagas y enfermedades para garantizar adecuadas condiciones sanitarias. Las plantas utilizadas en los ensayos fueron cultivadas en macetas plásticas de 1,2 L e infestadas artificialmente en estado fenológico V2, según la escala de Fehr y Caviness (1977). Se inocularon 25, 50, 75 y 100 hembras adultas de *T. urticae* por planta utilizando pinceles finos. Los testigos permanecieron libres de infestación.

Posteriormente, las plantas fueron confinadas individualmente en jaulas entomológicas de tela voile y trasladadas al campo experimental, donde permanecieron expuestas durante seis días a las condiciones ambientales. El estudio se condujo bajo un diseño en bloques completamente aleatorizados, con cinco unidades experimentales por tratamiento y cuatro repeticiones temporales del ensayo. Los datos meteorológicos fueron obtenidos mediante una estación automática Omixom perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Litoral. A partir de los registros meteorológicos obtenidos durante el período de exposición de las plantas, se calcularon las temperaturas máxima, mínima y media promedio, la humedad relativa media y la precipitación acumulada. Luego del período establecido, las unidades experimentales fueron removidas de la parcela y transportadas hacia el laboratorio donde se contabilizó bajo lupa estereoscópica el número de huevos de *T. urticae* depositados sobre la superficie.

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA a través del software estadístico RStudio (R Core Team, 2025). Las relaciones significativas fueron examinadas en mayor detalle mediante el ajuste de modelos de regresión lineal, utilizando el mismo software. Además, se realizaron análisis de correlación de Pearson entre el número de huevos depositados por hembra inoculada y las variables meteorológicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de huevos observados a los 6 días pos-inoculación mostró una variación significativa entre tratamientos ($F = 14,30$; $df = 4,92$; $p < 0,05$). A mayor número de hembras inoculadas, mayor fue la cantidad de huevos registrados en la evaluación. El número final de huevos por individuo inicial presentó una correlación positiva significativa con la temperatura máxima media ($r = 0,40$; $p < 0,0001$). Asimismo, se observaron correlaciones negativas significativas con la humedad relativa

media ($r = -0,57$; $p < 0,0001$) y la precipitación acumulada ($r = -0,57$; $p < 0,0001$), indicando una mayor oviposición bajo condiciones más cálidas y secas.

Mediante regresión lineal se determinó una ecuación para estimar el número de huevos en función del inóculo de *T. urticae* y la humedad relativa media (Ecuación 1), donde, y = número de huevos de *T. urticae*, HI = hembras inoculadas al inicio de la experiencia; HR = humedad relativa media del período experimental (%).

$$y = 4,09 \text{ HI} - 13,09 \text{ HR} + 915,09 \quad (r^2 = 0,53) \quad (1)$$

Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado en la literatura para ácaros tetránquidos. Wermelinger *et al.* (1992) y Shibuya *et al.* (2016) señalaron que las temperaturas elevadas y la baja humedad atmosférica favorecen la oviposición y el desarrollo de *T. urticae*, mientras que las precipitaciones pueden afectar negativamente la sobrevivencia y la actividad reproductiva de estos ácaros. Estos resultados sugieren que condiciones cálidas y secas favorecen el potencial reproductivo de la especie en soja bajo condiciones de campo.

CONCLUSIONES

Las variables meteorológicas influyeron significativamente sobre la oviposición de *T. urticae* en soja. Las temperaturas elevadas favorecieron la oviposición de la especie, mientras que la humedad relativa y las precipitaciones se asociaron con una disminución en la cantidad de huevos registrados.

AGRADECIMIENTOS

LG, FT, GT, JJ, EDV agradecen a la Universidad Nacional del Litoral por el apoyo institucional. FT, MA, EDV agradecen al CONICET por el apoyo institucional.

REFERENCIAS

- Damos, P.; Papathanasiou, F.; Tsikos, E.; Kyriakidis, T.; Louta, M. 2023. Predicting the Occurrence and Risk Damage Caused by the Two-Spotted Spider Mite *Tetranychus urticae* (Koch) in Dry Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Combining Rate and Heat Summation Models for Digital Decisions Support. *Agriculture* 13:756.
- Eroglu, C.; Cimen, H.; Ulug, D.; Karagoz, M.; Hazir, S.; Cakmak, I. 2019. Acaricidal effect of cell-free supernatants from *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* bacteria against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 160:61-66.
- Fehr, W.; Caviness, C. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agriculture and Economics Experiment Station Special Report 80.
- Jakubowska, M.; Dobosz, R.; Zawada, D.; Kowalska, J. 2022. A Review of Crop Protection Methods against the Twospotted Spider Mite—*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)—With Special Reference to Alternative Methods. *Agriculture* 12:898.
- Massoni, F.; Merke, J.; Ceballos, L. 2022. Evaluación del daño causado por la araña roja, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), y estimación de pérdidas de rendimiento en el cultivo de soja. *Producción Vegetal* 11:88-94.
- R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Ruffatto, K.; Da Silva, L.C.O.; Neves, C.D.O.; Kuntzler, S.G.; De Lima, J.C.; Almeida, F.A.; Silveira, V.; Corrêa, F.M.; Minello, L.V.P.; Johann, L.; Sperotto, R.A. 2024. Unravelling soybean responses to early and late *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) infestation. *Plant Biology* 26:1223-1239.
- Shibuya, T.; Itagaki, K.; Ueyama, S.; Hirai, N.; Endo, R. 2016. Atmospheric Humidity Influences Oviposition Rate of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) Through Morphological Responses of Host *Cucumis sativus* Leaves. *Journal of Economic Entomology* 109:255-258.
- Wermelinger, B.; Candolfi, M.P.; Baumgärtner, J. 1992. A model of the European red mite (Acari, Tetranychidae) population dynamics and its linkage to grapevine growth and development. *Journal of Applied Entomology* 114:155-166.

ANÁLISIS DE ÍNDICES TÉRMICOS PARA *Cydia pomonella* EN FRUTALES CON ENFOQUE AGROECOLÓGICO DE CINCO SALTOS, RIO NEGRO

Gonzalez*, D.A.¹; Merino, C.¹; Pueblas, L.¹; Orrego, L.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional del Comahue, Ruta 151- km 12,5 Cinco Saltos, CP 8303, Argentina

*Contacto: diego.gonzalez@faca.uncoma.edu.ar

Palabras clave: monitoreo; grados-día; carpocapsa; agroecología

INTRODUCCIÓN

La carpocapsa *Cydia pomonella* (Linneo) (Lepidoptera: Tortricidae) es la principal plaga de la fruticultura de pepita en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Su desarrollo depende del tiempo fisiológico determinado por la temperatura, siendo el método de grados-día (carpogrados) el más utilizado para predecir su comportamiento, con umbral mínimo de 10 °C y cálculos que inician el 1 de agosto (Riedl, 1983; Vermeulen *et al.*, 1989; Menni, 2012).

Sin embargo, entre 2011 y 2026 se ha registrado una creciente variabilidad térmica interanual, con inviernos más templados, primaveras adelantadas y acumulaciones de calor variables. Esta fluctuación afecta directamente la acumulación de grados-día, modificando la sincronización de la emergencia de adultos, el número de generaciones anuales y los picos de vuelo de *Cydia pomonella*. En consecuencia, los modelos predictivos basados en promedios históricos pueden perder precisión, alterando los momentos clave para el manejo sanitario.

Por ello, esta investigación analiza el efecto de la variabilidad térmica interanual (2013-2026) sobre la acumulación de grados-día (carpogrados) y la fenología de *Cydia pomonella*, a fin de ajustar los modelos predictivos para su manejo en sistemas de producción frutícola con enfoque agroecológico del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo expone los resultados de una experiencia iniciada en 2023 en Cinco Saltos (Río Negro), orientada a una producción alternativa mejoradora de la convencional dentro de un monte frutal mixto de manzanas, peras y ciruelas, la gestión sanitaria del cuadro se fundamenta en la aplicación de estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Se realizó un monitoreo con trampa BioLure CM10X en tres temporadas 2023-2024, 2024-2025 y 2025-2026, utilizando datos promedio de temperatura bajo abrigo registrados entre agosto y abril por la estación meteorológica automática de la Universidad Nacional del Comahue de la Facultad de Ciencias Agrarias en Cinco Saltos (38° 56' S; 67° 59' O; 285 m s.n.m.). El monitoreo se efectuó con una lectura semanal; el piso de la trampa se reemplazó mensualmente o cuando presentaba deterioro, y el cebo se renovó cada dos meses según las indicaciones del fabricante.

La base de datos meteorológica, se conformó por las temperaturas diarias registradas durante el período de agosto a abril en las temporadas 2013-2026. Sobre esta serie se aplicaron los calendarios promedio de alertas biológicas y los parámetros estructurales de la curva térmica regional. Para asegurar la continuidad de la serie temporal, se identificaron y reconstruyeron valores diarios ausentes. La acumulación térmica se calculó mediante un método mixto: hasta los 250 °D se empleó el promedio diario menos el umbral inferior de 10 °C; a partir de los 250 °D, se aplicó el método de seno simple con umbrales de 10 °C y 31,1 °C, que ajusta la sobreestimación de unidades fisiológicas durante veranos con temperaturas extremas. La curva de acumulación térmica regional fue modelada mediante un ajuste sigmoideo utilizando el software R. Como resultado, se obtuvo una serie cronológica completa para las 13 temporadas evaluadas, lo que permitió un cómputo homogéneo de los grados-días acumulados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa y detalla los extremos térmicos históricos, donde la temporada más cálida ocurrió el 22-23, con un acumulado final de 2131,45 °D. La temporada más fría sucedió en 23-24 con un acumulado final de 1786,92 °D; y la brecha interanual máxima: 344,53 °D de diferencia entre ambos ciclos consecutivos. Se expone el Calendario Promedio de Alertas Biológicas de las 13 temporadas: 90 °D (Inicio de Vuelo/Biofix): 02 de Octubre (± 6,2 días). Ventana de inicio variable entre el día 55 y 76 del ciclo. 250 °D (Pico Larvas 1° Gen - Momento Crítico): 03 de Noviembre (± 4,8 días). Es el hito más estable del modelo (brecha de solo 16 días entre el año más temprano y el más tardío). 750 °D (Pico Larvas 2° Gen): 23 de Diciembre (± 4,9 días). 1250 °D (Pico Larvas 3° Gen): 31 de Enero (± 6,2 días). Por último se expone los parámetros estructurales de la curva regional (Modelo No Lineal sigmoideo), donde la asíntota máxima (Asym): 2051,9 °D (Techo energético medio del Alto Valle). Punto de Inflexión (xmid): 166,9 días (Equivale al 14 de Enero, momento de máxima velocidad en la acumulación térmica estival). Escala de Pendiente (scal): 37,19 (Tasa de ajuste de la velocidad del crecimiento sigmoideal) (Figura 1).

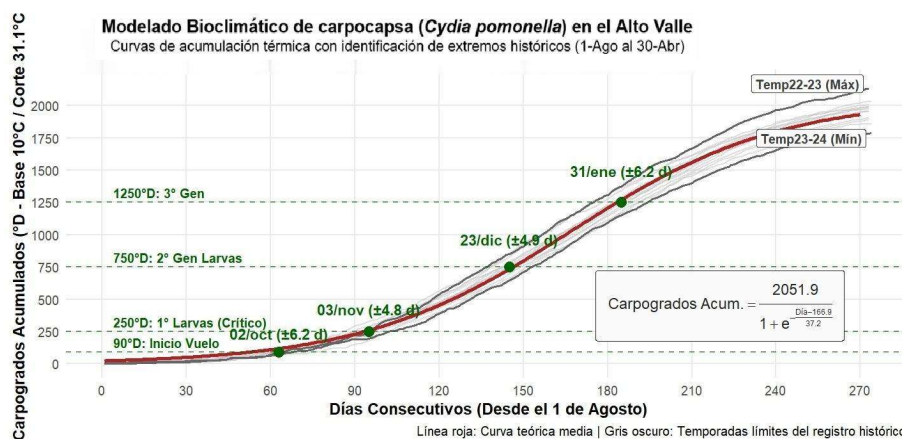


Figura 1. Curva de acumulación térmica histórica de carpogrados y promedios de sucesos de generaciones de carpocapsa.

En el análisis de la dinámica poblacional de los adultos capturados (Merino *et al.*, 2024) se observa tendencia similar en la curva de carpogrados, pero diferencias significativas en las caídas como muestra la Figura 2, esto sugiere que, pese a alcanzarse condiciones térmicas favorables para el desarrollo de la plaga, la población fue menor.

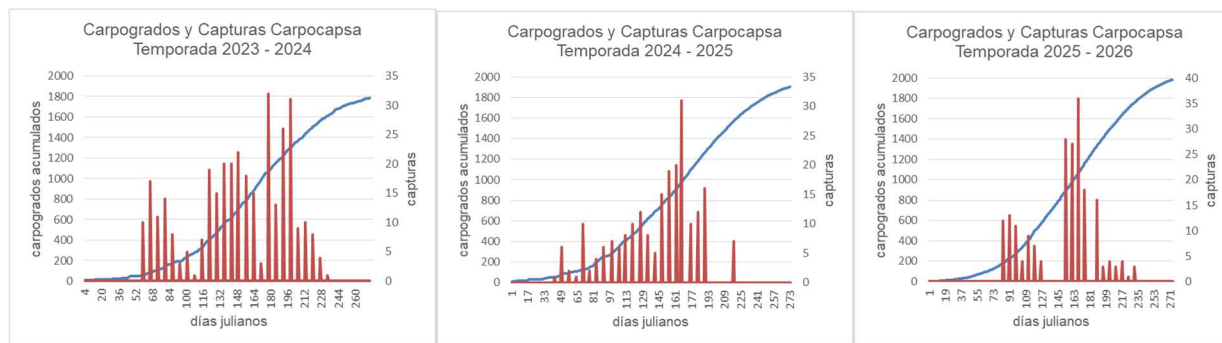


Figura 2. Evolución de capturas de adultos de carpocapsa para las temporadas 23-24, 24-25 y 25-26.

CONCLUSIONES

La variabilidad térmica interanual registrada entre 2013 y 2026 en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén generó diferencias significativas en la acumulación de carpogrados, con una brecha máxima de 344,53 °D entre temporadas consecutivas (2022-2023 y 2023-2024). Esta amplitud evidencia que los modelos basados en promedios históricos subestiman o sobreestiman los tiempos fisiológicos de *Cydia pomonella*, comprometiendo la precisión de las ventanas de manejo sanitario. El modelo sigmoideo regional ajustado estableció un techo energético medio de 2051,9 °D con un punto de inflexión en el 14 de enero (día 166,9) que marca la máxima velocidad de acumulación térmica estival. Este parámetro estructural resulta clave para anticipar el comportamiento de la plaga ante escenarios de primaveras adelantadas o veranos extremos, permitiendo una gestión proactiva más que reactiva. En el marco del enfoque agroecológico, la producción integrada permite la implementación de modelos predictivos ajustados por variabilidad térmica, como el aquí desarrollado y que sigue en investigación, reduce la incertidumbre en la toma de decisiones, optimiza el uso de insumos y minimiza el impacto ambiental, al concentrar las intervenciones en los momentos de mayor vulnerabilidad de la plaga.

REFERENCIAS

- Menni, M.F.; Cichón, L.; Garrido, S. 2012. Modelación logística y validación de la emergencia y la eclosión de huevos del primer vuelo de *Cydia pomonella* (L.) en el Alto Valle del Río Negro. En: X Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística, 2012, Córdoba, Argentina.
- Merino, C.; Gonzalez, D.A.; Forquera, J.C.; Pueblas, L.; Nobile, N.; Orrego, L. 2024. Modelos térmicos y dinámica poblacional de machos de *Cydia pomonella* (L.) en Cinco Saltos, Río Negro. En: XX Reunión Argentina de Agrometeorología, 2024, Chilecito, Argentina.
- Riedl, R. 1983. Fauna and flora of the Mediterranean Sea. Omega. Barcelona, España. 320 p.
- Sprumont, N.; Gonzalez, D.A.; Rivero, V.I.; Forquera, J.C. 2020. Comparación de tres métodos de cálculo de carpogrados y ajuste de un modelo no lineal para *Cydia pomonella* en Cinco Saltos Río Negro. En: XVIII Reunión Argentina y IX Latinoamericana de Agrometeorología, 2020, Paraná, Argentina.
- Vermeulen, J.; Cichón, L.; Parra, E. 1989. Sistema de alarma termoacumulativo para el control de carpocapsa (*Cydia pomonella* L.) para el Alto Valle del Río Negro y Neuquén. INTA. Río Negro, Argentina. 16 p.

CONDICIONES AGROMETEOROLÓGICAS ASOCIADAS A LA EXPLOSIÓN POBLACIONAL DE *Dalbulus maidis* Y AL BROTE EPIDÉMICO DEL COMPLEJO DEL ACHAPARRAMIENTO DEL MAÍZ EN MISIONES DURANTE LA CAMPAÑA 2023-24

Heck*, M.I.¹; Albarracin*, S.¹; Fariza, S.I.¹; De Lucía, A.D.¹; Cardozo, A.R.¹; Blaschik, J.A.¹; Radke, R.A.¹

¹ INTA. E.E.A Cerro Azul. Ruta nacional 14. Km. 1085 - 3313 - Cerro Azul- Misiones – Argentina

*Contacto: heck.monica@inta.gob.ar; albarracin.silvia@inta.gob.ar

Palabras clave: *Zea mays*; *Dalbulus maidis*; variables meteorológicas

INTRODUCCION

Durante la campaña 2023-24, el complejo del achaparramiento del maíz (CdA) limitó severamente el desarrollo y la productividad del cultivo de maíz (Bolsa de Comercio de Rosario, 2024; Virila, 2024; SAGyP, 2025; Trumper, 2025). En Misiones, una explosión poblacional sin precedentes del vector *Dalbulus maidis* generó importantes reducciones del rendimiento en cultivares susceptibles. Los niveles de incidencia (10–90 %) y severidad al CdA (grados 1 a 4) evidenciaron una amplia variabilidad entre cultivares. Los rendimientos promedio fueron de 1157,9 kg ha⁻¹, con rangos de 355,7 kg ha⁻¹ a 749,1 kg ha⁻¹ para los cultivares más susceptibles y de 1781,7 kg ha⁻¹ a 2487,3 kg ha⁻¹ para los cultivares más tolerantes. La incidencia del CdA se ha asociado con variables meteorológicas como la temperatura mínima, las precipitaciones y el número de días con heladas (Bisonard *et al.*, 2011). Además, la abundancia temprana del vector mostró una fuerte correlación negativa con el índice de sequía (°C día⁻¹ mm⁻¹) (Druetta *et al.*, 2020). El objetivo de este trabajo fue caracterizar las condiciones meteorológicas registradas durante la campaña 2023-24 que podrían explicar la marcada explosión demográfica del vector observada en la EEA Cerro Azul y su área de influencia.

MATERIALES Y METODOS

El análisis se desarrolló a partir de datos meteorológicos obtenidos por la estación meteorológica convencional ubicada en la Estación Experimental Cerro Azul (27° 39' S; 55° 26' O). Se analizaron y compararon distintas variables meteorológicas correspondientes a la campaña 2023-24 con la base de datos de la serie histórica 1967-2023. Las variables evaluadas incluyeron: temperaturas mínimas (Tmin) y máximas (Tmax), número de días con temperaturas inferiores a 2 °C y 0 °C (Nd ≤ 2 °C y Nd ≤ 0 °C) y precipitaciones acumuladas (Prec). Asimismo, se calculó el índice de sequía (IS) de la campaña 2023-24 (alta presión de CdA) y la 2024-25 (baja presión de CdA) utilizando la fórmula propuesta por Druetta *et al.* (2022), considerando en el cálculo los tres meses previos a la siembra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las variables meteorológicas de la campaña 2023-24 mostró que, durante los meses previos a la siembra, las temperaturas mínimas y las precipitaciones acumuladas se ubicaron por encima de los valores históricos promedio (Figura 1). Asimismo, al comparar esta campaña con ciclos agrícolas previos, se observó una marcada disminución en el número de días con temperaturas inferiores a 2 °C y 0 °C (periodo mayo-septiembre) (Figura 2).

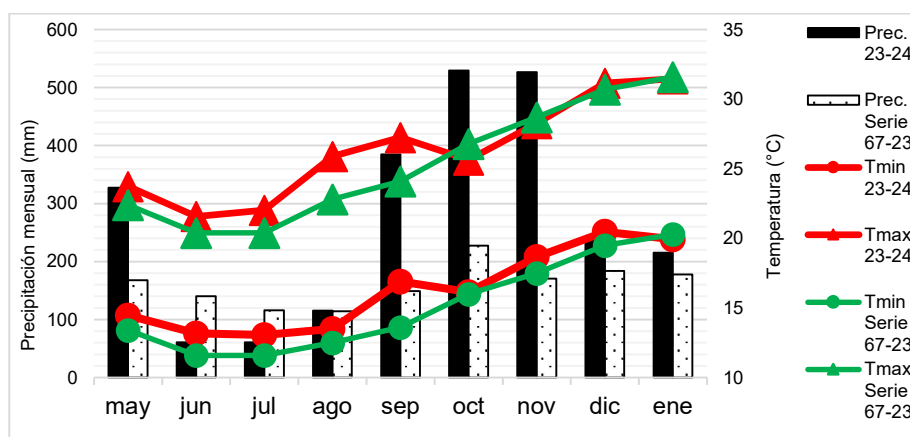


Figura 1. Precipitaciones (mm), Tmin (°C) y Tmax (°C). Campaña 2023-24 vs serie histórica 1967-2023. EEA Cerro Azul. Siembra: 18-12-2023.

Por otra parte, el IS calculado para la campaña 2023-24 fue de 28,5 °Cd mm⁻¹, valor considerablemente inferior al registrado en la campaña 2024-25 (111,5 °Cd mm⁻¹). De acuerdo con el modelo logístico desarrollado por Druetta *et al.* (2020), estos

valores se asocian con una elevada probabilidad de ocurrencia de niveles poblacionales severos del vector (Druetta *et al.*, 2022).

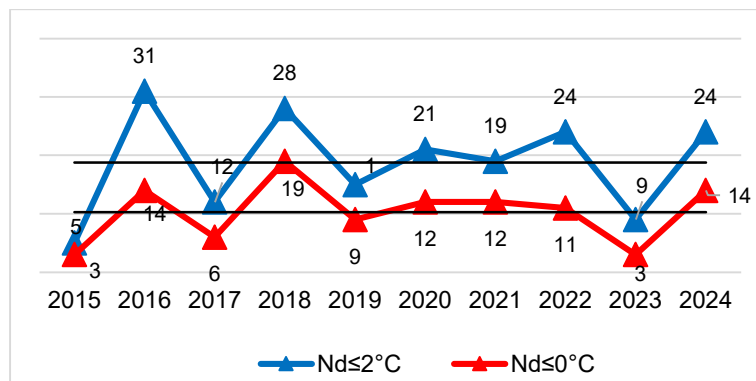


Figura 2. Número de días con temperaturas inferiores a 2 °C y 0 °C entre 2015 y 2024. Cerro Azul, Misiones.

En este contexto, el marcado incremento poblacional del vector registrado en el sitio experimental estuvo asociado a condiciones climáticas favorables para su supervivencia y multiplicación. En particular, la combinación de una población inicial elevada y un crecimiento poblacional más temprano, favorecido por un invierno poco riguroso y valores reducidos de IS, resulta consistente con el proceso eruptivo observado durante la campaña 2023-24. Estos resultados coinciden con reportes y análisis realizadas por distintos actores del sector agrícola a nivel nacional (INTA, 2024; Trumper, 2025).

Los pronósticos meteorológicos de la campaña 2026-27 prevén un evento “El Niño” de moderada a fuerte intensidad en la región, con un invierno más benigno y mayores precipitaciones, condiciones que podrían favorecer la supervivencia del vector e incrementar el riesgo de ocurrencia de síntomas severos del CdA (OPAD, 2026; SMN, 2026). En este escenario, se recomienda fortalecer el monitoreo del vector, controlar el maíz guacho, evitar siembras escalonadas y utilizar cultivares con mayor tolerancia (INTA, 2024; Trumper, 2025).

CONCLUSIONES

El marcado incremento poblacional del vector registrado en el sitio experimental se asoció con condiciones climáticas favorables para su supervivencia y multiplicación. Un invierno poco riguroso con temperaturas por encima de lo normal, menor frecuencia de heladas y un bajo índice de sequía serían factores clave para explicar el proceso eruptivo observado en dicho ciclo agrícola.

REFERENCIAS

- Bisonard, E.M.; Ruiz Posse, E.; Bocco, M.; Maurino, M.F.; Ruiz Posse, M.P.; Laguna, I.G.; Paradell, S.; Giménez Pecci, M.P. 2011. Relationship between climatic variables and *Spiroplasma kunkelii* incidence in locations near Cordoba city. En: 2° Congreso Argentino de Bioinformática y Biología Computacional, 2011, Córdoba, Argentina.
- Bolsa de Comercio de Rosario. 2024. Otro recorte por la chicharrita: el maíz cae 3 Mt pese a sumar casi 300.000 ha a la siembra. Informe especial mensual sobre cultivos (12):171.
- Druetta, M.A.; Moschini, R.; Romani, M.; Casse, F.; Casuso, M.; Paradell, S.; Giménez, M.D.L. 2020. Análisis preliminar para identificar variables meteorológicas relacionadas al achaparramiento del maíz en el norte argentino. En: V Congreso de Maíz Tardío, 2020, Virtual On-line.
- Druetta, M.A.; Romani, M.R.; Giménez, M.D.L.; Moschini, R. 2022. Dinámica poblacional de *Dalbulus maidis* y su relación con las condiciones meteorológicas en Santiago del Estero. Repositorio Digital del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. mincyt.gob.ar.
- INTA. 2024. El achaparramiento del maíz y las decisiones agrícolas en Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/09/el_achaparramiento_del_maiz_y_las_decisiones_agricolas_en_argentina_mes_atecnicanacional_inta.pdf, Consultado 03/09/2026.
- Organización de Prevención Ante Desastres Naturales (OPAD). 2026. Fenómeno de El Niño. Gobierno de Misiones. OPAD Alerta Temprana.
- SAGyP. 2025. Campaña Maíz 2023/24. Resultados del ciclo. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Economía. Mayo 2025. 58 p.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2026). El Niño/La Niña – mayo 2026. Gobierno de Argentina. Servicio Meteorológico Nacional
- Trumper, E.V. 2025. Brote de achaparramiento del maíz: gestión del conocimiento e innovación situada. Ciencia E Investigación 75(2):5-20.
- Virla, E.G. 2024. *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae), vector del “achaparramiento o raquitismo” del maíz. Aspectos biológicos más relevantes, con especial referencia a los conocimientos generados en Argentina. Miscelanea 152. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 50 p.

EFFECTO DE LAS OLAS DE CALOR SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA COMPOSICIÓN LÁCTEA EN VACAS HOLSTEIN EN LA CUENCA LECHERA SANTAFESINA

Mare*, F.E.¹; Giacomino, C.S.¹; Nieto, R.G.¹; Palo Oliver, T.¹; Sylvester A.S.¹; Tkachuk, C.¹; Gariglio, L.¹; Toffoli, G.D.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, R. P. Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe, 3080, Argentina

*Contacto: fiore.mare241203@gmail.com

Palabras clave: estrés térmico; índice temperatura-humedad; recuperación post estrés

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las vacas han incrementado la producción lechera debido a la selección genética, pero han disminuido su tolerancia al calor. Se sabe que el estrés calórico afecta negativamente la producción y la composición de la leche, siendo los animales de alta producción especialmente sensibles a los incrementos del índice de temperatura y humedad (Nardone *et al.*, 2010; Bernabucci *et al.*, 2014). Existen controversias sobre el efecto del estrés por calor sobre la composición de la leche. Algunos autores mencionan una disminución en el porcentaje de proteína bruta y grasa butirosa mientras que Garner *et al.* (2016) reportaron incrementos durante eventos de estrés térmico, posiblemente asociados a un efecto de concentración debido a la disminución en el volumen de leche producido. El objetivo de este estudio es analizar el efecto de una ola de calor y su correspondiente periodo de recuperación sobre la producción y composición de leche de un establecimiento en la cuenca lechera santafesina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un tambo comercial robotizado en la localidad de Presidente Roca, Santa Fe durante 2025-2026. De las 196 vacas en ordeño de la raza Holando argentino se seleccionaron 25, con un promedio de 27,9 litros por vaca diarios. Los datos productivos y de composición de la leche fueron obtenidos del sistema Horizon (Lely Qwes). Los datos meteorológicos, de temperatura y humedad horaria del aire fueron provistos por una estación meteorológica próxima al establecimiento, los cuales se usaron para calcular el índice de temperatura y humedad (ITH) según la fórmula (Thom, 1959) (1):

$$ITH = 1,8 * ta + 32 - (0,55 - 0,055 * HR) * (1,8 * ta - 26) \quad (1)$$

Con los datos de ITH se determinó la ola de calor (OC) definida como al período mínimo de tres días consecutivos en los que se registró un valor diario de $ITH \geq 68$ durante 14 o más horas al día (Valtorta 2002 y Hahn 2003). Se compararon los valores de producción de leche (PL) y calidad composicional: grasa butirosa (GB) y proteína bruta (PB) entre el período de OC y el período de recuperación (PR). Para el análisis estadístico se utilizó el paquete RStudio (R Core Team, 2025) y se realizó un análisis exploratorio para caracterizar el comportamiento de las variables en ambos períodos. Para ello se calcularon las medidas de tendencia central (media aritmética) y de dispersión (desviación estándar). Para determinar el efecto del estrés térmico sobre los parámetros productivos, se empleó la prueba de t de Student para muestras independientes. La misma permitió evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los períodos de OC y PR. Se asumió un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y por lo tanto los valores $p < 0,05$ fueron considerados como evidencia de diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se produjo una OC entre el 28/03/2026 y el 03/04/2026, con un PR desarrollado desde el 04/04/2026 hasta el 11/04/2026. Dentro de la OC el ITH medio fue de 73,6 (siendo su ITH máximo 77,3 e ITH mínimo 69,9) y se registraron un promedio de 22,1 horas diarias con ITH por encima de 68. El PR registró un ITH medio de 60,6 (presentando un ITH máximo 65,5 e ITH mínimo 55,3) con 1,1 horas promedio con ITH por encima del umbral. Esta caracterización es importante dado que Bernabucci *et al.* (2014) demostraron que el estrés térmico afecta negativamente la PL en vacas Holstein no solo durante la OC, sino que el efecto del ITH puede manifestarse con retraso temporal (PR).

A partir del análisis estadístico se encontraron diferencias significativas en la PL durante el evento de OC y su PR (p-value = 0,0056) donde la producción individual tuvo una disminución de alrededor de 10 % durante la OC. Esto se correlaciona con lo estudiado por Palandri *et al.* (2025) donde se informa que el calor extremo puede reducir la producción hasta aproximadamente un 10 %. La PL es una de las variables de mayor sensibilidad frente al estrés calórico y cuando la carga térmica supera la capacidad de adaptación de la vaca, se desencadenan respuestas fisiológicas destinadas a mantener la temperatura corporal dentro de rangos compatibles con la vida. Estas respuestas incluyen aumento de la frecuencia respiratoria, cambios en el flujo sanguíneo, reducción de la actividad, disminución del consumo de alimento y

modificaciones metabólicas y como consecuencia, una menor proporción de energía queda disponible para la síntesis de leche (Bernabucci *et al.*, 2014).

En la calidad de la leche, la GB se incrementó un 12 % (p-value = 3,184e-08) durante la OC que puede deberse a un efecto de concentración. En el caso de PB las diferencias no fueron significativas (p-value = 0,1435). Sin embargo, en otros estudios, Bernabucci *et al.* (2015) demostraron que la estación cálida afecta las fracciones proteicas de la leche y deteriora propiedades vinculadas con la coagulación, lo que influye en la elaboración de productos lácteos como quesos. Si bien en el presente estudio no se identificaron disminuciones, los autores afirman que la variación en PB durante el evento puede estar asociada a modificaciones en el metabolismo energético y cambios en la disponibilidad de precursores para la síntesis mamaria. Cowley *et al.* (2015) analizaron si la variación de la PB se asociaba al estrés térmico o a la reducción del consumo de materia seca y determinaron que las concentraciones de lactosa no se vieron afectadas por el calor, por lo que la reducción de PB estaría relacionada con una regulación específica de la síntesis de proteína mamaria y no con una disminución general en la síntesis de leche. Por lo tanto, estudiar la composición de leche permite ampliar la evaluación del impacto de las OC, integrando cantidad y calidad del producto obtenido.

Tabla 1. Producción y calidad de leche registrada durante el evento de ola de calor (OC) y su correspondiente período de recuperación (PR).

Evento	PL (L/V)		GB, %		PB, %	
	x	Sd	x	Sd	x	Sd
OC	22,2*	6,31	3,20*	0,614	3,75	0,290
PC	24,4*	6,81	2,82*	0,456	3,69	0,321

* en superíndice indica diferencias significativas en los promedios (p<0,05). PL: Producción de Leche. GB: Grasa Butirosa. PB: Proteína bruta. x: media aritmética. Sd: desvío estándar

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que las OC afectan significativamente tanto la producción como a la composición de la leche. Estos cambios podrían deberse no solo al estrés térmico directo, sino a un efecto combinado con la concentración de sólidos asociado a la disminución en la producción. El análisis de la recuperación de la calidad de leche luego de una OC es especialmente relevante ya que una vaca puede recuperar parcialmente los litros producidos, pero mantener alteraciones en GB y/o PB durante varios días posteriores al evento. Es por ello, que incluir variables de calidad permite comprender si la recuperación post estrés térmico es completa o si algunos componentes lácteos requieren más tiempo para normalizarse. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar estrategias de mitigación del estrés térmico en los sistemas lecheros, no solo para preservar el volumen de producción sino también la calidad composicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Litoral por el otorgamiento de una Beca de Iniciación a la Investigación a F.E.M.

REFERENCIAS

- Bernabucci, U.; Basiricò, L.; Morera, P.; Dipasquale, D.; Vitali, A.; Piccioli Cappelli, F.; Calamari, L. 2015. Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 98:1815-1827.
- Bernabucci, U.; Biffani, S.; Buggiotti, L.; Vitali, A.; Lacetera, N.; Nardone, A. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97:471-486.
- Cowley, F.C.; Barber, D.G.; Houlihan, A.V.; Poppi, D.P. 2015. Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *Journal of Dairy Science* 98:2356-2368.
- Garner, J.B.; Douglas, M.L.; Williams, S.R.O.; Wales, W.J.; Maret, L.C.; Nguyen, T.T.T.; Reich, C.M.; Hayes, B.J. 2016. Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. *Scientific Reports* 6:34114.
- Hahn, G.L.; Mader, T.L.; Eigenberg, R.A. 2003. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. En: Lacetera, N.; Bernabucci, U.; Khalifa, H.; Ronchi, B.; Nardone, A. (Eds.). *Interactions between climate and animal production*. EAAP Technical Series N° 7. Roma, Italia. pp. 31-44.
- Nardone, A.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M.S.; Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* 130:57-69.
- Palandri, C.; Frank, E.G.; Kimhi, A.; Lavon, Y.; Ezra, E.; Fishman, R. 2025. High-frequency data reveal limits of adaptation to heat in animal agriculture. *Science Advances* 11:eadw4780.
- R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Thom, E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12:57-59.
- Valtorta, S.E.; Leva, P.E.; Gallardo, M.R.; Scarpatti, O.E. 2002. Milk production responses during heat waves events in Argentina. En: *Conference on Biometeorology and Aerobiology (15th); International Congress on Biometeorology (16th), 2002, Kansas City, Estados Unidos*.

ESTIMATIVA DA TEMPERATURA BASAL INFERIOR E ANTOCRONO PARA EMISSÃO DE FLORES MASCULINAS EM ABOBRINHA ITALIANA

Mariano*, A.G.¹; Uhlmann, L.O.¹; Thewes, F.R.¹; Schutz, N.W.¹; Pinto, B.R.C.¹; Agnes, L.V.¹; Santos, M.G.¹

¹ Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Avenida Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

*Contato: abielgm@icloud.com

Palavras-chave: *Cucurbita pepo* L.; desenvolvimento reprodutivo; tempo térmico

INTRODUÇÃO

A *Cucurbita pepo* L. destaca-se por sua relevância alimentar e propriedades nutraceuticas (Perez Gutierrez, 2016; Wang *et al.*, 2022). Morfologicamente, é uma espécie monoica, apresentando flores estaminadas (masculinas) e pistiladas (femininas) no mesmo indivíduo (Robinson e Decker-Walters, 1997). O desenvolvimento vegetal é um processo complexo, sendo a temperatura do ar o principal elemento a influenciar a velocidade das reações metabólicas e a fenologia da cultura (Hodges, 1991; Streck, 2002). Para modelar esse desenvolvimento, utiliza-se a soma térmica diária, cujo cálculo fundamenta-se no acúmulo térmico acima da temperatura base da cultura (T_b), definida como o limiar térmico inferior para o desenvolvimento (McMaster e Wilhelm, 1997). Na fase reprodutiva, a taxa de aparecimento de flores é representada pelo antocrono, parâmetro com alta plasticidade fenotípica (Lai *et al.*, 2018). Alterações ambientais podem modificar o balanço hormonal associado à determinação sexual em cucurbitáceas, afetando a proporção entre flores masculinas e femininas (Li *et al.*, 2021; Aparna *et al.*, 2023). Dada a escassez de parâmetros térmicos reprodutivos, objetivou-se estimar a temperatura basal e o antocrono para emissão de flores masculinas nos genótipos 'Alicia', 'Anita' e 'Caserta'.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos à campo no Setor de Olericultura da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS (altitude de 96 m), em solo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico, sob clima subtropical úmido (Cfa). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na cultivar de polinização aberta 'Caserta' e nos híbridos 'Alicia' e 'Anita'.

A semeadura foi em bandejas plásticas de 200 células com substrato comercial, sendo o transplante realizado quando as mudas apresentavam a primeira folha verdadeira completamente expandida e torrão bem formado. O cultivo adotado foi o convencional em canteiros, com irrigação suplementar por gotejamento para evitar déficit hídrico, garantindo que a temperatura do ar fosse o principal limitante ambiental, além de adubação baseada na análise de solo, seguindo as recomendações da CQFS-RS/SC (2016). As unidades experimentais foram compostas por parcelas de 2,5 m de comprimento, com 10 plantas espaçadas em 0,60 m x 0,50 m, sendo duas plantas centrais consideradas úteis para as avaliações reprodutivas. Para a modelagem do desenvolvimento reprodutivo foram realizadas 9 épocas de semeadura, iniciadas em julho de 2024, estendendo-se mensalmente até a última época. O acompanhamento fenológico foi diário até a identificação visual da diferenciação da primeira flor no meristema apical. A contagem cumulativa do número de flores masculinas (NFM) iniciou-se quando todas as plantas apresentavam a primeira flor feminina diferenciada, usou-se anéis de marcação para evitar a recontagem dos órgãos. Essa avaliação seguiu com periodicidade semanal, encerrada quando a emissão de novas flores cessou em pelo menos 50 % das plantas de cada época.

Os dados diários de temperatura mínima e máxima do ar foram coletados em uma Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia/Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a aproximadamente 400 m da área de cultivo, para o cálculo da temperatura média diária (T_{med}) pela média aritmética simples. Na primeira etapa, calculou-se a Taxa de Aparecimento de Flores Masculinas (TAFM, flores dia^{-1}) através do coeficiente angular da regressão linear simples, conforme a Equação 1, onde NFM é o número acumulado de flores masculinas, a é o coeficiente linear, b representa a TAFM e T é o tempo em dias após a diferenciação da primeira flor masculina.

$$NFM = a + b \times (T) \quad (1)$$

Na segunda etapa, as taxas de aparecimento obtidas em cada época foram relacionadas com as respectivas T_{med} observadas durante o período de crescimento, adotando-se o método de Arnold (1960) (Equação 2), em que a e b são os coeficientes angular e linear da regressão, respectivamente. A temperatura base (T_b) para as flores masculinas foi determinada pela extrapolação da reta para o ponto onde a taxa de desenvolvimento é nula, sendo calculada pela razão $T_b = -b/a$. O antocrono masculino foi determinado pelo inverso do coeficiente angular da reta ($1/a$).

$$TAFM = a \times (T_{med}) + b \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão de flores masculinas apresentou resposta linear ao aumento da temperatura ($R^2 > 0,85$), confirmando a adequação do modelo de Arnold (1960) e indicando ausência de inibição severa nas temperaturas do verão subtropical. Notou-se clara distinção fisiológica entre os genótipos (Tabela 1). A cultivar 'Caserta' apresentou a menor T_b , iniciando seu desenvolvimento masculino em condições mais amenas, contudo, exigiu maior acúmulo térmico por flor, resultando em maior antocrono. Os híbridos 'Anita' e 'Alicia' apresentaram maior exigência térmica inicial (maior T_b), mas emissão floral mais acelerada (menores antocronos) após atingirem o limiar.

Tabela 1. Estimativa da temperatura basal inferior, valores de antocrono e coeficiente de determinação, para os genótipos avaliados.

Genótipo	T_b , °C	Antocrono, °C dia flor ⁻¹	R^2
Alicia	10,65	17,61	0,87
Anita	10,22	18,59	0,95
Caserta	9,78	21,55	0,96

Os valores de T_b obtidos (9,78 a 10,65 °C) assemelham-se aos observados em outros gêneros de cucurbitáceas, como o meloeiro (*Cucumis melo* L.), cujos limiares térmicos basais também se situam próximos a 10 °C (Streck, 2002), evidenciando uma proximidade filogenética nas exigências térmicas da família. Essa divergência genotípica reforça que o melhoramento genético alterou as taxas de desenvolvimento, tornando fundamental o uso de parâmetros específicos na calibração de modelos de simulação.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de flores masculinas responde de forma linear ao incremento da temperatura do ar. A exigência térmica reprodutiva difere dependendo da genética cultivada. A cultivar 'Caserta' apresenta menor limiar térmico inicial, porém ritmo de emissão floral mais lento. Em contrapartida, os híbridos ('Alicia' e 'Anita') exigem maior temperatura base, mas compensam com emissão mais rápida. Conclui-se que a parametrização agrometeorológica do antocrono deve ser genótipo-específica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) pelo suporte financeiro do projeto (Nº do processo 24/2551-0000688-5) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Arnold, C.Y. 1960. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 76:682-692.
- Aparna; Skarzyńska, A.; Plader, W.; Pawelkowicz, M. 2023. Impact of climate change on regulation of genes involved in sex determination and fruit production in cucumber. *Plants* 12:2651.
- CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 2016. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Passo Fundo, Brasil. 376 p.
- Hodges, T. 1991. Predicting crop phenology. CRC Press. Boca Raton, EE. UU. 233 p.
- Lai, W.; Hou, L.; Zhang, X.; Liang, N.; Xie, L.; Wang, X.; Kang, S. 2018. Effect of high temperature on sex expression and yield of cucurbitaceous crops. *Agricultural and Forest Meteorology* 250:112-120.
- Li, Q.; Guo, W.; Chen, B.-H.; Pan, F.; Yang, H.; Zhou, J.; Wang, G.; Li, X. 2021. Transcriptional and hormonal responses in ethephon-induced promotion of femaleness in pumpkin. *Frontiers in Plant Science* 12:715487.
- McMaster, G.S.; Wilhelm, W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87:291-300.
- Perez Gutierrez, R.M. 2016. Review of *Cucurbita pepo* (Pumpkin) its phytochemistry and pharmacology. *Medicinal Chemistry* 6:12-21.
- Robinson, R.W.; Decker-Walters, D.S. 1997. Cucurbits. CAB International. New York, USA. 226 p.
- Streck, N.A. 2002. A generalized non-linear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10:105-111.
- Wang, W.; Jiang, Q.; Zhang, Y.; Li, J.; Wang, Y. 2022. Pumpkin (*Cucurbita* species) seeds: a review of their nutritional, phytochemical, and health benefits. *Food Reviews International* 38:1-24.

FILOCRONO DE GENÓTIPOS DE ABOBRINHA ITALIANA EM DISTINTAS ÉPOCAS DE SEMEADURA

Mariano*, A.G.¹; Uhlmann, L.O.¹; Thewes, F.R.¹; Schutz, N.W.¹; Loss, E.¹; Reis, B.E.¹; Costa, L.P.¹

¹ Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Avenida Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

*Contato: abielgm@icloud.com

Palavras-chave: *Cucurbita pepo* L.; desenvolvimento foliar; tempo térmico

INTRODUÇÃO

A abobrinha italiana (*Cucurbita pepo* L.) destaca-se pela sua expressiva importância econômica e alimentar no cenário mundial (Paris, 2001). Apesar de sua relevância, ainda são limitados os estudos sobre exigências térmicas específicas para cada fase fenológica da cultura. Sabe-se que, na ausência de restrições hídricas e nutricionais, o desenvolvimento vegetal é governado principalmente pela temperatura do ar (Bonhomme, 2000; Streck *et al.*, 2012).

Para quantificar o efeito da temperatura na taxa de emissão de folhas, utiliza-se o conceito de tempo térmico. O intervalo necessário para o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal é denominado filocrono (McMaster e Wilhelm, 1997). Contudo, o filocrono não é um parâmetro puramente estático, podendo apresentar variações em resposta ao genótipo e às condições micrometeorológicas de cultivo (Streck *et al.*, 2005). O objetivo deste trabalho foi determinar e comparar o filocrono dos genótipos de abobrinha italiana 'Alicia', 'Anita' e 'Caserta', cultivados em quatro épocas de semeadura em região subtropical.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a determinar o filocrono da cultura da abobrinha, foram realizados experimentos de campo instalados no Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Foram realizadas quatro épocas de semeadura, a fim de que as plantas fossem expostas a diferentes condições térmicas sazonais. A primeira semeadura ocorreu em 30 de julho de 2024 (1ª época), a segunda em 30 de agosto de 2024 (2ª época), a terceira em 30 de setembro de 2024 (3ª época) e a quarta época em 30 de junho de 2025 (4ª época). O delineamento experimental utilizado em cada época foi o de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três genótipos de abobrinha italiana: a cultivar de polinização aberta 'Caserta' e os híbridos 'Alicia' e 'Anita'.

A semeadura foi realizada em bandejas plásticas de 200 células preenchidas com substrato comercial, mantidas em ambiente protegido e irrigadas até o momento do transplante. O transplante ocorreu quando as mudas apresentavam a primeira folha verdadeira completamente expandida e o torrão bem formado. O sistema de cultivo adotado foi o convencional, com irrigação suplementar por gotejamento sempre que necessário para evitar déficit hídrico, garantindo que a temperatura do ar fosse o principal fator meteorológico a influenciar o crescimento e desenvolvimento. O preparo do solo e a adubação de base e de cobertura seguiram as recomendações da CQFS-RS/SC (2016), baseadas na análise química do solo. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de forma preventiva e curativa, conforme as recomendações técnicas para a cultura. A unidade experimental foi composta por parcelas de 2,5 m de comprimento, contendo 10 plantas dispostas no espaçamento de 0,60 m entre linhas e 0,50 m entre plantas. Foram consideradas como plantas úteis as seis plantas centrais de cada parcela. A variável fenológica analisada foi o número de folhas acumulado (NF). A contagem do NF foi realizada duas vezes por semana em seis plantas centrais da parcela, excluindo as bordaduras. Adotou-se como critério para folha verdadeira aquela que apresentava a lâmina foliar desenrolada (bordas não se tocando) e comprimento superior a 1 cm.

Para determinação da soma térmica foram utilizados os dados meteorológicos de temperatura mínima e máxima do ar obtidos da Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia/Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria, RS, a aproximadamente 400 m da área experimental. A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada através da seguinte equação (Gilmore e Rogers, 1958; Arnold, 1960; Streck, 2002):

$$STd = (T_{med} - T_b) \text{ 1 dia} \quad STd = (T_{med} - T_b) \text{ 1dia quando } T_b \leq T_{med} \leq T_{opt} \text{ e } STd = (T_{opt} - T_b). (T_{max} - T_{med}) / (T_b - T_{opt}) \text{ quando } T_{opt} < T_{med} \leq T_b, \text{ se } T_{med} < T_b \text{ então } T_{med} = T_b \text{ e se } T_{med} > T_b \text{ então } T_{med} = T_b$$

onde T_b é a temperatura basal inferior para o desenvolvimento da abobrinha que nesse estudo utilizou-se T_b igual a 11,05 °C, 10,99 °C e 10,57 °C, para 'Alicia', 'Anita' e 'Caserta' respectivamente (dados não publicados). T_{med} é a temperatura média diária do ar, calculada pela média aritmética entre a temperatura máxima e mínima diária do ar, T_{opt} é a temperatura ótima para desenvolvimento e T_b é a temperatura Basal superior. Considerou-se $T_{opt} = 25$ °C e $T_b = 32$ °C (Puiatti e Silva, 2005). A soma térmica acumulada (STa , °C dia) a partir da emergência foi calculada por: $STa = \sum STd$ (2)

Para cada época de cultivo foi estimada a regressão linear entre o NF e STa de cada genótipo. O filocrono foi então estimado como sendo o inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e STa (Cao e Tibbitts, 1995; Kirby, 1995; Baker e Reddy, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre o número de folhas acumuladas e a soma térmica acumulada apresentou uma resposta linear ($R^2 > 0,98$) para todas as épocas e genótipos avaliados. Esse ajuste robusto evidencia que a temperatura do ar é o principal elemento que governa a taxa de emissão foliar, validando a utilização do tempo térmico para a estimativa do filocrono a campo.

Observou-se variação nas exigências térmicas médias para o surgimento de uma nova folha (Tabela 1). O genótipo 'Alicia' apresentou o menor filocrono médio, caracterizando-se por uma emissão foliar mais acelerada, seguido por 'Anita' (acúmulo térmico intermediário). A cultivar 'Caserta' exigiu o maior acúmulo térmico por folha, resultando em um desenvolvimento vegetativo mais lento.

Essa variação fenológica comprova que o filocrono não é um parâmetro estático para a espécie *Cucurbita pepo*. As diferenças inerentes a cada material genético determinam o ritmo de expansão foliar, informação importante para calibração de modelos de simulação e para auxiliar produtores na escolha de cultivares em regiões com menor disponibilidade térmica

Tabela 1. Filocrono para cada um dos genótipos e R^2 médio das estimativas.

Genótipo	Filocrono, °C dia folha ⁻¹	R^2
Alicia	16,18	0,98
Anita	17,36	0,99
Caserta	18,66	0,99

CONCLUSÕES

O genótipo Alicia apresenta o desenvolvimento foliar mais acelerado, exigindo um acúmulo de 16,18 °C dia folha⁻¹, seguido pelos genótipos Anita (17,36 °C dia folha⁻¹) e Caserta (18,66 °C dia folha⁻¹). Essas respostas evidenciam que o tempo térmico deve ser parametrizado especificamente para cada genótipo visando o planejamento agrícola e a modelagem agrometeorológica da cultura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) pelo suporte financeiro do projeto (Nº do processo 24/2551-0000688-5) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Arnold, C.Y. 1960. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 76:682-692.
- Baker, J.T.; Reddy, V.R. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of soybean. *Agronomy Journal* 93:376-381.
- Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy* 13:1-10.
- Cao, W.; Tibbitts, T.W. 1995. Leaf emergence on potato stems in relation to thermal time. *Agronomy Journal* 87:474-477.
- CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 2016. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Passo Fundo, Brasil. 376 p.
- Gilmore, E.C.; Rogers, J.S. 1958. Heat units as a method of measuring plant maturity in corn. *Agronomy Journal* 50:611-615.
- Kirby, E.J.M. 1995. Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. *Crop Science* 35:11-19.
- McMaster, G.S.; Wilhelm, W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87:291-300.
- Paris, H.S. 2001. History of the cultivar-groups of *Cucurbita pepo*. *Horticultural Reviews* 25:71-170.
- Puiatti, M.; Silva, D.J.H. 2005. Abóboras e morangas. Em: Fontes, P. C. R. (Ed.). *Olericultura: teoria e prática*. Editora UFV. Viçosa, Brasil. 277-296 pp.
- Streck, N.A. 2002. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10:105-111.
- Streck, N.A.; Bellé, R.A.; Backes, F.A.A L.; Gabriel, L F.; Uhlmann, L.O.; Becker, C.C. 2012. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em gladiolo. *Ciência Rural* 42:1968-1974.
- Streck, N.A.; Tibola, T.; Lago, I.; Buriol, G.A.; Heldwein, A.B.; Schneider, F.M.; Zago, V. 2005. Estimativa do plastocrono em melão (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. *Ciência Rural* 35:1275-1280.

DISPONIBILIDAD AGROCLIMÁTICA PARA EL ALMENDRO (*Prunus amygdalus* BATSCH.) EN ZONAS NO TRADICIONALES, VALLE INFERIOR DEL RIO NEGRO Y CORONEL ROSALES

Martin*, D.M.^{1,2}; Marilef, J.J.¹; Fuente, G.E.¹; Roncoroni, F.³; Gallego, L.D.¹; del Barrio, R.A.²

¹ E.E.A. Valle Inferior del Río Negro, INTA, Km 971, Camino 4, Viedma, CP 8500, Argentina

² Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro, Viedma 8500, Argentina

³ Ingeniero Agrónomo, Productor de almendros del Partido de Coronel Rosales

*Contacto: martin.dariomiguel@inta.gob.ar

Palabras clave: frutos secos; necesidades de frío; acumulación de calor

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de almendras se encuentra liderada por Estados Unidos, seguido por España, y más recientemente, Australia. El almendro (*Prunus amygdalus* Batsch.) presenta una elevada plasticidad ecológica y capacidad de adaptación a ambientes subhúmedos secos o semiáridos, a suelos pobres y de limitada profundidad, lo que ha favorecido su expansión hacia nuevas áreas productivas (Gradziel, 2009). Sin embargo, la principal limitante para su producción está asociada a la ocurrencia de heladas primaverales debido a que constituye una de las especies frutales de floración más temprana (Felipe, 2000).

Como especie caducifolia, el almendro tiene exigencias térmicas fundamentales para una adecuada sincronización fenológica. La ruptura de la dormición depende de la acumulación de frío invernal, mientras que la floración está condicionada por la acumulación de calor (Charrier *et al.*, 2011). Por ello, las disponibilidades de frío y calor constituyen uno de los principales criterios agroecológicos para definir la aptitud regional de especies y cultivares frutales (Okie y Blackburn, 2011).

En Argentina, el almendro constituye una alternativa productiva de creciente interés en regiones áridas y semiáridas bajo riego, aunque su expansión territorial ha estado condicionada por la ausencia de áreas agroclimáticamente aptas. Actualmente existen alrededor de 4.200 ha implantadas, concentradas principalmente en las provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja, aunque la producción nacional continúa siendo insuficiente para abastecer la demanda interna. En este contexto, la incorporación de cultivares de floración tardía y extra tardía representa una estrategia fundamental para reducir la exposición al daño por heladas y ampliar la frontera productiva hacia nuevas regiones.

El objetivo del presente trabajo fue determinar y comparar las disponibilidades de frío y de calor del Valle Inferior del Río Negro y del partido de Coronel Rosales para la floración de tres cultivares de almendro de floración tardía y extra tardía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se realizaron observaciones fenológicas de floración de almendros de los cultivares ‘Guara’, ‘Marinada’ y ‘Penta’, implantados en la Estación Experimental Valle Inferior del INTA, localizado en el Valle Inferior del Río Negro (40°45’LS, 63°17’LW y altitud de 7 m.s.n.m.), y en una plantación comercial perteneciente a Federico Roncoroni en el partido de Coronel Rosales (38° 54’S; 61° 35’ O; 31 m s.n.m.). En Valle Inferior se tomaron registros de inicio de floración durante los años 2020-2025 y en Coronel Rosales de 2017-2025, siguiendo la metodología y referencia propuesta por Felipe (1977), con una periodicidad semanal. Para los cálculos de necesidades de frío y calor se utilizaron datos de temperaturas horarias registrados por estaciones meteorológicas automáticas pertenecientes a la EEA Valle Inferior de INTA (Valle Inferior del Río Negro) y a la Bolsa de cereales de Bahía Blanca (Coronel Rosales), ambas próximas a las parcelas experimentales de almendro.

Se calculó la disponibilidad de frío invernal en cada zona productiva mediante el modelo de acumulación de unidades de frío de Utah (CU) (del Barrio *et al.*, 2022) para estimar la fecha de satisfacción de frío para la salida de reposo invernal, según el requerimiento CU de cada cultivar (Alonso *et al.*, 2005; Prudencio *et al.*, 2018; Chaar y Castro, 2022). La fecha inicial de acumulación de frío anual se determinó a partir del valor mínimo de acumulación negativa otoñal en CU. Los requerimientos de calor se calcularon mediante la suma de temperaturas horarias acumuladas en grados de crecimiento (GDH °C) propuestos por Richardson *et al.* (1974) desde la fecha de satisfacción de frío de cada cultivar hasta la fecha de inicio de floración, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta las fechas de satisfacción de frío para la salida de reposo invernal de los cultivares ‘Guara’, ‘Penta’ y ‘Marinada’ en las dos zonas de estudio. Los requerimientos de frío de los tres cultivares se cumplen primero en la zona del Valle Inferior del Río Negro, en orden ‘Guara’, ‘Penta’ y ‘Marinada’.

Las fechas promedio de inicio de floración y la acumulación de calor correspondiente a cada cultivar y zona se muestran en la Tabla 2. El cv. ‘Guara’ es el primero en iniciar la floración (22/08 en C. Rosales, 25/08 en Valle Inferior) seguido por ‘Marinada’ (31/08 en C. Rosales, 09/09 en Valle Inferior) y ‘Penta’ (09/09 en C. Rosales, 10/09 en Valle Inferior). Los

valores de acumulación de calor para el inicio de la floración en el Valle Inferior del Rio Negro oscilaron entre 6449 y 8210 GDH °C mientras que en Coronel Rosales entre 7017 y 7961 GDH °C, de acuerdo con el método Richardson. Al parecer las responsables de la floración son las horas de calor, que en Coronel Rosales las hace florecer más tempranamente que en Valle Inferior del Rio Negro.

Tabla 1. Fecha promedio de satisfacción de frío para la salida de reposo invernal de los cultivares ‘Guara’, ‘Penta’ y ‘Marinada’ en las dos zonas de estudio.

Cultivar	CU	Valle Inferior	Coronel Rosales
‘Guara’	463 ¹	18-jun	22-jun
‘Penta’	607 ²	29-jun	03-jul
‘Marinada’	730 ³	07-jul	11-jul

¹Alonso *et al.* (2005); ²Prudencio *et al.* (2018); ³Chaar y Castro (2022)

Tabla 2. Fechas promedio de inicio de floración y la acumulación de calor correspondiente a cada cultivar y zona de estudio.

Cultivar	Valle Inferior		Coronel Rosales	
	Fecha	GDH °C	Fecha	GDH °C
‘Guara’	25-ago	6449	22-ago	7017
‘Marinada’	09-sep	8210	31-ago	7279
‘Penta’	10-sep	8087	09-sep	7961

CONCLUSIONES

Este estudio documenta los primeros valores de requerimientos térmicos de cultivares de almendro de floración tardía (Guara) y extra tardía (Marinada y Penta) para dos zonas productivas no tradicionales, Valle Inferior del Rio Negro y Coronel Rosales, que resultan útiles para predecir, con base ecofisiológica, la fase fenológica estudiada en función de las temperaturas del invierno y la primavera y/o para distintas condiciones agroclimáticas.

REFERENCIAS

- Alonso J.M.; Ansón J.M.; Espiau M.T.; Socías i Company, R. 2005. Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130:308-318.
- Chaar, J.E.; Castro, V.L. 2022. Determinación de los requerimientos térmicos otoño-invernales en almendro (*Prunus amygdalus* Batsch.) cv. Guara y cv. Marinada. *Avances en Investigación Agropecuaria* 26:109-120.
- Charrier, G.; Bonhomme, M.; Lacombe, A.; Améglio, T. 2011. Are budburst dates, dormancy and cold acclimation in walnut trees (*Juglans regia* L.) under mainly genotypic or environmental control? *International Journal of Biometeorology* 55(6):763-774.
- del Barrio, R.A.; Orioli, G.A.; Brendely, A.S.; Lindström, L.I.; Pellegrini, C.N.; Campoy, J.A. 2022. Persian walnut (*Juglans regia* L.) bud dormancy dynamics in Northern Patagonia, Argentina. *Frontiers in Plant Science* 12:803878.
- Felipe, A.J. 1977. Épocas de floración de variedades de almendro. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Serie Producción Vegetal* 7:105-112.
- Felipe, A.J. 2000. El almendro. I. El material vegetal. Editorial Integrum. Lérida, España. 461 p.
- Gradziel, T. 2009. Almond (*Prunus dulcis*) breeding. Jain & P. M. Priyadarshan (Eds.) (Ed.), *Breeding Plantation Tree Crops: Temperate Species*. New York: Springer.
- Okie, W.R.; Blackburn, B. 2011. Increasing chilling reduces heat requirement for floral budbreak in peach. *HortScience* 46(2):245-252.
- Prudencio, A.; Martínez-Gómez, P.; Dicenta, F. 2018. Evaluation of breaking dormancy, flowering and productivity of extra-late and ultra-late flowering almond cultivars during cold and warm seasons in South-East of Spain. *Scientia Horticulturae* 235:39-46.
- Richardson, E.A.; Seely, S.D.; Anderson, M.; Asncroft, G. 1974. Phenoclimatography of spring peach bud development. *Hortscience* 10:236-237.

DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR DENTRO DE UN INVERNADERO DEL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE PARA UN CICLO DE TOMATE TARDÍO

Martínez*, S.¹; Sánchez de la Torre, M.E.¹; Abre, M.H.¹; Dell'Arciprete, L.^{1,2}; Garbi, M.¹

¹Laboratorio de Investigación en Bioclima Vegetal (LIBIOV), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP. Calle 60 y 119 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina

²Becaria Doctoral UNLP

*Contacto: smarti@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L.; fecha de trasplante; déficit de saturación

INTRODUCCIÓN

En el cinturón hortícola platense, el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ocupa unas 1.500 ha en producción y es el principal cultivo realizado bajo cubierta. Para ampliar la oferta de producto al mercado se realizan cultivos en distintas épocas, practicándose un trasplante tardío entre diciembre y enero, con cosechas a partir de febrero (Sánchez, 2023). Esta desestacionalización de la producción aporta ventajas competitivas en lo comercial, pero puede promover también que la planta quede expuesta al estrés por condiciones ambientales que se alejan de las exigencias y tolerancias de la especie. El tomate es una hortaliza de origen subtropical, cuya temperatura óptima se ubica entre 17 y 27 °C, con umbrales de 10 y 35 °C; requiriendo durante todo el ciclo una humedad relativa del 50 a 70 % (Shamshiri *et al.*, 2018). Las plantaciones tardías pueden provocar la exposición de las plantas a condiciones de temperatura que superan los valores óptimos e incluso el umbral máximo de temperatura. La temperatura del canopeo es fundamental para el crecimiento de la planta, dependiendo no solo de la temperatura del aire sino también de la humedad relativa y la tasa de transpiración. La transpiración está directamente vinculada al déficit de presión de vapor (DPV), cuyo valor en tomate incide también sobre la calidad del fruto y el rendimiento; considerándose óptimos valores de 0,75 a 1,06 kPa, con umbrales de 0,45 y 1,25 kPa (Shamshiri *et al.*, 2018). Los mismos autores sostienen que el DPV refleja con mayor precisión las condiciones a las que están expuestas las plantas, al tener en cuenta tanto las mediciones de temperatura como de humedad relativa. Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis preliminar de los valores que alcanza el DPV en el interior de un invernadero ubicado en el cinturón hortícola platense durante los meses iniciales del ciclo de producción de tomate tardío.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó en un invernadero metálico de 24 x 40 m con techo parabólico de 6 m en la cumbre y una relación volumen-superficie cubierta de 5 m³ m⁻², cubierto con polietileno térmico de 150 µm de espesor y orientación nort-sur, ubicado en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, FCAyF, UNLP (33°56'42,6" S; 60°33'35,6" O). Se trabajó con datos horarios de temperatura y humedad relativa obtenidos de una estación meteorológica automática Advantage Pro2® (Davis Instruments, USA) con sensores colocados a 1,5 m desde el nivel del suelo ubicada en el centro del invernadero. El 19/01/2026 se realizó el trasplante de tomate cv. Novero (Bayer®) sobre lomos distanciados a 80 cm, cubiertos con mulching plástico bicapa. El distanciamiento entre plantas fue de 25 cm, con conducción vertical con hilo y riego por goteo. El invernadero fue ventilado utilizando como parámetro la temperatura del aire (23 °C), utilizando ventilación lateral y cenital. El periodo de medición inició el día del trasplante y finalizó el 31/03/2026 (1728 horas), coincidiendo con la maduración de los frutos del cuarto racimo. A partir de los registros horarios de temperatura del aire se estimó la tensión de vapor de saturación mediante los valores de la tabla psicrométrica correspondiente a 755 mm de presión barométrica. Luego, utilizando los datos horarios de humedad relativa se calculó la presión de vapor real y, finalmente, el DPV como diferencia entre ambas magnitudes. Se analizaron tres rangos de DPV indicados para tomate: 0,75 a 1,06 kPa (rango óptimo), valores ≤0,45 kPa (umbral inferior) y valores ≥1,25 (umbral superior). Para cada rango se calculó la cantidad de horas para el periodo y mensuales, DPV medio, máximo y mínimo, temperatura media, máxima media y máxima absoluta, humedad relativa media, máxima y mínima. Se realizó un análisis descriptivo presentando valores medios y sus desviaciones estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se presenta en la Tabla 1, en el periodo evaluado, el DPV se mantuvo en el rango considerado óptimo para el tomate durante 214 horas, lo que representa un 12,4 % del tiempo total, con una mayor proporción durante marzo (7,9 % del total). Durante ese lapso los valores térmicos y de humedad relativa coincidieron también con los adecuados para el cultivo, con una humedad relativa próxima al 60 %, óptima para una adecuada polinización en tomate (Shamshiri *et al.*, 2018). El DPV se ubicó por debajo del umbral inferior durante un lapso equivalente al 29,3 % del tiempo total (507 horas), con una distribución que puede considerarse homogénea en los meses considerados, según el total de horas correspondientes a cada mes, con 28 % en enero, 33 % en febrero y 26 % en marzo. Este periodo coincidió con valores térmicos que se ubicaron dentro de los tolerados por la especie, mientras que los registros de humedad relativa resultaron más elevados. Esta situación pudo deberse a los aportes de vapor de agua proveniente de la evapotranspiración, pero también a los niveles elevados de

humedad relativa del ambiente externo que, según registros realizados en la misma Estación Experimental se ubicaron entre 69 y 84 % en enero, 60 y 80 % en febrero y 71 y 97 % en marzo (Boletín meteorológico mensual, 2026). Leonardi *et al.* (2000) mencionan que variaciones del déficit de presión de vapor entre 1 y 0,2 kPa tienen poco impacto en la fisiología y desarrollo de los principales cultivos hortícolas, observándose que el valor medio durante la etapa en estudio se ubicó próximo al límite inferior de ese rango. La mayor proporción del tiempo (645 horas = 37,3 % del tiempo total) el DPV superó el umbral máximo. Considerando el total de horas mensuales, esto representó un 50 % del tiempo para los días comprendidos en enero, 38 % en febrero y 32 % en marzo. Además, los elevados valores de DPV fueron acompañados por temperaturas que superaron el óptimo de la especie y reducidos niveles de humedad relativa. Estas condiciones pueden impactar en el crecimiento postrasplante, considerando que un incremento del 1 a 1,8 kPa en el DPV determinó la reducción del crecimiento de la planta en diversos cultivos, posiblemente por su efecto en la fotosíntesis, al reducirse la conductancia estomática, pero puede jugar también un rol importante en el rendimiento y calidad, al afectar el nivel hídrico de la planta e incrementar la transpiración de los frutos (Leonardi *et al.*, 2000). En el mismo sentido, Yu *et al.* (2024) observaron que el rendimiento en tomate se vio más favorecido cuando el DPV se aumentó durante la floración (2,22 kPa) pero se redujo durante la etapa de expansión del fruto (0,95 kPa). Si bien los datos presentados son de carácter preliminar, considerando que se tomó un único periodo de ensayo acotado a una parte del ciclo de producción, sin contemplar datos de cultivo, denotan la complejidad del manejo ambiental en la época del año considerada para el cultivo de tomate; evidenciándose la relevancia del manejo de la HR y el DPV, además de la temperatura.

Tabla 1. Cantidad de horas y condiciones ambientales en un invernadero del cinturón hortícola platense durante un ciclo de producción de tomate tardío según niveles de déficit de presión de vapor (DPV). La Plata, 2026.

Rango DPV, kPa	Horas			DPV, kPa			Temperatura, °C			Humedad relativa, %		
	ene	feb	mar	Medio	Mín.	Máx.	Media	Máx. media	Máx. absoluta	Media	Mín.	Máx.
0,75 – 1,06	24	53	137	0,89 +/- 0,09	0,75	1,06	21,4 +/- 3,4	22,4 +/- 3,7	31,4	64 +/- 7	80	47
≤0,45	88	22 3	196	0,25 +/- 0,12	0,00	0,45	17,8 +/- 3,6	18,2 +/- 3,7	31,8	88 +/- 6	66	100
≥1,25	14 5	25 7	243	2,35 +/- 0,88	1,25	5,23	29,3 +/- 3,6	30,9 +/- 3,6	40,7	44 +/- 12	76	11

CONCLUSIONES

Atendiendo a los alcances del estudio realizado, puede concluirse preliminarmente que:

El problema ambiental más significativo fue la exposición de las plantas a DPV que superaron ampliamente los óptimos para la especie, consecuencia de la elevada temperatura y la reducida humedad relativa registradas en el interior de la estructura. La ocurrencia de DPV subóptimos fue más reducida en el tiempo, acompañada de valores térmicos coincidentes con las exigencias y tolerancias de la especie.

Si bien no se realizó la comparación con otros ciclos productivos ni se evaluó el impacto del ambiente en el crecimiento y producción del cultivo, el escaso periodo en que los valores de DPV, así como las otras variables ambientales, se ubicaron en el rango óptimo para la especie, permitiría inferir que, en el cinturón hortícola platense, en ciclos tardíos de producción de tomate, el potencial productivo de la planta podría verse afectado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto I+D UNLP 11A/366: Ecofisiología y bioclimatología de cultivos intensivos protegidos y a campo.

REFERENCIAS

- Boletín meteorológico mensual enero, febrero, marzo. 2026. Sección Agrometeorología. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola. Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP.
- Leonardi, C.; Guichardb, S.; Bertin, N. 2000. High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 84:285-296.
- Sánchez, E. 2023. Impacto de la edad del plantín y fecha de trasplante sobre la precocidad y rendimiento de una producción tardía de tomate en invernadero. Tesis de Maestría en Horticultura, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C. & Taheri, S. 2018. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics* 32:287-302.
- Yu, X.; Niu, L.; Zhang, Y.; Xu, Z.; Zhang, J.; Zhang, S.; Li, J. 2024. Vapour pressure deficit affects crop water productivity, yield, and quality in tomatoes. *Agricultural Water Management* 299:108879.

ANÁLISIS COMPARADO DEL CRECIMIENTO DE SOJA, MAÍZ Y GIRASOL DE SEGUNDA EN EL SUDESTE BONAERENSE

Mastronardi*, A.¹; Cerrudo, A.^{1,2}; Nagore, M.L.²

¹ FCA, UNMDP Balcarce, Argentina

² EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Ruta 226, km 73,5, Balcarce, 7620, Argentina

*Contacto: alfonmastronardi@gmail.com

Palabras clave: uso de los recursos; rendimientos; eficiencias

INTRODUCCIÓN

El sudeste bonaerense es una región de alta producción de cereales de invierno, cuyos cultivos aprovechan solo una fracción de los recursos anuales disponibles (Abbate *et al.*, 1995; MAGYP, 2026). La incorporación de cultivos de segunda, sembrados luego de la cosecha de un cultivo de invierno o de primera, constituye una estrategia para aumentar la captura de dichos recursos, aun cuando la estación de crecimiento se encuentre condicionada a la ocurrencia de las primeras heladas (Caviglia *et al.*, 2004; Caviglia y Andrade, 2010). Históricamente, la soja dominó los sistemas de doble cultivo de la región, impulsada por el paquete tecnológico RR-glifosato-siembra directa adoptado a mediados de la década de los '90 (Satorre y Andrade, 2020). En los últimos años, el maíz ganó relevancia como cultivo de segunda asociado a que la mejora genética, de manejo y su interacción (Tollenaar y Wu, 1999) permiten que el cultivo crezca en ambientes con mayores limitaciones, como lo son las siembras tardías (Torreani, 2021; Saffarano, 2023). Por su parte, el girasol mostró una adaptación más variable, asociada a la mayor incidencia de enfermedades (Quiroz *et al.*, 2018). Ante la escasez de información comparativa entre estas tres especies en condiciones de siembras tardías se propone como objetivo de este trabajo estudiar el crecimiento y desarrollo de maíz, girasol y soja de segunda en el sudeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dos experimentos se realizaron en la Unidad Integrada Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Se sembraron los cultivos de maíz, girasol y soja en fechas de siembra de segunda: 4-ene-22 (Exp.1) y 9-ene-25 (Exp.2), sobre un cultivo antecesor de invierno. Los materiales utilizados fueron los de mayor difusión entre productores para cultivos de segunda: una soja de GMIII, un maíz precoz (MR 99) y un girasol de alto potencial de rendimiento y de buen comportamiento sanitario. La densidad de plantas objetivo fue de 6,3 pl m⁻² para maíz, 6 pl m⁻² para girasol y 50 pl m⁻² para soja. El distanciamiento entre hileras fue de 52 cm en maíz y girasol y de 17 cm para soja. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con tres repeticiones. La fenología fue registrada semanalmente. El rendimiento se determinó mediante la cosecha de 15 m lineales en los surcos centrales de cada parcela y para biomasa se tomaron entre 6 plantas o 1 m² por parcela. La radiación solar incidente por encima y debajo del canopeo fueron medidas a lo largo del ciclo utilizando un sensor lineal LI-COR, se calculó el porcentaje de radiación interceptada y luego se estimó la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi) a lo largo del ciclo. El contenido de agua del suelo se midió cada 15 días, utilizando el método gravimétrico, a intervalos de 20 cm y hasta 160 cm de profundidad. La evapotranspiración (ET) fue estimada como la suma de precipitación más/menos la variación de almacenaje de agua, para cada intervalo y luego se sumó para obtener la ET total. La eficiencia en el uso del agua para producir granos (EUAg) se calculó como el cociente entre el rendimiento y la ET, mientras que la eficiencia de uso de la radiación (EUR) se estimó como la relación entre la biomasa y la RFAi. Los datos climáticos fueron recolectados de la estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de maíz en el Exp. 2 superó a todos los cultivos en ambos experimentos, cayendo un 55 % en el Exp. 1, soja tuvo un alto rendimiento en el Exp. 2 y cayó en menor proporción, 30 %. Girasol en cambio, tuvo un leve incremento que no fue significativo (Tabla 1). Las condiciones climáticas de las campañas explican estas diferencias, en el Exp.1 se dieron condiciones combinadas de bajas precipitaciones y elevadas temperaturas en los meses de diciembre y enero, registrando valores de hasta 42 °C que afectaron la implantación de todos los cultivos y la fenología de maíz (Tabla 2). En el Exp. 2 el perfil del suelo tuvo una recarga de agua al inicio de los cultivos de segunda que amortiguó las bajas precipitaciones de enero. Además, las caídas de rendimiento en el Exp. 1 se asocian con la ocurrencia de la primera helada agrometeorológica (<3 °C) el 30-abr interrumpiendo el llenado de los granos en todos los cultivos, afectando en mayor medida a la soja del Exp. 1, mientras que en el Exp. 2 ocurrió el 29-may. El girasol no fue afectado por estas condiciones, ya que es una especie que posee mecanismos que le permite sortear estas condiciones de estrés, lo que le permitió mantener su ET en condiciones de deficiencia del Exp. 1, mientras que maíz y soja tuvieron reducciones de 213 y 69 mm (Tabla 1).

Tabla 1. Rendimiento, biomasa, índice de cosecha (IC), radiación acumulada (RFAi), evapotranspiración acumulada (ET), eficiencia de uso de la radiación (EUR), y eficiencia de uso de agua para producir granos (EUAg) de maíz, girasol y soja en dos campañas.

	Cultivo	Rendimiento, kg ha ⁻¹	Biomasa, g m ⁻¹	IC	RFAi, MJ m ⁻²	ET, mm m ⁻²	EUR, G MJ ⁻¹	EUAg, g mm ⁻¹
Exp. 1	Maíz	3007 b	1293	0,24 cd	460	245 d	2,8 a	13 b
	Girasol	2172c	720	0,30 bc	503	361 b	1,4 c	6,5 cd
	Soja	1876 c	569	0,33 b	428	314 c	1,3 c	6,6 c
Exp. 2	Maíz	6724 a	1258	0,50 a	605	458 a	2,3 b	14,7 a
	Girasol	1912c	829	0,24d	678	365 b	1,3 c	5,3 d
	Soja	2648 b	796	0,35 b	580	383 b	1,4 c	7,0c
	Año	*	*	*	*	*	*	ns
	Cultivo	*	*	*	*	ns	*	*
	Cultivo*Año	*	ns	*	ns	*	*	*

* indica diferencias estadísticas significativas para la interacción cultivo*año (p<0,05); ns indica diferencias no significativas (p>0,05)

Tabla 2. Evapotranspiración de referencia (ET0), temperatura media (Tmed) y precipitaciones (PPT) en años: 2022 (Exp. 1) y 2025 (Exp. 2), valores históricos de los últimos 30 años (H) y los de las campañas (INTA SIGA, 2026).

MES	ET0, mm d ⁻¹			Tmáx, °C			Tmin, °C			PPT, mm		
	H	Exp.1	Exp. 2	H	Exp.1	Exp. 2	H	Exp.1	Exp. 2	H	Exp.1	Exp. 2
Dic	4,9	5,2	4,2	34,4	37,5	29,9	5,5	6,7	4,2	66,55	17,8	168,5
Ene	5,0	5,7	5,2	35,7	42,0	35,4	7,6	9,4	10,2	83,8	78,7	33,5
Feb	4,1	4,0	4,5	33,9	33,2	38	7,5	8,1	10,4	97,3	114,8	108,5
Mar	2,9	3,1	2,5	31,3	31,0	33,8	5,6	4,8	6,2	88,3	129,5	159,5
Abr	1,7	2,1	1,5	27,8	28,8	24	3,2	2,2	3,2	61,3	75,0	58,4
May	0,9	1,1	0,9	23,7	24,8	22,6	0,6	-0,9	2	44,5	17,8	105,4

CONCLUSIONES

El maíz sembrado en el SE bonaerense en siembras de segunda fue el cultivo de mayor rendimiento bajo diferentes condiciones de crecimiento en ambos experimentos, a pesar de que su caída en el rendimiento fue más pronunciada que para soja. El girasol mostró el rendimiento más estable entre campañas y un mejor comportamiento frente a estrés hídrico, mientras que soja ocupó una posición intermedia con una reducción menor del rendimiento que maíz.

REFERENCIAS

- Abbate, P.E.; Andrade, F.H.; Culot, J.P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. The Journal of Agricultural Science 124(3):335–348.
- Caviglia, O.P.; Sadras, V.O.; Andrade, F.H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. Field Crops Research 87:117–129.
- Caviglia, O.P.; Andrade, F.H. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. American Journal of Plant Sciences and Biotechnology 3.
- INTA. Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (SIGA). Disponible en: <https://siga.inta.gob.ar>. Consultado 05/2026.
- MAGYP. 2026. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. www.magyp.gob.ar, Consultado 05/2026.
- Quiroz, F.J.; Velázquez, L.; Lázzaro, N.; Escande, A.R.; Aguirrezábal, L.A.N.; Dosio, G.A.A. 2018. Impacto de las enfermedades foliares sobre variables fisiológicas determinantes del rendimiento del girasol ante diferentes situaciones de cultivo. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias 44(3):333–343.
- Saffarano, M.E. 2023. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de maíz de segunda en Balcarce. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Balcarce, Argentina.
- Satorre, E.H.; Andrade, F.H. 2021. Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. Ciencia Hoy 29(173):39–47.
- Tollenaar, M.; Wu, J. 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. Crop Science 39:1597–1604.
- Torreani, F. 2021. Maíz de segunda: ajuste de ciclo y densidad para maximizar rendimiento en el sur de Buenos Aires. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Balcarce, Argentina.

NECESSIDADES TÉRMICAS DO GIRASSOL DE CORTE CULTIVADO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Moura*, M.G.G.¹; Campos, B.S.¹; Souza, E.V.¹; Navarro, L.M.²; Luz, L.M.¹; Fernandes, G.S.T.¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capanema-Pará, Brasil, ² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

*Contato: maurigomes070@gmail.com

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L.; graus-dia; adubação regenerativa

INTRODUÇÃO

O girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) destaca-se na floricultura por sua rusticidade e atributos estéticos, como cores intensas e durabilidade pós-colheita (Curti *et al.*, 2012). No entanto, apesar de sua adaptabilidade, a carência de estudos específicos sobre suas exigências térmicas e práticas de manejo limita o planejamento produtivo. Considerando que a temperatura regula o ritmo de crescimento da cultura, o uso do método de graus-dia (GD) que calcula a relação entre as temperaturas extremas diárias e a temperatura-base inferior, surge como uma ferramenta essencial para prever estádios fenológicos com precisão (Fernandes *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, este estudo objetiva integrar informações fenológicas e térmicas à resposta do girassol ornamental à diferentes níveis de tratamento. Pretende-se determinar o acúmulo de graus-dia necessário para cada fase de desenvolvimento, estabelecendo modelos de predição que orientem o manejo e a época de plantio, otimizando a eficiência e a competitividade da produção para pesquisadores e produtores

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em canteiros, em ambiente aberto, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Capanema, localizada nas coordenadas geográficas 01° 11'45" S; 47° 10'51" W, com altitude média de 30 m, no estado do Pará, região da Amazônia Oriental. A região apresenta uma precipitação média anual de 2.500 mm e temperatura média de 26 °C. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima local é do tipo tropical de monção (Am), caracterizado por elevadas temperaturas e alta umidade relativa do ar (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Amarelo, são solos minerais profundos, bem drenados e altamente intemperizados, comuns em áreas de clima tropical úmido apresenta coloração amarela devido à predominância de goethita (Embrapa, 2025).

O período experimental foi entre os meses de outubro a dezembro de 2025. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições (20 parcelas experimentais). Os tratamentos foram distribuídos em: T1 - Adubação convencional, T2 - Adubação regenerativa com reforços quinzenais, T3 - Adubação regenerativa com reforços semanais, T4 - Adubação regenerativa com reforços semanais associada à microrganismos eficientes. Cada bloco foi composto com quatro parcelas de 2 m, contendo seis plantas em cada parcela, sendo considerada como unidade experimental, totalizando 120 plantas.

A cultivar avaliada foi a Vincent's Choice, um híbrido popular, conhecido principalmente por ser uma variedade recomendada para flor de corte. Acompanhou-se a fenologia da fase vegetativa (V) e reprodutiva (R), considerando desde o transplantio até a fase de florescimento (R5). O monitoramento meteorológico foi realizado a partir de uma estação meteorológica automática (EMA), modelo Davis Vantage Pro2, pertencente à UFRA. Obteve-se dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s⁻¹) e precipitação (mm). O manejo da irrigação foi realizado conforme a necessidade hídrica da cultivar, sendo estimada a partir da evapotranspiração de cultura (ETc).

As unidades térmicas foram calculadas de acordo com a seguinte equação (1), onde GD é o graus-dias diário (°C dia⁻¹); T_{med} é a temperatura do ar média diária (°C) e T_b é a temperatura basal inferior (Considerou-se 7 °C de acordo com Robson, 1971).

$$GD = T_{med} - T_b \quad (1)$$

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade, posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA). Quando significativo pelo teste F (p≤0,05), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade pelo software R 4.5.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra que o T1 apresentou duração do ciclo significativamente menor que os demais tratamentos, completando-o com 928,28 °C dia⁻¹ (45 dias), enquanto os demais tratamentos apresentaram valores de 1025,18 °C dia⁻¹ (50 dias) a 1062,84 °C dia⁻¹ (52 dias).

Tabela 1. Duração em graus-dia ($^{\circ}\text{C dia}^{-1}$) das fases fenológicas do girassol sob diferentes tratamentos cultivados sob condições climáticas da Amazônia Oriental.

Fase	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
V2-V12	497,12	530,16	530,16	563,2
V12-R1*	373,58 b	397,46 ab	478,4 a	470,66 ab
R1-R2**	125,44 b	272,94 a	199,3 ab	199,16 ab
R2-R3	164,54	117,62	142	150,12
R3-R4	100,44	86,26	115,98	124,52
R4-R5	94,18	91,88	62,7	71,02
Ciclo**	929,28 b	1025,18 a	1041,9 a	1062,84 a

*Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F; **Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F; Média seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Os estádios de V12 a R2 foram os mais influenciados, com o T1 acumulando menor quantidade de energia. Nos demais estádios fenológicos, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. O tratamento T1 apresentou menor acúmulo de graus-dia para atingir as fases reprodutivas, indicando desenvolvimento fenológico mais rápido em comparação aos demais tratamentos. Esse comportamento sugere que as condições de manejo favoreceram a transição entre os estádios fenológicos, resultando em florescimento e maturação mais precoces. Enquanto, os tratamentos T2, T3 e T4 prolongaram o período vegetativo. A uniformidade nas fases finais (R2-R5) indica que os manejos influenciaram principalmente as fases do início do desenvolvimento do girassol (Taiz, *et al.*, 2017).

CONCLUSÕES

O uso de graus-dia mostrou-se eficiente para acompanhar o desenvolvimento fenológico do girassol ornamental nas condições da Amazônia Oriental. A temperatura influenciou diretamente o ciclo da cultura, demonstrando a importância do monitoramento térmico no planejamento do manejo e da produção.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L. de Moraes; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift* 22(6):711-728.
- Curti, G.L.; Martin, T.N.; Ferronato, M.L.; Benin, G. 2012. Girassol ornamental: caracterização, pós-colheita e escala de senescência. *Revista de Ciências Agrárias* 35(1):240-250.
- Fernandes, G.S.T.; da Silva, J.V.F.; Rua, M.L. et al. 2025. Sazonalidade nos ciclos reprodutivos do coqueiro: uma análise das temperaturas basais, duração e estimativas de colheita no Nordeste do Pará, Brasil. *International Journal of Biometeorology* 69:127–1138.
- Robson, R.G. 1971. Sunflower Phenology - Year, Variety, and Date of Planting Effects on Day and Growing Degree-Day Sums. *Crop Science* 11(5): 635-638.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Möller, I.M.; Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, Porto Alegre, Brasil. 100 p.
- Embrapa. 2025. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa, Brasília, Brasil. 393 p.

VARIABLES CLIMÁTICAS Y RENDIMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO EN ENTRE RÍOS: ANÁLISIS EXPLORATORIO

Pautasso*, J.M.^{1,2}; Barbagelata, P.^{1,2}; Díaz, M.¹

¹ INTA, Ruta 11 km 12,5 Oro Verde, 3101, Argentina

² FCA – UNER

*Contacto: pautasso.juan@inta.gob.ar

Palabras clave: correlación de Pearson; estación de crecimiento; período crítico

INTRODUCCIÓN

Las variables climáticas determinan la producción de biomasa de los cultivos y su partición a rendimiento. Los modelos más aceptados de generación de rendimiento incluyen la radiación, el agua y la eficiencia con que el cultivo aprovecha estos factores. En estos modelos la duración de las etapas donde el cultivo usa estos recursos es regulada fuertemente por la temperatura (Miralles *et al.*, 2014). En este marco, la jerarquización de variables climáticas en relación con el rendimiento resulta relevante para caracterizar el riesgo agrometeorológico de cada región. A partir de series históricas, el objetivo de este trabajo es explorar y jerarquizar las variables climáticas que explican el rendimiento de trigo y maíz para dos zonas agrometeorológicas de Entre Ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables analizadas: temperatura máxima, media y mínima (°C); amplitud térmica (°C); HR (%); radiación solar (MJ m⁻² d⁻¹) y lluvia (mm). Para la estación de crecimiento del cultivo (EC, emergencia a madurez fisiológica) y para el período crítico (PC). Variables derivadas: evapotranspiración de referencia (ET_o, mm día⁻¹) y coeficiente fototermal (Q, MJ m⁻² d⁻¹ °C⁻¹).

Áreas de estudio: dos regiones de Entre Ríos —Centro-Oeste (CO: departamentos Paraná, Nogoyá, Victoria y Diamante) y Centro-Este (CE: Concepción del Uruguay, Tala, Colón y Villaguay).

Fuentes de datos: período mayo 2000–febrero 2025. La EEA Paraná aportó la serie completa (9160 registros por variable; INTA, 2026); la base de la EEA Concepción del Uruguay a partir de la reconstrucción de la serie completa con la metodología presentada en este congreso en otro trabajo por los autores (AT 3). Para el rendimiento de los cultivos se usó la base de datos del SAGyP (<https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>).

Jerarquización: para la jerarquización se realizó un estudio de correlación de Pearson entre rendimiento de trigo y maíz para cada región y las variables climáticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Correlación de Pearson

TRIGO: las variables asociadas al rendimiento corresponden al ciclo completo (Tabla 1). El coeficiente Q, originalmente propuesto para el período crítico (Fischer, 1985), integra el efecto conjunto de radiación y temperatura: un Q elevado refleja años con mayor disponibilidad energética relativa, ya sea por mayor radiación o por temperaturas moderadas. A escala interanual en ER, Q y ET_o (también radiación-dependiente) resultaron los mejores predictores del rendimiento de trigo en el ciclo completo, sugiriendo que la radiación solar es uno de los principales factores determinantes de las diferencias interanuales de rendimiento en Entre Ríos.

MAÍZ: este cultivo mostró correlaciones más amplias e intensas que el trigo, significativas en la mayoría de las variables, tanto del ciclo como del período crítico (Tabla 1). En CO las variables de mayor correlación negativa durante el PC fueron la amplitud térmica, la temperatura máxima y media, la ET_o, la radiación y la temperatura mínima; durante este período la lluvia y la HR se relacionaron positivamente con el rendimiento. A escala de ciclo completo las variables afectan en el mismo sentido el rendimiento. Para el CE, los patrones fueron consistentes con el CO, aunque con mayor intensidad en las variables hídricas. Este resultado es esperable en el sistema de cultivo de maíz en ER (secano), donde la mayor demanda evapotranspirativa implica mayor déficit hídrico y pérdida de rendimiento (Hsiao *et al.*, 2019).

Tabla 1. Correlaciones de Pearson para rendimiento de trigo y maíz (Campañas 2000–2024) y variables climáticas en las regiones del Centro Este (CE) y Centro Oeste (CO) de ER (Entre Ríos). EC = Ciclo completo y PC = Período Crítico.

Variable climática	TRIGO				MAÍZ			
	CO		CE		CO		CE	
	EC	PC	EC	PC	EC	PC	EC	PC
VARIABLES PRIMARIAS								
Temperatura máxima, °C	-0,28	+0,01	-0,00	-0,02	-0,64***	-0,75***	-0,65***	-0,70***
Temperatura mínima, °C	-0,41*	-0,02	-0,41*	-0,16	+0,15	-0,41*	-0,04	-0,35
Temperatura media, °C	-0,44*	-0,00	-0,25	-0,11	-0,41*	-0,66***	-0,62**	-0,67***
Amplitud térmica, °C	+0,11	+0,03	+0,49*	+0,16	-0,69***	-0,77***	-0,66***	-0,63***
Humedad relativa, %	-0,16	-0,02	-0,54**	-0,28	+0,65***	+0,63***	+0,78***	+0,78***
Radiación solar, MJ m ⁻² d ⁻¹	+0,39	+0,24	+0,49*	+0,20	-0,43*	-0,53**	-0,57**	-0,64***
Lluvia pre-siembra, mm	+0,12	—	-0,20	—	+0,31	—	+0,24	—
Lluvia estado vegetativo, mm	-0,00	—	-0,23	—	+0,41*	—	+0,55**	—
Lluvia período crítico, mm	—	-0,18	—	-0,28	—	+0,65***	—	+0,73***
VARIABLES DERIVADAS								
Coefficiente Q [Rad/(Tmed-Tb)]	+0,55**	+0,23	+0,42*	+0,26	-0,14	+0,14	-0,14	-0,04
ETP acumulada	+0,56**	+0,29	+0,46*	+0,28	-0,63***	-0,56**	-0,75***	-0,54**

Sombreado verde: $r > 0$ y $p < 0,05$ | Sombreado rojo: $r < 0$ y $p < 0,05$ | Sin sombreado: no significativo ($p \geq 0,05$) | * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Lluvia pre-siembra Trigo: 1 feb – 31 may | Estado vegetativo Trigo: 1 jun – antesis | PC Trigo: antesis – 300/+100 °Cd. Para trigo: $T_b = 0$ °C para el cálculo de grados-día fenológicos; $Q = \text{Rad}/(T_{\text{media}} - 4,5 \text{ °C})$ en EC y PC (Fischer, 1985). Lluvia pre-siembra Maíz: 1 may – 31 agosto | Estado vegetativo Maíz: siembra – R1 | PC Maíz: 850 → 1275 °Cd. Para maíz $T_b = 8$ °C

CONCLUSIONES

Las variables climáticas durante la estación de crecimiento fueron los mejores predictores del rendimiento de trigo en ambas regiones, siendo ETo y Factor Q los indicadores integrados con alto valor explicativo; el período crítico no mostró asociaciones significativas. En maíz el patrón fue más amplio e intenso: la amplitud térmica y la temperatura máxima durante el PC constituyeron los principales factores de riesgo en CO, mientras que la lluvia del PC y la HR actuaron como factores con efecto positivo en ambas regiones. El coeficiente Q no correlacionó con el rendimiento de maíz, lo que sugiere limitaciones en su aplicación a cultivos estivales. Los resultados jerarquizan las variables climáticas relevantes para cada cultivo y región, con implicancias para el diseño de índices agrometeorológicos y la evaluación del riesgo climático en Entre Ríos.

REFERENCIAS

- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature Journal of Agricultural Science 105:447-461.
- Hsiao, J.; Swann, A.L.S.; Kim, S-H. 2019. Maize yield under a changing climate: the hidden role of vapor pressure deficit. Agricultural and Forest Meteorology 279:107692.
- Miralles, D.; González, F.; Abeledo, L.; Serrago, R.; Alzueta, I.; García, G.; de San Caledonio, R.; Lo Valvo, P. 2014. Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. 56 p.

ANÁLISIS DE EVENTOS CÁLIDO-HÚMEDOS DURANTE EL PERIODO 2000-2026 EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

Puccetti*, C.¹; Maio, S.¹

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. San Martín 4453 (1417) CABA, Argentina

*Contacto: puccetti@agro.uba.ar

Palabras clave: temperatura mínima; humedad; extremos

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha favorecido un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos y climáticos extremos, entre ellos las olas de calor, con impactos significativos sobre los sistemas naturales y humanos (IPCC, 2023; OECC, 2022; WMO, 2024). Sin embargo, la temperatura por sí sola no siempre representa adecuadamente la peligrosidad de estos eventos. El calentamiento atmosférico incrementa la capacidad de retención de vapor de agua, favoreciendo la ocurrencia de episodios de calor húmedo extremo (Qiang *et al.*, 2026). En este contexto, resulta necesario considerar conjuntamente las condiciones térmicas y de humedad atmosférica. El objetivo de este trabajo es analizar las tendencias temporales de la temperatura mínima y la humedad relativa, así como la ocurrencia de eventos compuestos caracterizados por temperaturas mínimas elevadas y alta humedad relativa, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) durante el semestre cálido del período 2000-2026.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos diarios de temperatura mínima (Tmin) y humedad relativa media (HR) del Observatorio Central Buenos Aires (34°35'S, 58°29'W), suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional, para el semestre cálido (octubre-marzo) del período 2000-2026. Se evaluaron las tendencias temporales de Tmin y HR mediante la pendiente de Sen y la prueba de Mann-Kendall, y se identificaron posibles cambios de régimen mediante la prueba de Pettitt. Asimismo, se analizó estadísticamente la evolución temporal de los días con Tmin ≥ 22 °C. Posteriormente, se identificaron los eventos compuestos, definidos por Tmin ≥ 22 °C y HR ≥ 60 % (Hoffmann y Medina, 1971), y se analizó su frecuencia de ocurrencia y evolución temporal. Con este fin, el período se dividió en dos: 2000-2013 y 2013-2026, y se aplicó una prueba de diferencia de proporciones para determinar si las frecuencias observadas diferían significativamente entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra un aumento significativo de la temperatura mínima (Tmin) durante el período de estudio, con una tendencia de +0,053 °C año⁻¹, equivalente a un incremento acumulado de 1,4 °C entre 2000 y 2026. Esta tendencia resultó significativa según la prueba de Mann-Kendall ($p = 0,0005$). Asimismo, la prueba de Pettitt identificó un punto de quiebre en 2008 ($p = 0,044$), con un aumento de la temperatura media de 17,23 °C a 18,04 °C. Este comportamiento es consistente con la tendencia al incremento de las temperaturas nocturnas observada en distintas regiones del mundo, y podría estar asociado tanto al calentamiento climático regional como a procesos de urbanización. En la CABA, Camilloni y Barrucand (2011) señalaron que la isla de calor urbana presenta su mayor intensidad durante la noche, contribuyendo a reducir el enfriamiento nocturno y favoreciendo temperaturas mínimas más elevadas.

En contraste, la humedad relativa (HR) presentó una tendencia negativa de -0,218 % año⁻¹ ($p = 0,0016$), acumulando una disminución de 5,88 % en el período analizado. El quiebre ocurrió en 2018 ($p = 0,003$), cuando la HR media descendió de 67,5 % a 63,6 %. Por otra parte, la frecuencia de días con Tmin ≥ 22 °C aumentó a razón de 0,94 días año⁻¹, pasando de 14 días en el año 2002 a 50 días en 2025. Este resultado evidencia una marcada intensificación de las noches cálidas durante el semestre estival y una reducción progresiva del alivio térmico nocturno.

En concordancia, la frecuencia de eventos compuestos (Tmin ≥ 22 °C y HR ≥ 60 %) aumentó de 9,16 % durante 2000-2013 a 12,15 % durante 2013-2026 (figura 2). La diferencia entre ambos períodos resultó estadísticamente significativa según la prueba de diferencia de proporciones ($p = 0,001$), representando un incremento de 2,99 puntos porcentuales y un aumento relativo del 32,6 %. Asimismo, el número anual de eventos compuestos mostró una tendencia positiva entre 2000 y 2026 ($\beta = 0,40$ eventos año⁻¹; $p = 0,031$), aunque con marcada variabilidad interanual. Estos resultados indican que, pese a la disminución de la humedad relativa media, las condiciones nocturnas simultáneamente cálidas y húmedas se han vuelto más frecuentes en la CABA.

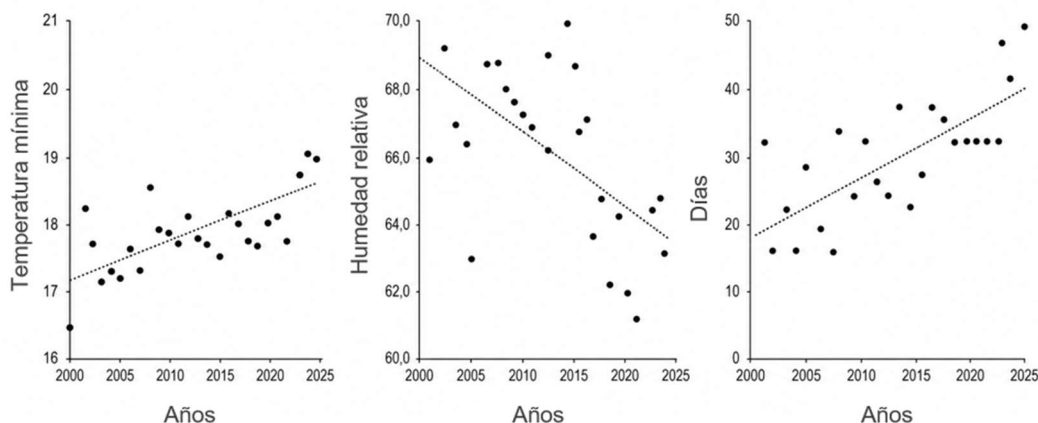


Figura 1: Tendencias temporales de la temperatura mínima (°C), humedad relativa (%) y días con $T_{min} \geq 22$ °C.

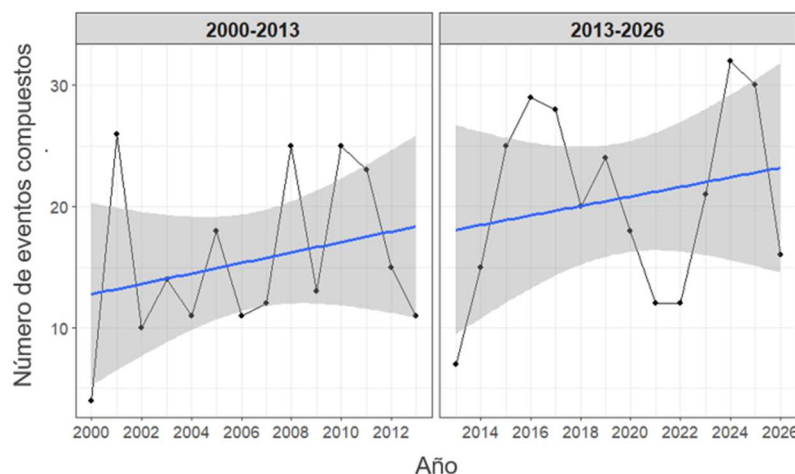


Figura 2: Frecuencia de eventos compuestos en los subperíodos 2000-2013 y 2013-2026, y evolución temporal del número anual de eventos.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el aumento de las temperaturas mínimas nocturnas ha favorecido una mayor ocurrencia de condiciones cálido-húmedas en la Ciudad de Buenos Aires durante el semestre cálido, aun cuando la humedad relativa media presentó una tendencia decreciente. Estos hallazgos evidencian una creciente persistencia de condiciones nocturnas estresantes durante el semestre estival. En este contexto, el análisis conjunto de variables térmicas e higrométricas aporta información relevante para la evaluación de los impactos del cambio climático sobre el confort térmico y la adaptación urbana, destacando la relevancia del estudio de eventos compuestos.

REFERENCIAS

- Camilloni, I.; Barrucand, M. 2011. Temporal variability of the Buenos Aires urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology* 107:47–58.
- Hoffmann, J.A.J.; Medina, L. 1971. Ensayo de una clasificación bioclimática en la República Argentina. *Meteorológica II* (1-2-3): 150-170. Buenos Aires.
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- OECC, 2022. Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo II. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Basado en materiales contenidos en el IPCC AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Qian, C.; Xi, C.; Wang, L.; Guo, L.; Cao, S.-J. 2026. A global perspective on humid heatwave exposure and associated health risks under climate change. *Urban Climate* 58:102881.
- WMO, 2024. State of the global climate, 2023. WMO-No. 1347. ISBN 978-92-63-11347-4

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN EL DESARROLLO DE OÍDIO EN CUCURBITACEAS

Pugliese, G.¹; Aragon, F.¹; Martin, E.²; Gonzalez Antivilo, F.¹; Paz, R.¹

¹CIGEOBIO UNSJ-CONICET, Av. José Ignacio de la Roza Oeste 727, J5402DCH San Juan, Argentina

²Facultad de Agronomía IICAR, CONICET-UNR, C.C. 14, S2125ZAA - Zavalla - Santa Fe – Argentina

*Contacto: gpugliese@unsj-cuim.edu.ar

Palabras clave: *Cucurbita*; *Podosphaera xanthii*; microclima

INTRODUCCIÓN

El Oídio de las cucurbitáceas es una enfermedad de importancia económica que puede causar daños severos tanto en cultivos a campo como en invernadero (Lebeda *et al.*, 2011). Diversas especies de hongos han sido citadas como agentes causales; sin embargo, estudios realizados en la región de Cuyo identifican a *Podosphaera xanthii* como la especie predominante (Soria *et al.*, 2018). Los oídios son enfermedades endémicas presentes en todas las zonas de producción y se consideran patógenos capaces de desarrollarse en un amplio rango de temperatura y humedad (Milod *et al.*, 2021; Itagaki *et al.*, 2013). No obstante, diversos estudios han demostrado que la enfermedad se ve favorecida por temperaturas templadas y elevada humedad relativa (Milod *et al.*; 2021; Itagaki *et al.*, 2013). Estas condiciones suelen generarse por las características del cultivo, debido al riego y a la presencia de hojas grandes dispuestas horizontalmente, que favorecen un microclima adecuado para el desarrollo del patógeno. Sin embargo, la severidad de la enfermedad suele variar entre temporadas, lo que sugiere una influencia relevante de las condiciones meteorológicas sobre su progreso.

En este trabajo se analizaron tres temporadas de cultivo con el objetivo de evaluar la relación entre variables meteorológicas y el desarrollo del oídio en cucurbitáceas. Este estudio resulta relevante debido a la escasez de antecedentes que relacionen variables microclimáticas con el desarrollo del Oídio en cultivos de zapallo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante tres temporadas consecutivas 2020-2021; 2021-2022 y 2022-2023 se realizaron ensayos a campo en cultivos de Cucurbita. El monitoreo meteorológico se efectuó mediante una estación digital Daza D1081, instalada en el centro de la parcela a 50 cm sobre el nivel del suelo, con el fin de registrar las condiciones microclimáticas a nivel de la canopia. La estación registró las variables meteorológicas con una frecuencia de 30 minutos. El registro se inició cuando el cultivo alcanzó una cobertura cercana al total del terreno, etapa coincidente con el período previo a la aparición de los primeros síntomas de oídio, y continuó hasta la última evaluación de la enfermedad.

Los muestreos se realizaron a partir de la detección de los primeros síntomas y signos de la enfermedad. En cada evaluación, efectuada cada 10 a 15 días, se recolectaron hojas de posición comparable dentro de la planta. Las muestras fueron conservadas en bolsas con una fuente de humedad para evitar su deterioro y posteriormente escaneadas mediante un escáner de pie Joyusing 14MP HD A3. La severidad se estimó con el software Image Pro Plus versión 4.5 y se expresó como el porcentaje de superficie foliar afectada respecto de la superficie total de la hoja. Se calculándose coeficientes de correlación de Pearson entre precipitación acumulada y severidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la precipitación acumulada en 24 horas y el índice de severidad promedio de oídio para las temporadas 2020-2021, 2021-2022 y 2022-2023. En términos generales, la temporada con mayor acumulación de precipitaciones presentó también los niveles más elevados de severidad.

Aunque la presencia de agua libre puede afectar la germinación de los conidios, los resultados sugieren que las precipitaciones podrían favorecer indirectamente el desarrollo de la enfermedad, ya sea mediante el aumento de la humedad relativa (90 % óptimo para germinación de conidios), la presión de vapor de agua (debe ser baja según temperatura) o la moderación de la temperatura hacia rangos más favorables para el patógeno (25 °C óptimo crecimiento de tubo germinativo). La mayor severidad observada en las temporadas más lluviosas probablemente responda a la interacción entre múltiples factores ambientales y el sistema hospedero-patógeno. Los coeficientes de correlación de Pearson no evidenciaron una relación directa y consistente entre precipitación y severidad. Esto podría deberse a que las precipitaciones corresponden a eventos puntuales, mientras que el progreso de la enfermedad refleja procesos acumulativos a lo largo de la temporada. En este sentido, las variables de temperatura y humedad relativa complementan la interpretación del efecto ambiental sobre el desarrollo del oídio.

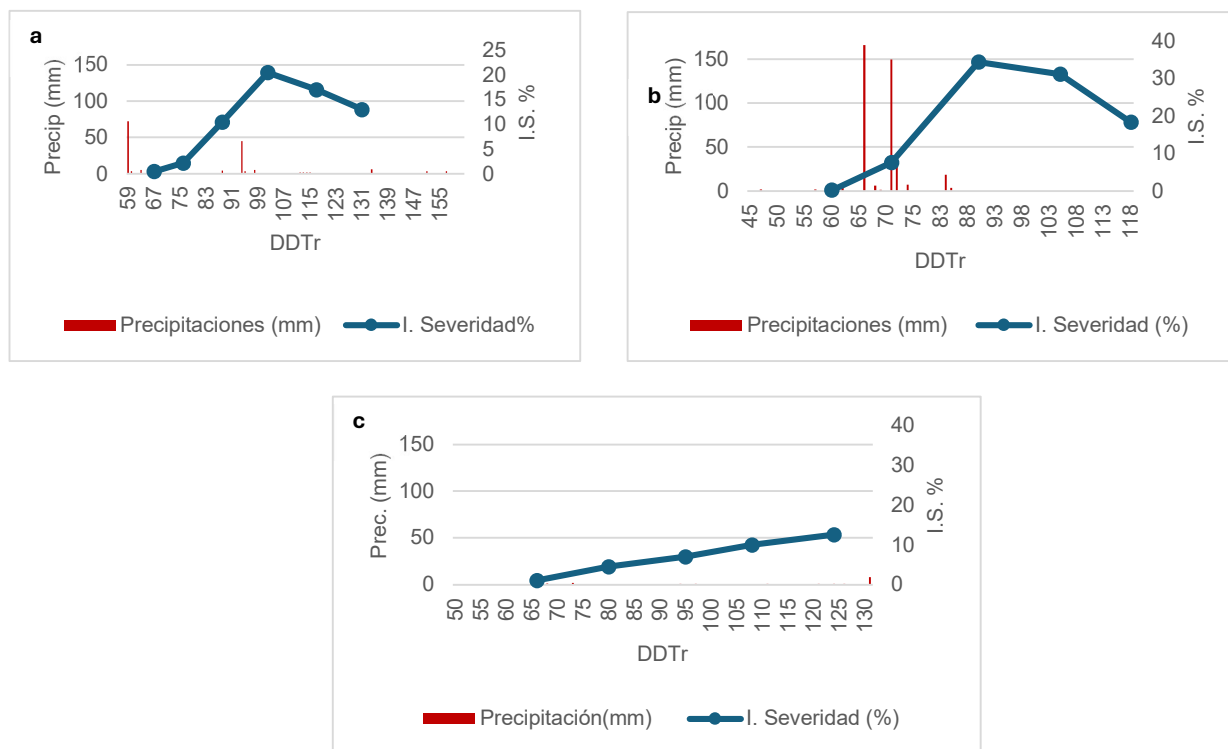


Figura 1. Precipitación acumulada en 24 horas e Índice de severidad promedio registradas en los respectivos Días Después de Trasplante (DDTr) para la temporada: **a.** 2020-2021, **b.** 2021-2022 y **c.** 2022-2023.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran tendencias que sugieren una contribución de las condiciones meteorológicas al aumento de la severidad del oídio. En particular, las precipitaciones se asociaron con mayores niveles de enfermedad en las temporadas más lluviosas, posiblemente por su efecto sobre la humedad relativa, la presión de vapor de agua y la temperatura dentro del cultivo. Si bien se trata de un estudio observacional, estos resultados aportan evidencia preliminar sobre la importancia del ambiente en el desarrollo del oídio en cucurbitáceas y destacan la necesidad de profundizar el análisis de variables microclimáticas para comprender mejor la dinámica de la enfermedad.

AGRADECIMIENTO

A Franco Pugliese por prestar la parcela donde se realizaron los ensayos y a la Dra. Magali Giménez y el equipo del Laboratorio Oafa UNSJ que colaboro permanentemente.

REFERENCIAS

- Itagaki, K.; Shibuya, T.; Tojo, M.; Endo, R.; Kitaya, Y. 2013. Atmospheric moisture influences on conidia development in *Podosphaera xanthii* through host-plant morphological responses. *European Journal of Plant Pathology* 138:113–121.
- Lebeda, A.; Kristkova, E.; Sedlakova, B.; Coffey, M.; McCreight J. 2011. Gaps and perspectives of pathotype and race determination in *Golovinomyces cichoracearum* and *Podosphaera xanthii*. *Mycoscience* 52:159–164.
- Milod, N.; Saad, G.; Khalifa, H. 2021. Effect of temperature and relative humidity on conidial germination of the causal agent of cucumber powdery mildew. *Journal of International Medical Research & Health Sciences* 1(2):15-25.
- Soria, F.; Nally, M.; Paz, R. 2018. Identificación morfológica y molecular de aislamientos del agente etiológico del oídio del zapallo (*Cucurbita moschata*) en la provincia de San Juan. En: 40° Congreso Argentino de Horticultura, 2018, Córdoba, Argentina.

PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO ARMIDA PARA SIMULAR EL CRECIMIENTO POTENCIAL DE *Arundo donax* L.

Rodriguez*, L.D.^{1,2}; Lázaro, L.²; Hernandez, G.¹; Ressia, J.²; Lyra, G.B.³; Rodrigues Pereira, C.⁴

¹ NAACCE: Núcleo de Estudios en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático. FAA - UNCPBA. Azul (7300) BA, Argentina

² CIISAS: Centro de Investigaciones Integradas sobre Sistemas Agronómicos Sustentables, FAA – UNCPBA

³ Departamento de Ciências Ambientais (DCA), Instituto de Florestas (IF), UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil

⁴ Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, UFF, Niterói, RJ, Brasil

*Contacto: lrodriguez@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras claves: biomasa aérea; eficiencia en el uso de la radiación; cultivos energéticos

INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de sustituir combustibles fósiles por fuentes renovables de energía ha incrementado el interés por los cultivos lignocelulósicos perennes destinados a la producción de biomasa. Entre ellos, *Arundo donax* L. (AD) se destaca por su elevada productividad, capacidad de adaptación a distintos ambientes y persistencia productiva durante más de una década, características que lo posicionan como una alternativa promisoría para la generación de bioenergía y bioproductos (Cosentino *et al.*, 2016; Cano-Ruiz *et al.*, 2020). Bajo condiciones óptimas de cultivo, la especie puede alcanzar rendimientos superiores a 40 t ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca, comparables a los de otros cultivos energéticos de importancia internacional. Los modelos de simulación constituyen herramientas fundamentales para analizar el crecimiento de los cultivos, evaluar estrategias de manejo y estimar la producción bajo diferentes condiciones ambientales (Jones *et al.*, 2003). El modelo ARMIDA (*Arundo and Miscanthus Development and Assimilation*), desarrollado por Volta *et al.* (2016) específicamente para AD y *Miscanthus*, simula la acumulación de biomasa a partir de la radiación interceptada y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR). El objetivo de este trabajo fue parametrizar y calibrar el modelo ARMIDA utilizando información experimental local, con el fin de evaluar su capacidad para reproducir el crecimiento y la producción potencial de biomasa de AD (sin limitaciones hídricas ni nutricionales y sin restricciones por factores bióticos o abióticos) en la región centro de la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó entre 2019 y 2024 en la Chacra Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (FAA-UNCPBA), ubicada en Azul, Buenos Aires, Argentina (36°49'47,5" S; 59°53'13,9" O; 137 m.s.n.m.), sobre un suelo Argiudol típico. El cultivo fue conducido bajo condiciones potenciales de crecimiento, sin limitaciones hídricas ni nutricionales, mediante riego por goteo y fertilización mineral. La humedad del suelo se mantuvo próxima a la capacidad de campo mediante riego suplementario ajustado según la evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada por el método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Asimismo, se aplicaron anualmente 110 kg ha⁻¹ de N (urea) y 20 kg ha⁻¹ de P (fosfato diamónico). Para la simulación se utilizaron datos meteorológicos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y radiación solar global registrados por la estación meteorológica automática del Centro Regional de Agrometeorología (CRAGM) durante el quinto ciclo de crecimiento (2023/2024), junto con información ecofisiológica y productiva obtenida durante el mismo período. La parametrización y calibración se realizaron principalmente utilizando la información correspondiente al quinto ciclo, mientras que los ciclos previos se emplearon como referencia complementaria para verificar la consistencia de los parámetros obtenidos. El quinto ciclo fue seleccionado por representar un cultivo completamente establecido y en una fase productiva estable. Se ajustaron parámetros fenológicos, estructurales y fisiológicos relacionados con la dinámica foliar, el índice de área foliar (IAF), el coeficiente de extinción lumínica (k), EUR, la partición de biomasa, la senescencia foliar y la acumulación térmica. La EUR se calibró mediante dos coeficientes diferenciados para representar su variación estacional (Rodriguez *et al.*, 2024). Para ello, el ciclo se dividió en una fase inicial de crecimiento (0-95 DDE) y una fase posterior correspondiente al período estival-otoñal (95-217 DDE), ajustándose un valor de EUR para cada una de ellas. El desempeño del modelo se evaluó mediante la comparación entre valores observados y simulados de IAF, biomasa aérea (BA), biomasa de tallos (Bta) y biomasa foliar (Bfo), utilizando la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), el coeficiente de determinación (R²) y el índice de concordancia de Willmott (d).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo calibrado reprodujo satisfactoriamente la duración del quinto ciclo (212 vs 217 días), en concordancia con los requerimientos térmicos observados (1276 °C d). La evolución del IAF presentó un ajuste satisfactorio (RMSE = 1,22 m² m⁻²; MAE = 0,94 m² m⁻²; R² = 0,82; d = 0,93), aunque se registraron sobreestimaciones durante la fase de expansión del dosel y subestimaciones hacia el final del ciclo (Figura 1). El RMSE representó el 17,5 % del IAF máximo medido, valor considerado bueno para modelos de cultivos (Chisanga *et al.*, 2021). Durante los primeros 40 DDE, las simulaciones

reprodujeron el incremento observado; sin embargo, entre los 40 y 90 DDE sobreestimó el IAF máximo (IAF simulado = 7,39; observado = 6,63). Estas diferencias podrían atribuirse a las heladas tardías ocurridas al inicio del ciclo, las cuales afectaron tanto a los primeros brotes emergidos como a hojas que ya habían acumulado la suma térmica necesaria para su expansión. Como consecuencia, el cultivo requirió una nueva acumulación térmica para restablecer el crecimiento, retrasando el desarrollo del dosel respecto de lo previsto por el modelo. Adicionalmente, parte de la discrepancia podría estar asociada a la simplificación de algunos procesos estructurales del dosel, particularmente al empleo de un valor constante de área foliar específica (AFE; $8,0 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$). A pesar de estas diferencias, el modelo reprodujo de manera consistente la intercepción de radiación fotosintéticamente activa, ya que la radiación interceptada acumulada simulada fue similar a la estimada experimentalmente ($1682,5$ vs. 1639 MJ m^{-2}). En este sentido, la calibración del coeficiente de extinción lumínica ($k = 0,40$) resultó clave para representar el cierre del dosel y la captura de radiación.

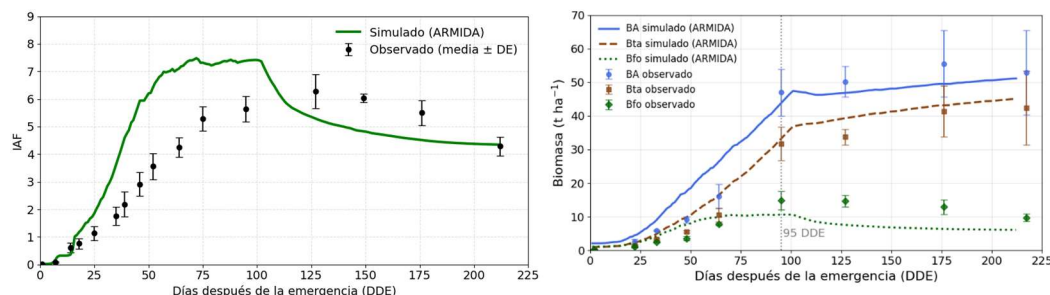


Figura 1. Evolución del índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) (izquierda) y de la biomasa aérea (BA), de tallos (Bta) y foliar (Bfo) (t ha^{-1}) (derecha) en función de los días después de la emergencia (DDE) de *Arundo donax* L. creciendo bajo condiciones potenciales. Las líneas muestran los valores simulados por el modelo ARMIDA calibrado, mientras que los símbolos con barras de error representan la media $\pm$ desvío estándar de las mediciones realizadas durante el quinto ciclo.

La BA fue simulada con alta precisión ($\text{RMSE} = 5,18 \text{ t ha}^{-1}$; $d = 0,986$; $R^2 = 0,974$; $\% \text{RMSE} = 10 \%$), mientras que la Bta mostró un desempeño excelente ($R^2 = 0,986$). Estos resultados evidencian que la parametrización de la partición de biomasa y de la EUR permitió representar satisfactoriamente la acumulación de materia seca. Asimismo, la calibración diferencial de la EUR ($6,08 \text{ g MJ}^{-1}$ y $1,33 \text{ g MJ}^{-1}$) permitió reproducir la disminución estacional de la tasa de crecimiento observada en campo. En contraste, la Bfo presentó un ajuste inferior ($\text{RMSE} = 4,58 \text{ t ha}^{-1}$; $\text{MAE} = 3,64 \text{ t ha}^{-1}$; $d = 0,721$; $R^2 = 0,426$), aunque los errores relativos se mantuvieron dentro de rangos aceptables (Chisanga *et al.*, 2021). Las discrepancias observadas podrían explicarse porque las determinaciones experimentales incluyeron tejido senescente, mientras que el modelo considera únicamente Bfo verde. Además, la utilización de un valor constante de AFE podría haber contribuido a incrementar los errores de simulación. No obstante, el modelo reprodujo la tendencia general de acumulación y senescencia foliar durante el ciclo.

CONCLUSIONES

El modelo ARMIDA reprodujo satisfactoriamente la intercepción de radiación y la acumulación de biomasa aérea de AD bajo condiciones potenciales. Los mejores ajustes se obtuvieron para biomasa aérea total y biomasa de tallos, mientras que las mayores incertidumbres se asociaron a la dinámica foliar. Los resultados sugieren que ARMIDA constituye una herramienta promisorio para simular el crecimiento de AD en la región, aunque su desempeño deberá evaluarse incorporando información de diferentes ciclos productivos.

REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 300 p.
- Cano Ruiz, J.; Sanz, M.; Curt, M.D.; Plaza, A.; Lobo, M.C.; Mauri, P.V. 2020. Fertigation of *Arundo donax* L. with different nitrogen rates for biomass production. Biomass and Bioenergy 133:1-11.
- Chisanga, C.B.; Phiri, E.; Chinene, V.R.N. 2021. Evaluating APSIM- and DSSAT-CERES-Maize models under rainfed conditions using Zambian rainfed maize cultivars. Nitrogen 2(4):392-414.
- Cosentino, L.; Patané C.; Sanzone, E.; Testa, G.; Scordia, D. 2016. Leaf gas exchange, water status and radiation use efficiency of giant reed (*Arundo donax* L.) in a changing soil nitrogen fertilization and soil water availability in a semi-arid Mediterranean area. European Journal of Agronomy 72:56-69.
- Jones, J.W.; Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; Boote, K.J.; Batchelor, W.D.; Hunt, L.A.; Wilkens, P.W.; Singh, U.; Gijsman, A.J.; Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy 18:235-265.
- Rodríguez, L.D.; Confalone, A.E.; Lázaro, L.; Machado Pimentel, R.; Bastos Lyra, G.; De Oliveira, J.F.; Singh, S.K.; Rodríguez Pereira, C. 2024. Growth of the energy crop giant reed (*Arundo donax* L.) and optimization of the ARMIDA model in the south-central region of Buenos Aires, Argentina, Industrial Crops and Products 211: 118190.
- Volta, A.; Di Nasso, N.; Ragagnoli, G.; Bonari, E. 2016. A model for the simulation of *Arundo donax* L. growth and biomass production (ARMIDA). Industrial Crops and Products 81:104-113.

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA DE *Arundo donax* L. DURANTE CUATRO AÑOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO EN AZUL, BUENOS AIRES

Rodríguez*, D.^{1,2}; Lázaro, L.²; Ressa, J.²; Laddaga, J.^{1,3}; Grosso, J.²; Bongiorno, C.²

¹ NAACCE: Núcleo de Estudios en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático. FAA - UNCPBA. Azul (7300) BA, Argentina

² CIISAS: Centro de Investigaciones Integradas sobre Sistemas Agronómicos Sustentables, FAA – UNCPBA, ³ Centro regional de Agrometeorología, FAA – UNCPBA

*Contacto: lrodriguez@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras claves: biomasa aérea; cultivo energético; región pampeana

INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de sustituir combustibles fósiles por fuentes renovables de energía ha incrementado el interés por los cultivos lignocelulósicos perennes destinados a la producción de biomasa. Entre ellos, *Arundo donax* L. (AD) se destaca por su elevada productividad, capacidad de adaptación a distintos ambientes y persistencia productiva durante más de una década, características que lo posicionan como una alternativa promisorio para la generación de bioenergía y bioproductos (Cosentino *et al.*, 2016; Angelini *et al.*, 2009; Cano-Ruiz *et al.*, 2020). Bajo condiciones óptimas de cultivo, la especie puede alcanzar en climas mediterráneos del sur de Europa rendimientos superiores a 40 t ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca, comparables a los de otros cultivos energéticos de importancia internacional. A pesar de su amplio estudio en Europa y otras regiones del hemisferio norte, la información disponible sobre el potencial productivo de AD en Argentina es aún limitada. En particular, existe escaso conocimiento acerca de su crecimiento y producción de biomasa bajo las condiciones edafoclimáticas de la región pampeana, así como de la respuesta del cultivo a diferentes niveles de disponibilidad hídrica y nutricional. Esta información resulta fundamental para evaluar su potencial como cultivo bioenergético y para desarrollar estrategias de manejo adaptadas a las condiciones locales. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa aérea de un cultivo de AD implantado en 2019 en Azul (Buenos Aires, Argentina), comparando condiciones potenciales de crecimiento (riego y fertilización) con condiciones reales de cultivo (sin riego ni fertilización) durante 4 ciclos de cultivo, particularmente del segundo al quinto año, una vez superada la etapa de implantación (primer ciclo).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó entre 2019 y 2024 en la Chacra Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (FAA-UNCPBA), ubicada en Azul, Buenos Aires, Argentina (36°49'47.5" S; 59°53'13.9" O; 137 m.s.n.m.), sobre un suelo Argiudol típico. El diseño experimental fue de parcelas subdivididas con tres bloques completos al azar. Los tratamientos principales fueron: i) condición potencial (T1), con riego por goteo y fertilización mineral; y ii) condición real (T2), sin riego ni fertilización (Rodríguez *et al.*, 2024). Como subtratamientos se evaluaron métodos de propagación: rizomas (R) y plantines micropropagados (P) y dos densidades para rizomas (1 y 2 plantas m⁻²) y una densidad para plantines (1 planta m⁻²), generando seis combinaciones: T1R1, T1R2, T1P1, T2R1, T2R2 y T2P1. En T1, la humedad del suelo se mantuvo próxima a la capacidad de campo mediante riego suplementario ajustado según la evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada por Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Adicionalmente, se aplicaron anualmente 110 kg ha⁻¹ de N y 20 kg ha⁻¹ de P. El tratamiento T2 permaneció bajo condiciones de secano y sin fertilización. La biomasa aérea (BA) final se determinó anualmente durante la fase de latencia invernal mediante cosechas realizadas sobre una superficie de 4 m² por subparcela. Se analizaron 4 campañas sucesivas, (período 2020 - 2024). El material cosechado fue secado hasta peso constante para determinar biomasa seca. Los datos fueron analizados mediante un modelo lineal mixto, considerando el subtratamiento como efecto fijo y el año como efecto aleatorio: [BA = Subtratamiento + (1/Año)]. Las comparaciones múltiples se realizaron mediante la prueba de Tukey (p < 0,05). La contribución del año a la variabilidad total fue evaluada mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuatro ciclos evaluados, comprendidos entre octubre y junio de cada año (desde la brotación hasta la cosecha), presentaron condiciones meteorológicas representativas de la región, con una radiación solar global media entre 17,7 y 18,7 MJ m⁻² d⁻¹, temperaturas medias entre 15,0 y 16,5 °C y precipitaciones acumuladas entre 569,8 y 1070,8 mm. Se registraron marcados contrastes hídricos entre ciclos (P-ET_o), desde déficits severos durante 2022/2023; hasta balances hídricos positivos en 2023/2024 (quinto ciclo). La biomasa aérea final presentó diferencias significativas entre tratamientos (T1 y T2; p<0,001), mientras que no se detectaron diferencias entre métodos de propagación, ni densidades dentro de cada condición de manejo (p>0,05). Los subtratamientos bajo condiciones potenciales (T1) alcanzaron valores medios cercanos a 43 t ha⁻¹ de materia seca, mientras que en T2 los rendimientos promediaron 23,5 t ha⁻¹. En promedio, en condiciones reales la producción de biomasa fue aproximadamente un 45 % inferior respecto de las condiciones potenciales. El año explicó el 57

% de la variación total observada, reflejando una marcada variabilidad interanual; sin embargo, T1 mantuvo su superioridad productiva en los cuatro ciclos evaluados (Figura 1).

Los rendimientos obtenidos en T1 fueron comparables a los reportados para ambientes mediterráneos de Europa bajo condiciones no limitantes ($35 - 42 \text{ t ha}^{-1}$) e incluso próximos a los máximos informados para la especie (Angelini *et al.*, 2009; Cosentino *et al.*, 2016; Cano-Ruiz *et al.*, 2020). Por el contrario, los valores registrados en T2 coincidieron con los reportados para sistemas de secano o ambientes restrictivos ($20 - 25 \text{ t ha}^{-1}$), donde la disponibilidad hídrica constituye el principal factor limitante del crecimiento (Fagnano *et al.*, 2015; Impagliazzo *et al.*, 2017). Estos resultados confirman la amplia capacidad de adaptación de AD, aunque la expresión de su potencial productivo depende fuertemente de la disponibilidad de recursos, particularmente agua y nutrientes.

CONCLUSIONES

La producción de biomasa de AD estuvo condicionada principalmente por la disponibilidad de agua y nutrientes.

Asimismo, la estabilidad de los rendimientos en condiciones potenciales observada entre años indica que las condiciones de manejo ejercen una influencia más importante sobre la productividad que las diferencias asociadas al tipo de propágulo o a la densidad de plantación, una vez establecido el cultivo. En conjunto, estos hallazgos indican el potencial de AD como cultivo bioenergético perenne para la región pampeana y aportan información relevante para la toma de decisiones de manejo orientadas a maximizar la producción de biomasa en función de la disponibilidad de recursos en el centro de la provincia de Buenos Aires.

AGRADECIMENTOS

Este trabajo forma parte de la tesis doctoral del primer autor, desarrollada en el marco del Doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Los autores agradecen a la FAA-UNCPBA, así como a los docentes-investigadores participantes del proyecto, por el apoyo brindado durante la ejecución de las actividades experimentales.

REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 300 p.
- Angelini, L.G.; Ceccarini, L.; Di Nasso, N.; Bonari, E. 2009. Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus × giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy* 33(4):635–643.
- Cano Ruiz, J.; Sanz, M.; Curt, M.D.; Plaza, A.; Lobo, M.C.; Mauri, P.V. 2020. Fertigation of *Arundo donax* L. with different nitrogen rates for biomass production. *Biomass and Bioenergy* 133:1–11.
- Cosentino, L.; Patané, C.; Sanzone, E.; Testa, G.; Scordia, D. 2016. Leaf gas exchange, water status and radiation use efficiency of giant reed (*Arundo donax* L.) in a changing soil nitrogen fertilization and soil water availability in a semi-arid Mediterranean area. *European Journal of Agronomy* 72:56–69.
- Fagnano, M.; Impagliazzo, A.; Mori, M.; Fiorentino, N. 2015. Agronomic and environmental impacts of giant reed. *Bioenergy Research* 8: 415–422.
- Impagliazzo, A.; Mori, M.; Fiorentino, N.; Di Mola, I.; Ottiano, L.; De Gianni, D.; Nocerino, S.; Fagnano, M. 2017. Crop growth analysis and yield of *Arundo donax* L. *Italian Journal of Agronomy* 12(1). <https://doi.org/10.4081/ija.2016.755>
- Rodriguez, L.D.; Confalone, A.E.; Lázaro, L.; Machado Pimentel, R.; Bastos Lyra, G.; De Oliveira, J.F.; Singh, S.K.; Rodrigues Pereira, C. 2024. Growth of the energy crop giant reed (*Arundo donax* L.) and optimization of the ARMIDA model in the south-central region of Buenos Aires, Argentina, *Industrial Crops and Products* 211:118190.

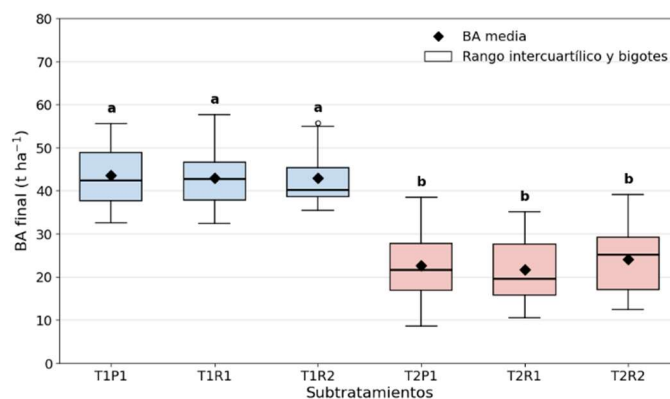


Figura 1. Biomasa aérea (BA) final (t ha^{-1}) correspondiente a los seis substratamientos evaluados durante cuatro ciclos (cosechas: 2021 - 2024). Las cajas representan el rango intercuartílico (Q1 - Q3), los bigotes el rango total y los rombos la media. Letras distintas indican diferencias significativas entre substratamientos ($p \leq 0,05$), según comparaciones múltiples ajustadas de un modelo lineal mixto.

INFLUENCIA DEL GRADIENTE ALTITUDINAL SOBRE LA APTITUD AGROCLIMÁTICA DEL CHAYOTE EN PARAÍSO, COSTA RICA

Rosales Flores*, S.J.¹; Segura Badilla, D.¹

¹ Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional, Avenida 1, Calle 9, Campus Omar Dengo, Heredia, 86-3000, Costa Rica

*Contacto: santos.rosales.flores@una.cr

Palabras clave: *Sechium edule*; idoneidad climática; planificación agrícola

INTRODUCCIÓN

El cultivo de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw., Cucurbitaceae) constituye una de las principales actividades hortícolas de Paraíso de Cartago, donde la temperatura y la precipitación condicionan su crecimiento, desarrollo y productividad. Según Esquivel *et al.* (2015) y Cadena-Iñiguez *et al.* (2024), para este cultivo se recomiendan altitudes aproximadas entre 1.000 y 1.200 m s.n.m., temperaturas de 15 a 21 °C, precipitación anual de 1700 a 2000 mm, disponibilidad de agua para riego, suelos arcillo-arenosos con buen drenaje, de fertilidad moderada a alta, alto contenido de materia orgánica y topografía plana a ligeramente ondulada, protegida de vientos fuertes.

La marcada variación altitudinal del territorio genera diferencias microclimáticas que pueden modificar la aptitud agroclimática del cultivo. Sin embargo, la influencia del gradiente altitudinal sobre estas condiciones ha sido poco documentada. El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del gradiente altitudinal sobre la aptitud agroclimática del cultivo de chayote mediante la caracterización de tres pisos altitudinales en Paraíso de Cartago, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en Paraíso de Cartago, en un área de 50,72 km². El área de estudio se ubica entre las coordenadas 9.7814° y 9.9016° N de latitud, y 83.9567° y 83.8452° O de longitud. Se analizaron los productos CHIRPS Daily y ERA5-Land Daily Aggregated para el período 1990–2025, utilizando promedios climáticos procesados mediante Google Earth Engine y RStudio. Los pisos altitudinales se delimitaron a partir de un Modelo Digital de Elevación SRTM (30 m), considerando la distribución del relieve y los requerimientos altitudinales del cultivo. Se definieron tres unidades: Piso Bajo (820–1050 m s.n.m.), Piso Medio (1050–1300 m s.n.m.) y Piso Alto (1300–1620 m s.n.m.). Para cada piso se calcularon estadísticas zonales de temperatura media anual y precipitación anual. La aptitud agroclimática se interpretó mediante la comparación de las condiciones climáticas observadas con los requerimientos y tolerancias del cultivo reportados por Esquivel *et al.* (2015). La comparación entre pisos altitudinales se realizó mediante un análisis descriptivo de los valores promedio de cada variable climática, evaluando su concordancia con los requerimientos climáticos reportados para el cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media anual disminuyó progresivamente con la altitud, evidenciando un gradiente térmico cercano a 0,9 °C entre los pisos Bajo y Alto. Los valores oscilaron entre 19,5 °C en el Piso Bajo y 18,6 °C en el Piso Alto. Estos valores se encuentran dentro del rango recomendado para el establecimiento de parcelas de producción de chayote (15–21 °C), reportado por Esquivel *et al.* (2015). En consecuencia, las temperaturas medias anuales de los tres pisos se ubicaron dentro del rango climático recomendado para el cultivo.

La precipitación anual promedio se ubicó dentro o muy cerca del rango recomendado para el cultivo de chayote. El Piso Bajo presentó aproximadamente 2005 mm anuales; el Piso Medio, 2025 mm y el Piso Alto, 1876 mm. La guía técnica para el cultivo recomienda una precipitación anual de 1700 a 2000 mm, con disponibilidad de riego (Esquivel *et al.*, 2015). En consecuencia, los tres pisos se ubicaron dentro o muy cerca del rango técnico recomendado. La precipitación anual mostró diferencias entre los pisos altitudinales evaluados. El Piso Medio se ubicó ligeramente por encima del límite superior recomendado, lo cual no descarta su aptitud para el cultivo, pero exige mayor atención al manejo del drenaje. En suelos con buena estructura, pendiente moderada y adecuado contenido de materia orgánica, una precipitación cercana a 2000 mm puede mantenerse dentro de condiciones compatibles con el cultivo; en contraste, en suelos compactados o mal drenados, el exceso de humedad puede favorecer problemas radicales y enfermedades foliares (Esquivel *et al.*, 2015; Ruiz-García *et al.*, 2025). El Piso Alto se mantuvo dentro del rango técnico recomendado, aunque su mayor altitud y menor temperatura media podrían limitar el desarrollo del cultivo. El Piso Bajo presentó una precipitación cercana al límite superior del rango recomendado; sin embargo, su condición térmica más cálida podría incrementar la demanda hídrica durante años secos. Además de la cantidad anual de lluvia, su distribución temporal constituye un componente agroclimático relevante, ya que la agricultura tropical depende de la regularidad de las precipitaciones: tanto los déficits en etapas reproductivas como los excesos en períodos húmedos pueden afectar el rendimiento, la sanidad vegetal y las labores agrícolas (FAO, 2020; Murphy y Hurtado, 2011).

En conjunto, la comparación entre los tres pisos altitudinales sugiere que el Piso Medio presentó el balance climático más favorable para el cultivo de chayote, al combinar temperaturas dentro del rango recomendado con una precipitación

compatible con los requerimientos del cultivo. En contraste, el Piso Bajo presentó una mayor exposición a incrementos en la demanda hídrica debido a sus temperaturas más elevadas, mientras que el Piso Alto podría enfrentar limitaciones asociadas a sus menores temperaturas.

El análisis de tendencia evidenció un incremento de la temperatura media anual en los tres pisos altitudinales durante el período de estudio. Aunque el Piso Alto presentó temperaturas relativamente menores, el Piso Bajo podría ser el primero en aproximarse al límite térmico superior reportado para el cultivo, debido a su mayor temperatura media. Birkel *et al.* (2022) señalan que el cambio climático puede modificar la distribución de las zonas de vida en Costa Rica, especialmente en regiones montañosas, donde pequeños incrementos térmicos pueden desplazar las condiciones agroecológicas. Estos resultados evidencian que el gradiente altitudinal constituye un criterio útil para orientar la planificación del cultivo y fortalecer estrategias locales de adaptación climática.

CONCLUSIONES

El gradiente altitudinal se asoció con diferencias en las condiciones térmicas de Paraíso de Cartago, con implicaciones agroclimáticas para la producción de chayote. El Piso Medio (1050–1300 m s.n.m.) presentó el balance más favorable entre temperatura y precipitación respecto a los requerimientos climáticos reportados para el cultivo de chayote. La incorporación de criterios altitudinales puede contribuir a orientar la planificación agrícola y apoyar estrategias de adaptación climática en sistemas hortícolas de montaña.

REFERENCIAS

- Esquivel, A.A.; Esquivel, S.A.; Madriz, J. B. 2015. Chayote. Guía técnica para la producción de semilla clonal. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 42 p.
- Birkel, C.; Dehaspe, J.; Chavarría-Palma, A.; Venegas-Cordero, N.; Capell, R.; Durán-Quesada, A. M. 2022. Projected climate change impacts on tropical life zones in Costa Rica. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 46(2):180-200.
- Cadena-Iñiguez, J.; Aguirre-Medina, J.F.; Cadena-Zamudio, D.A.; Ruiz-Posadas, L.D.M.; Cadena-Zamudio, J.D.; Barrera-Guzmán, L.A.; Arévalo-Galarza, M. de L. 2024. Limitations in the growth and development of chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw., due to habitat change. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 52(4):14002-14002.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021. Using climate services in adaptation planning for the agriculture sectors. <https://www.fao.org/in-action/naps/resources/detail/en/c/1368069/>
- Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. 2011. Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 424 p.
- Ruiz-García, V.H.; Ruiz-García, P.; Pérez-Nieto, J.; Monterroso-Rivas, A.I. 2025. Chayote (*Sechium edule* var. *virens levis*) cultivation and environmental factors. *Agro Productividad* 18(9):91–99.

RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARVEJA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL SUDESTE BONAERENSE

Stemphélet, A.¹; Mastronardi, A.¹; Alfonso, C.¹; Candelo, A.¹; Nagore* M.L.¹

¹ FCA, UNMDP Balcarce, Argentina, ² EEA INTA Balcarce, Ruta 226, km 73,5; Balcarce, 7620, Argentina

*Contacto: mnagore@mdp.edu.ar

Palabras clave: nodulación; cobertura; número y peso de granos; eficiencia agronómica del nitrógeno

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una leguminosa proteica que se encuentra dentro de los denominados “cultivos de invierno” y es producido de manera extensiva con destino de grano. El rendimiento en el SE bonaerense promedia los 2502 kg ha⁻¹, siendo un 15 % superior al promedio nacional (MAGyP, 2026), lo cual estaría principalmente asociado a una mayor fijación de vainas asociadas a temperaturas frescas que alargan etapas críticas y a las precipitaciones acordes a la demanda del cultivo (Poggio *et al.*, 2005). En condiciones de secano se han reportado rendimientos de hasta 4700 kg ha⁻¹ en Tandil para variedades invernales (Cabral Farias *et al.*, 2025). La brecha de rendimiento indica que optimizando el manejo del cultivo podemos alcanzar rendimientos mayores que sean de interés para los productores. El cultivo tiene un alto requerimiento de nitrógeno, de 56 kg N t⁻¹. La fijación biológica puede ir desde valores que rondan los 57 hasta 185 kg N ha⁻¹ (Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2010), sin embargo, la fijación puede no ser suficiente para alcanzar altos rendimientos y en algunos trabajos se evidenció un aumento en el rendimiento de arveja cuando se fertilizó con nitrógeno (Deibert y Utter, 2004; Rabbi *et al.*, 2011). El momento y la dosis de fertilización nitrogenada puede afectar la tasa de fijación del nutriente, pudiendo pasar de valores de 84 % a valores de 42 % (Salon *et al.*, 2001). En Argentina existe poca evidencia científica de fertilización nitrogenada en este cultivo y es un posible nicho de investigación para permitir reducir las brechas de rinde. Por lo tanto, en el presente trabajo se compararán diferentes niveles de fertilización nitrogenada en un cultivo de arveja sembrado con semillas inoculadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dos experimentos (Exp.23 y Exp.24) fueron llevados a cabo en el establecimiento “La angelita” (37°58'14.28" S; 59°13'34.84" O), ubicado a 8 km de Juan N. Fernandez (Necochea). La siembra se realizó el 23-07-23 y el 05-07-24, con una sembradora de grano fino, a 20 cm distancia entre líneas y una densidad de 120 pl m⁻², sobre un suelo argiudol típico con más de 100 cm de profundidad. La variedad utilizada fue Avirion, de color verde, la semilla fue inoculada con *Rhizobium leguminosarum* y se fertilizó con 70 kg de DAP ha⁻¹ (18-46-00) a la siembra. Se realizaron tres tratamientos de fertilización nitrogenada con urea (46-00-00): un control sin fertilizar (D0), una dosis de 90 kg urea ha⁻¹ (D90) y una dosis de 180 kg urea ha⁻¹ (D180). Los tratamientos fueron aplicados en franjas en el estado de 107-108 (Knott, 1987). La nodulación se determinó en estado 205 de vaina plana que coincide con la máxima tasa de fijación biológica de N₂, recolectando los nódulos de 5 plantas por parcela y pesando. El rendimiento se obtuvo por la cosecha de plantas del área central de cada parcela. El peso de los granos se determinó por el peso de dos submuestras de 250 granos. El número de granos se estimó mediante de la relación entre el rendimiento y el peso de los granos. La cobertura verde máxima se determinó un mes luego de la fertilización mediante la aplicación móvil que cuantifica la cobertura de vegetación viva Canopeo (Patrignani y Ochsner, 2015). La eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) expresa la respuesta productiva del cultivo por unidad de nitrógeno aplicado (urea+DAP) y se calcula como: $EAN (kg \text{ grano } kg \text{ N}^{-1}) = (\text{rendimiento con N} - \text{rendimiento sin N}) / kg \text{ N aplicado } (N_{90/180} - N_0)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones meteorológicas difirieron marcadamente entre campañas (Tabla 1), con déficits hídricos severos durante la implantación y etapas reproductivas en Exp.24, lo que se tradujo en rendimientos significativamente menores ($p < 0,05$; Tabla 2). La fertilización N incrementó el rendimiento en ambas campañas, observando un mayor rinde en D180 en Exp.23 mientras que en el Exp.24 ambas dosis de fertilización incrementaron el rinde. Este patrón es consistente con el rol del agua como factor colimitante: en ambientes con adecuada disponibilidad hídrica, la planta puede capitalizar mayores aportes de N, mientras que bajo estrés el potencial de respuesta se reduce (Jensen, 1986). Tanto el número como el peso de granos explicaron las caídas del rendimiento en el Exp. 2024, observando una reducción de aproximadamente el 14 % y del 7 % respectivamente, del tratamiento D0 respecto de los tratamientos fertilizados. Estos resultados son consistentes con los reportados por Achakzai (2006). La nodulación fue inhibida por la fertilización en ambas campañas, con mayor intensidad en 2023 y en la dosis más alta (Tabla 2). Este resultado concuerda con los postulados de Voisin *et al.* (2002) y Jensen (1986), quienes demostraron que el N mineral disponible en el suelo inhibe el desarrollo nodular y reduce la fijación biológica, aunque ésta puede ser compensada por la mayor absorción de N mineral cuando la disponibilidad es suficiente. La cobertura

vegetal se incrementó con ambas dosis de fertilización (Tabla 2), reflejando el efecto estimulante del N sobre el crecimiento vegetativo de la arveja (Achakzai, 2007). La EAN fue menor en el Exp.23 ($p<0,05$) y muy baja para D90, pero alta para D180, indicando que la dosis mayor fue necesaria para superar el umbral de respuesta en condiciones de buena disponibilidad hídrica. En cambio, en el Exp.24 la EAN de D90 fue mayor que la de D180, lo que sugiere que bajo estrés hídrico la planta utilizó más eficientemente la dosis menor, mientras que la dosis alta implicó un costo metabólico adicional sin traducirse proporcionalmente en rendimiento. En conjunto, los resultados indican que la disponibilidad hídrica es el principal modulador de la magnitud y la eficiencia de la respuesta a la fertilización nitrogenada en arveja en el SE bonaerense.

Tabla 1. Precipitaciones en el establecimiento; temperatura media diaria, radiación global media diaria (RG) y evapotranspiración potencial (ETP) en Balcarce, para la serie histórica (H) de los últimos 28 años (1998-2026) y para las campañas 2023 y 2024.

Mes	Precipitaciones, mm			Temperatura, C°			RG, MJ m ⁻² día ⁻¹			ETP mm día ⁻¹		
	H	2023	2024	H	2023	2024	H	2023	2024	H	2023	2024
Junio	34,5	15	27	9	9,3	10,5	5,94	5,48	5,63	0,66	0,54	0,61
Julio	43,5	83	0	8,18	8,4	7,5	6,37	7,63	6,33	0,68	0,47	0,67
Agosto	38	34	66	9,6	9,5	9,5	8,84	7,83	8,97	1,21	1,23	1,10
Septiembre	60,5	50	89	11,1	10,6	13,0	12,4	13,75	10,72	1,89	1,84	2,17
Octubre	68,5	50	4	14	14,2	16,4	16,6	17,27	18,70	2,81	3,14	3,16
Noviembre	79,5	77	177	17	17,0	17,8	21	20,59	22,77	4,03	4,26	3,97
Diciembre	65,5	139	73	19,9	19,0	18,1	23,2	21,74	21,57	4,97	4,25	4,24

Tabla 2. Rendimiento, nodulación, cobertura, eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN), número y peso de granos (NG y PG) en dos años, para tres dosis de nitrógeno: testigo (D0), 90 (D90) y 180 (D180) de urea.

Año	Dosis N	Rendimiento, kg ha ⁻¹	Nodulación, mg nódulo pl ⁻¹	Cobertura, %	EAN, kg grano kg N ⁻¹	NG, m ⁻²	PG, mg
2023	D0	3.165 b	160 a	81,5 c			
	D90	3.173 b	78 b	87,1 ab	0,2 b		
	D180	4.059 a	80 b	89,2 a	10,9 a		
2024	D0	1.736 d	26 c			980 bc	177 bc
	D90	2.204 c	20 c		11,4 a	1.160 a	190 ab
	D180	2.138 cd	8 c		4,9 ab	1120 ab	191 a

Letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas al $p<0,05$ según test LSD)

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada incrementó el rendimiento de arveja en ambas campañas, con magnitud dependiente del ambiente hídrico. En el año húmedo, D180 maximizó el rendimiento y la EAN; en el año seco, D90 fue suficiente y más eficiente. En todos los casos la fertilización redujo la nodulación, aunque sin comprometer la nutrición nitrogenada total. El número y el peso de granos fueron los componentes más sensibles a la ausencia de N bajo estrés. Una dosis moderada de urea (≤ 90 kg ha⁻¹) representa una práctica promisoría para el cultivo de arveja en el SE bonaerense.

REFERENCIAS

- Achakzai, A. 2007. Effect of various levels of nitrogen fertilizer on nodulation of pea cultivars. *Pakistan Journal of Botany* 39:673–1680.
- Cabral Farias, C.A.; Martínez, G.; Lipka, G.; Moreno, F.; Besteiro, I.; Prieto, G.; Lopez de Sabando, M.; Lázaro, L. 2025. Red de ensayos comparativos de cultivares de arveja: resultados campaña 2025, sitio INTA Tandil, Buenos Aires, Argentina.
- Deibert, E.J.; Utter, R.A. 2004. Field pea growth and nutrient uptake: response to tillage systems and nitrogen fertilizer applications. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35(7-8):1141–1165.
- Hauggaard-Nielsen, H.; Holdensen, L.; Wulfsohn, D.; Jensen, E.S. 2010. Spatial variation of N₂-fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the ¹⁵N natural abundance method. *Plant and Soil* 330:495–507.
- Jensen, E.S. 1986. The influence of rate and time of nitrate supply on nitrogen fixation and yield in pea (*Pisum sativum* L.). *Fertilizer Research* 10:193–202.
- Knott, C.M. 1987. A key for stages of development of the pea (*Pisum sativum*). *Annals of Applied Biology* 111(1):233–245.
- Patrignani, A.; Ochsner, T.E. 2015. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal* 107(6):2312–2320.
- Poggio, S.L.; Satorre, E.H.; Dethiou, S.; Gonzalo, G.M. 2005. Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (*Pisum sativum*) crops. *European Journal of Agronomy* 22(3):339–349.
- Rabbi, S.M.H.A.; Mahbub, N.M.; Hossain, M.A.; Alam, M.S. 2011. Effect of nitrogen and phosphorus on the growth and yield of field pea (*Pisum sativum* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 36(3):459–467.
- Salon, C.; Munier-Jolain, N.G.; Duc, G.; Voisin, A.S.; Grandgirard, D.; Larmure, A.; Emery, R.J.N.; Ney, B. 2001. Grain legume seed filling in relation to nitrogen acquisition: a review and prospects with particular reference to pea. *Agr* 21(6-7):539–552.
- Voisin, A.S.; Salon, C.; Munier-Jolain, N.G.; Ney, B. 2002. Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil* 242:251–262.

RESPUESTA FUNCIONAL DE VACAS HOLSTEIN A UNA OLA DE CALOR

Toffoli*, G.D.¹; Gariglio, L.¹; Leva, P.¹; Acetta, P.¹; Ribero, G.G.¹; Stegmayer, I.²; Strappini, A.C.³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, R.P. Kreder 2805, Esperanza, 3080, Argentina

² Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Litoral, R.P. Kreder 2805-Esperanza, 3080, Argentina

³ Wageningen Livestock Research, Animal Health and Welfare Department, Wageningen, Países Bajos

*Contacto: gtoffoli@fca.unl.edu.ar

Palabras clave: Índice de temperatura y humedad; umbrales térmicos; producción de leche

INTRODUCCIÓN

El estrés por calor es un desafío crítico para la producción lechera, especialmente en vacas Holstein debido a su alto metabolismo y nivel productivo (Bernabucci *et al.*, 2010). Esta susceptibilidad depende de factores individuales como el número de lactancia y los días en leche (DEL), que modifican la carga térmica metabólica y la capacidad de homeostasis (Dikmen *et al.*, 2012; Collier *et al.*, 2017).

El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) es ampliamente utilizado para evaluar el grado de estrés calórico en bovinos, dado que integra variables ambientales clave. Valores elevados de ITH se asocian con disminuciones en el consumo de materia seca, el tiempo de rumia y la producción de leche, además de incrementar el riesgo de desórdenes metabólicos (Wheelock *et al.*, 2010; Gaughan *et al.*, 2012; Baumgard y Rhoads, 2013). Durante eventos extremos, como las olas de calor, estos efectos pueden intensificarse, comprometiendo el bienestar animal y la eficiencia productiva (Polsky y von Keyserlingk, 2017).

Dado que las respuestas fisiológicas y comportamentales al estrés por calor pueden presentar patrones no lineales, el uso de modelos flexibles como los modelos aditivos generalizados (GAM) permite describir con mayor precisión dichas relaciones. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la dinámica del estrés calórico durante una ola de calor y evaluar su impacto sobre la producción de leche, el tiempo de rumia y el tiempo de alimentación en vacas Holstein identificando posibles umbrales críticos de respuesta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el tambo robotizado de la EEA INTA Rafaela, Santa Fe, durante el verano 2024-2025. Se utilizaron registros diarios de 37 vacas Holstein monitoreadas mediante collares SenseHub® (SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel). Para cada animal se registró el tiempo de rumia, tiempo de alimentación, producción diaria de leche, identificación individual, número de lactancia y días en leche (DEL). Las vacas se clasificaron según DEL en inicio (<60 días), lactancia media (60-149 días) y lactancia tardía (≥150 días), y según número de lactancia en primera, segunda, tercera y cuarta o más lactancias. A partir de los registros meteorológicos de temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) de la EEA INTA Rafaela se calculó el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) según la fórmula (1):

$$ITH = (1,8 \times T) + 32 - (0,55 - 0,0055 \times HR) \times [(1,8 \times T) + 32 - 58] \quad (1)$$

Se consideró como umbral de estrés calórico un ITH ≥68 para vacas Holstein. La ola de calor (OC) se definió como un período de al menos tres días consecutivos con ITH ≥68 durante 14 o más horas diarias (Valtorta *et al.*, 2002; Hahn *et al.*, 2003), y su finalización se estableció luego de tres días consecutivos sin cumplir dicho criterio.

Se ajustaron modelos aditivos generalizados (GAM) utilizando el paquete *mgcv* en R (R Core Team, 2025). Para cada variable respuesta se evaluaron como predictores el ITH medio, máximo y mínimo, seleccionando el mejor modelo mediante el criterio de información de Akaike (AIC). Se compararon modelos lineales y no lineales, considerando evidencia de no linealidad cuando: la reducción de AIC fue >2 unidades, y el término suavizado resultó significativo ($p < 0,05$). Los modelos finales incluyeron como efectos fijos el número de lactancia y la categoría de DEL, mientras que la identificación individual de cada vaca se incorporó como efecto aleatorio. El efecto del ITH se modeló mediante funciones suavizadas, permitiendo capturar relaciones no lineales. La adecuación de los modelos se evaluó mediante diagnóstico gráfico y análisis de concurvatura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ensayo se registraron dos olas de calor de diferente duración e intensidad (Tabla 1). Los análisis se centraron principalmente en la primera ola de calor, debido a su mayor duración, intensidad y cantidad de observaciones disponibles para caracterizar la respuesta funcional de los animales. Durante la 1ª OC, el tiempo de rumia presentó una relación no lineal significativa con el ITH máximo diario ($p < 0,001$).

Tabla 1. Valores de índice de temperatura y humedad (ITH), horas con ITH ≥ 68 y desvío estándar ($\pm$ DE) durante las olas de calor (OC) 2024-2025 registrados en Rafaela.

Evento	Duración (días)	ITH (mín-máx.)	ITH (promedio $\pm$ DE)	Horas diarias con ITH ≥ 68 durante la OC (media $\pm$ DE)
1° OC	69	69,8 - 81,5	74,9 $\pm$ 3,0	21,6 $\pm$ 3,1
2° OC	12	68,9 - 74,6	70,9 $\pm$ 1,5	17,1 $\pm$ 2,8

El modelo explicó el 47,9 % de la variabilidad e identificó un umbral de ITH máximo de 78,1, a partir del cual la rumia disminuyó. Esta respuesta coincide con la reducción de la actividad ingestiva y digestiva observada en vacas bajo estrés calórico, como mecanismo para limitar la producción de calor metabólico, aunque puede comprometer la función ruminal (Soriani *et al.*, 2013; Becker *et al.*, 2020).

El tiempo de alimentación se relacionó de manera no lineal con el ITH mínimo diario ($p < 0,001$). El modelo explicó el 47,5 % de la variabilidad e identificó un umbral de ITH mínimo de 77,6 a partir de la cual el tiempo de alimentación tiende a disminuir. Además, se observaron diferencias según número de lactancia y días en leche, lo que sugiere una respuesta diferencial entre categorías de animales. La asociación con el ITH mínimo indica que la falta de recuperación térmica nocturna puede modificar el comportamiento alimentario (Wheelock *et al.*, 2010; Becker *et al.*, 2020).

La producción de leche también mostró una relación no lineal con el ITH mínimo diario ($p < 0,05$). El modelo explicó el 50,2 % de la variabilidad e identificó un umbral de ITH mínimo de 64,7, a partir del cual la producción comenzó a disminuir. Este valor, inferior al umbral general de ITH 68, sugiere que la producción puede responder tempranamente a condiciones nocturnas desfavorables, antes de que se consolide una carga térmica crítica sostenida (Wheelock *et al.*, 2010; Marumo *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

La ola de calor analizada afectó de manera no lineal la rumia, la alimentación y la producción de leche en vacas Holstein. La rumia se relacionó principalmente con el ITH máximo, mientras que la alimentación y la producción respondieron al ITH mínimo, destacando el rol clave de la recuperación térmica nocturna.

El monitoreo continuo de variables comportamentales y productivas, combinado con herramientas analíticas como los GAM, permite identificar umbrales críticos y anticipar respuestas al estrés calórico, contribuyendo al diseño de estrategias de manejo más eficientes.

REFERENCIAS

- Baumgard, L.H.; Rhoads, R.P. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences* 1:311-337.
- Becker, C.A.; Collier, R.J.; Stone, A.E. 2020. Physiological and behavioral responses of dairy cattle to heat stress. *Journal of Dairy Science* 103:6751-6770.
- Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Baumgard, L.H.; Rhoads, R.P.; Ronchi, B.; Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal adaptations to heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93:551-558.
- Collier, R.J.; Renquist, B.J.; Xiao, Y. 2017. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science* 100:10367-10380.
- Dikmen, S.; Hansen, P.J.; Pontes, E.; Fear, J.M.; Dikmen, B.Y.; Olson, T.A. 2012. Differences in thermoregulation and production between Jersey and Holstein cows in response to heat stress. *Journal of Dairy Science* 95:1784-1792.
- Gaughan, J.B.; Bonner, S.; Loxton, I.; Mader, T.L.; Lisle, A.; Lawrence, R. 2012. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 90:1429-1437.
- Hahn, G.L.; Mader, T.L.; Eigenberg, R.A. 2003. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. En: N. Lacetera; U. Bernabucci; H. Khalifa; B. Ronchi; A. Nardone (Eds.). *Interactions between climate and animal production*. EEAP Technical Series N° 7.
- Marumo, J.L.; Lusseau, D.; Speakman, J.R.; Mackie, M.; Hambly, C. 2022. Influence of environmental factors and parity on milk yield dynamics in barn-housed dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 105:1225-1241.
- R Core Team. 2025. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Soriani, N.; Panella, G.; Calamari, L. 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science* 96:5082-5094.
- Polisky, L.; von Keyserlingk, M.A.G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science* 100:8645-8657.
- Valtorta, S.E.; Gallardo, M.; De la Fuente, L. 2002. Heat stress in dairy cattle in Argentina: Definition and impact. *International Journal of Biometeorology* 46:36-39.
- Wheelock, J.B.; Rhoads, R.P.; VanBaale, M.J.; Sanders, S.R.; Baumgard, L.H. 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 93:644-655.

EFFECTO DEL ÍNDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD SOBRE EL COMPORTAMIENTO POSTURAL EN VACAS LECHERAS

Toffoli*, G.D.¹; Viretto, PE²; Frossasco, GP²; Leva, P.¹; Ribero, G.G.¹; Gariglio, L.¹; Mendez, L.¹; Strappini, A.C.³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, R.P. Kreder 2805-Esperanza, 3080, Argentina

² INTA EEA Rafaela, Argentina

³ Wageningen Livestock Research, Animal Health and Welfare Department, Wageningen, Países Bajos

Contacto: gtoffoli@fca.unl.edu.ar

Palabras clave: estrés calórico; bienestar bovino

INTRODUCCIÓN

El estrés calórico representa uno de los principales desafíos productivos y de bienestar en los sistemas de producción bovina de leche, especialmente en regiones con veranos cálidos y húmedos como las de Argentina. El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) es el indicador más ampliamente utilizado para cuantificar el grado de malestar térmico en bovinos, integrando la temperatura del aire y la humedad relativa en un valor único que permite clasificar el ambiente en distintos niveles de riesgo para los animales (Bohmanova *et al.*, 2007). En vacas lecheras de alta producción, el umbral crítico del ITH medio se establece en torno a 68, por encima del cual comienzan a manifestarse respuestas fisiológicas y conductuales de termorregulación (West, 2003). Entre las modificaciones conductuales inducidas por el calor, los cambios en el comportamiento postural, tiempo echado y tiempo parado han cobrado creciente interés como indicadores de bienestar. La mayor permanencia en posición de estación observada bajo condiciones de ITH elevado puede interpretarse como una respuesta adaptativa destinada a favorecer la disipación de calor corporal, al incrementar la exposición al ambiente y reducir el efecto aislante asociado al contacto con el suelo (Cook *et al.*, 2007). Sin embargo, esta reducción del tiempo de descanso genera consecuencias negativas sobre la producción de leche, la salud podal, el metabolismo ruminal y el bienestar general del animal (Fregonesi y Leaver, 2002; Legrand *et al.*, 2009). Si bien existen numerosos estudios que documentan los efectos del estrés calórico sobre la conducta en climas templados y tropicales, la información disponible para las condiciones ambientales específicas de la región pampeana argentina durante el período estival es aún limitada. El conocimiento del umbral de ITH a partir del cual se producen alteraciones significativas en los tiempos de echado y la estación, así como la magnitud de dichos cambios, resulta de utilidad práctica para la toma de decisiones en el manejo del bienestar animal y el diseño de estrategias de mitigación del estrés calórico. El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto del ITH diario sobre el tiempo echado y el tiempo parado de vacas Holstein en lactancia durante el período diciembre 2025 - febrero 2026.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el tambo robotizado de la EEA INTA Rafaela, Santa Fe, durante el período diciembre de 2025 a febrero de 2026 con un total de 28 vacas Holstein en distintos números de lactancia (1 a 6) y días en leche (DEL). El establecimiento corresponde a un sistema de base pastoril mixto con ordeño voluntario robotizado. Mediante puertas inteligentes se manejaron los permisos de acceso a los distintos sectores: desde las 07:00 h hasta las 20:00 h las vacas permanecieron en el patio de alimentación, provisto de media sombra (80 %) de 4 m² por animal y sistema de refrigeración automático (DeLaval®); el corral de espera también contaba con este sistema, que se accionaba cuando el ITH superaba 68. Desde las 22:00 h hasta las 07:00 h accedieron a la pastura. Una vez por día (07:30 h) se suministró alimento con mixer, y la ración se ajustó según el NRC (2001). Los animales fueron monitoreados individualmente mediante podómetros (ENGs, Israel) que registraron el tiempo diario de las actividades echadas y paradas (expresado como proporción de las 24 horas). Para cada animal y fecha de registro se calculó el ITH medio diario según la siguiente fórmula, donde T es la temperatura del aire (°C) y HR la humedad relativa (%).

$$ITH = (1,8 \times T) + 32 - (0,55 - 0,0055 \times HR) \times [(1,8 \times T) + 32 - 58] \quad (1)$$

Los registros de temperatura del aire y humedad relativa fueron obtenidos de la estación Agrometeorológica Convencional y Automática del EEA INTA Rafaela. La utilización del ITH medio diario se estableció con el fin de compatibilizar la variable ambiental con los valores de los datos de actividad, los cuales son consolidados y expresados por los sensores en proporciones acumuladas cada 24 horas. Las observaciones fueron clasificadas según tres categorías de ITH medio: sin estrés (<68), alerta (68-72) y estrés moderado (72-75), de acuerdo con los umbrales propuestos por West (2003) para vacas lecheras. Se excluyeron del análisis los registros con valores de actividad igual a cero correspondientes a fallas del sensor (n = 10 observaciones). El conjunto de datos analizado quedó conformado por 335 registros individuales diarios. Para evaluar la relación entre el ITH medio y los tiempos de comportamiento postural se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) y se ajustaron modelos de regresión lineal simple, con el ITH medio como variable independiente y el tiempo echado/parado (proporción del día) como variables respuesta. El análisis estadístico se realizó mediante R (R Core Team, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ITH medio diario registrado durante el período experimental fue de $69,8 \pm 2,9$, con un rango de 63,5 a 74,7. El 23,9 % de las observaciones correspondió a condiciones sin estrés (ITH < 68), el 52,2 % a condiciones de alerta (ITH 68-72) y el 23,9 % restante a estrés moderado (ITH 72-75). El tiempo echado medio general fue de 8,8 h/día (36,7 %) y el tiempo parado de 15,2 h día⁻¹ (63,3 %). Estos valores son consistentes con los reportados por Overton *et al.* (2002) para vacas bajo estrés calórico leve a moderado, que típicamente presentan tiempos de echado inferiores a 10 h día⁻¹. El análisis por categorías de ITH evidenció una reducción progresiva del tiempo echado y un incremento del tiempo parado a medida que aumentó el nivel de malestar térmico (Tabla 1). Las vacas bajo condiciones sin estrés permanecieron echadas en promedio 10,3 h día⁻¹ (42,9 %), mientras que bajo condiciones de estrés moderado el tiempo de echadas se redujo a 7,6 h día⁻¹ (31,8 %), representando una disminución de 2,7 h día⁻¹. Paralelamente, el tiempo parado aumentó de 13,7 h día⁻¹ a 16,3 h día⁻¹ entre las categorías extremas. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Cook *et al.* (2007), quienes reportaron una reducción de aproximadamente 1 hora en el tiempo de echado por cada incremento de 5 unidades en el ITH. El análisis de regresión lineal confirmó una relación estadísticamente significativa entre el ITH medio y el comportamiento postural. Por cada unidad de aumento en el ITH, el tiempo echado se redujo en 20,6 min día⁻¹ y el tiempo parado se incrementó en igual magnitud ($r = -0,34$ y $r = 0,34$, respectivamente; $p < 0,001$). Si bien el coeficiente de determinación fue moderado ($r^2 = 0,116$), este resultado es esperable dado que el comportamiento postural está influenciado simultáneamente por múltiples factores además del ITH, como el número de lactancia, los días en leche, la disponibilidad de sombra y el diseño de las instalaciones (Fregonesi y Leaver, 2002). El rango de ITH medio diario observado (63,5-74,7) no incluyó valores de estrés severo (>80), lo que posiblemente atenúa la magnitud de las correlaciones observadas respecto a estudios realizados en climas más extremos. Se debe considerar que el empleo del ITH medio diario puede subestimar el impacto de picos térmicos de corta duración ocurridos en las horas centrales del día, los cuales desencadenan respuestas conductuales agudas. Si bien el valor medio diario permitió identificar una clara tendencia general, la incorporación futura de variables complementarias como las horas consecutivas con ITH>68 o el ITH máximo, aportará información de mayor resolución para optimizar el encendido estratégico de los sistemas de refrigeración automática automatizados en el tambo.

Tabla 1. Tiempo echado y parado según categoría de ITH en vacas Holstein (diciembre 2025 - febrero 2026). Los valores corresponden a medias por categoría. ITH: índice de temperatura y humedad; n: número de registros individuales diarios incluidos en cada categoría (total = 335). Categorías según West (2003): sin estrés (ITH < 68), alerta (ITH 68-72) y estrés moderado (ITH 72-75).

Categoría ITH	n	ITH medio	Tiempo echado, h día ⁻¹	Tiempo parado, h día ⁻¹
Sin estrés (<68)	80	65,4	10,3	13,7
Alerta (68-72)	175	70,3	8,7	15,3
Estrés moderado (72-75)	80	73,1	7,6	16,3

CONCLUSIONES

El ITH medio diario ejerció un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el tiempo de echado de vacas Holstein en condiciones de producción comercial durante el período estival. Por cada unidad de incremento en el ITH medio, el tiempo echado se redujo en aproximadamente 20,6 min día⁻¹, con una disminución total de 2,7 h día⁻¹ entre las categorías de confort térmico y estrés moderado. Estos resultados refuerzan la importancia del monitoreo del ITH como herramienta de gestión del bienestar animal y la necesidad de implementar estrategias de mitigación del estrés calórico, como sistemas de ventilación forzada, aspersores y sombra, cuando el ITH supera el umbral de 68 unidades.

REFERENCIAS

- Bohmanova, J.; Misztal, I.; Cole, J.B. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science* 90:1947-1956.
- Cook, N.B.; Mentink, R.L.; Bennett, T.B.; Burgi, K. 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90:4457-4575.
- Fregonesi, J.A.; Leaver, J.D. 2002. Influence of space allowance and milk yield level on behaviour, performance and health of dairy cows housed in strawyard and cubicle systems. *Livestock Production Science* 78:245-257.
- Legrand, A.L.; von Keyserlingk, M.A.G.; Weary, D.M. 2009. Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92:3651-3658.
- Overton, M.W.; Sisco, W.M.; Temple, G.D.; Moore, D.A. 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science* 85:255-2559.
- R Core Team. 2025. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- West, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86:2131-2144.

CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE LA ZONA VITIVINICOLA DE GUALTALLARY, MENDOZA

Viale, M.¹; García Bu Bucogen*, G.^{1,2}

¹ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Mendoza - Argentina. CP 5500

² Laboratorio de Geografía Física y Geotecnologías, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Campus universitario UnCuyo, Mendoza, Argentina. CP 5500

*Contacto: maxiviale@mendoza-conicet.gob.ar

Palabras clave: clima, viñedos, Gualtallary, Mendoza

INTRODUCCIÓN

En vitivinicultura, la influencia del clima sobre el rendimiento, la fenología y la calidad de la uva está ampliamente documentada a nivel internacional. Estudios en regiones como Borgoña en Francia, o Napa Valley en Estados Unidos han demostrado que la variabilidad mesoclimática es un factor clave en la diferenciación de terroirs, permitiendo optimizar el manejo del viñedo y mejorar la zonificación productiva (Jones *et al.*, 2010). En Argentina, en cambio, los estudios sobre variabilidad mesoclimática en zonas vitivinícolas son aún escasos. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo identificar, caracterizar y profundizar el análisis de la variabilidad mesoclimática en el área de Gualtallary en el Valle de Uco de Mendoza, mediante el uso de datos meteorológicos en viñedos y herramientas de análisis espacial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a la zona vitivinícola de Gualtallary, ubicada en Tupungato, Mendoza, Argentina. Gualtallary se ubica muy cerca del pie de los Andes, ladera abajo del piedemonte con un desnivel de 500 m, desde los 1100 m hasta los 1600 m donde están los viñedos, y con corrugaciones considerables como las sierras de Jaboncillo y el Peral (Figura 1). El trabajo se basa en datos de 13 estaciones meteorológicas en viñedos de la zona. Las variables de temperatura y humedad relativa fueron las variables con mayor disponibilidad y menos errores a corregir. Aunque tres estaciones disponen de datos desde 2016, las comparaciones entre los 13 viñedos se restringieron a las temporadas comunes 2023-2024 y 2024-2025, evitando sesgos asociados con la diferente longitud de las series. Para evaluar posibles sesgos asociados con las diferencias entre sensores y abrigos, los equipos de campo se intercompararon durante varios días con un sistema de referencia desarrollado por IANIGLA-CONICET y previamente contrastado con instrumental del Servicio Meteorológico Nacional en el Observatorio de Mendoza. Los sensores comerciales presentaron un sesgo cálido durante la tarde, probablemente asociado con la limitada protección radiativa y ventilación de sus abrigos compactos, mientras que las temperaturas nocturnas fueron similares a las de referencia. A partir de los registros conjuntos de cada estación con el termómetro patrón, se desarrolló un modelo de ajuste de regresión lineal, para el día, entre las 8 h y 19 h, y otra para la noche, entre las 19 h y 8 h. Luego de aplicar el modelo de ajuste lineal en cada estación, en general los valores de aumentos o disminución fueron, en promedio, de unas pocas centésimas, menores de 1 °C.

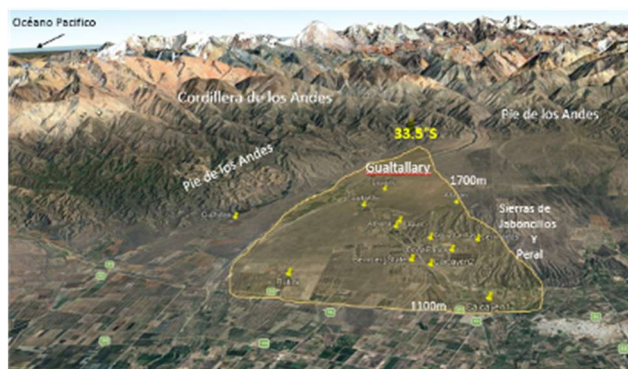


Figura 1. Zona de Estudio en Gualtallary Mendoza y las 13 estaciones meteorológicas en viñedos de 8 bodegas (viñetas amarillas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas medias, máximas y mínimas diarias exhiben una disminución de los estadísticos con la altura (Figura 2), con diferencias entre los viñedos más elevados y menos elevados de 3°- 4 °C en los valores centrales de las muestras. Dicha disminución con la altura de los estadísticos es interrumpida para la temperatura mínimas y amplitudes térmicas en sectores interserrano, entre sierras de Jaboncillos y Peral, con valores más altos y bajos, respectivamente, en las estaciones Doña Paula (1400 m), Zuccardi Las Cerrilladas (1365 m) y Agua de las Jarillas (1380 m) que sus semejantes a mejor altura. El mapa del índice Winkler para la añada 2025, con mayor disponibilidad de datos, muestra en la Figura 3 disminución gradual con la altura como factor de primer orden, pasando por 4 regiones climáticas de Winkler, desde la I en zonas más altas hasta la IV en zonas más bajas. En segundo orden se aprecian variaciones locales generadas por las sierras de Jaboncillos y El Peral.

CONCLUSIONES

Este estudio presenta las características climáticas de la zona vitivinícola de Gualtallary de Mendoza a partir de 13 estaciones meteorológicas en los viñedos. Las condiciones macroclimáticas son de un clima subtropical continental seco, con escasas precipitaciones concentradas en el semestre cálido (280 mm) y fuertes variaciones térmicas entre verano e invierno, determinados por la latitud que establece las variaciones de la energía solar, y por los Andes, una barrera que impide el ingreso de aire marino del Pacífico. Gualtallary se ubica ladera abajo del piedemonte con un desnivel de 500 m, desde los 1100 m hasta los 1600 m, y con corrugaciones considerables como las sierras de Jaboncillo y el Peral, que genera variaciones térmicas significativas en la temporada de crecimiento de las vides (oct-abr), o variaciones meso-climáticas. Tal es así, que coexisten cuatro regiones climáticas de Winkler, desde la Ib hasta la IV, en un área relativamente pequeña. Alteraciones débiles de dicho factor meso-climático primario del desnivel, lo generarían dichas sierras con temperaturas mínimas interserranas ligeramente superiores a estaciones ladera abajo, quedando protegido del drenaje de aire frío nocturno en capas delgadas superficiales ladera abajo del piedemonte. Las heladas son recurrentes en la temporada de crecimiento, aumentando desde 1-2 días en sectores bajos a 4-10 días por temporada en sectores altos de Gualtallary. Vientos térmicos diurnos son recurrentes en el día a día de la temporada de crecimiento, con suaves brisas ladera arriba del piedemonte en el día y ladera abajo en las noches, proporcionando buena ventilación a los viñedos.

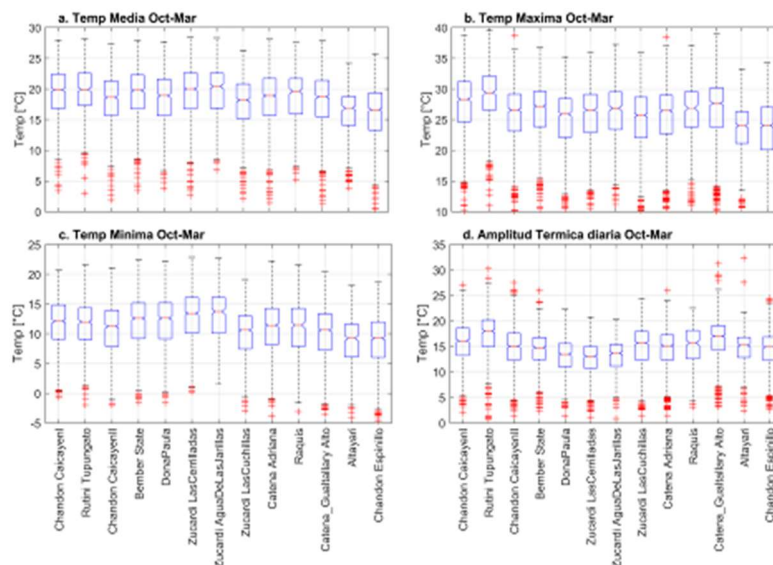


Figura 2. Gráficos de cajas en las distintas estaciones (ordenadas de izq. a derecha creciente en su altura) para las temperaturas en la temporada de crecimiento: **a.** Temperatura media, **b.** Temperatura máxima, **c.** Temperatura mínima, **d.** Amplitud térmica. Las cajas representan el rango Intercuartil, la línea roja en su interior la mediana, y las líneas negras representan valores anormales (1,5 la distancia entre los percentiles 75 o 25 y la media), y los signos más rojos a valores atípicos.

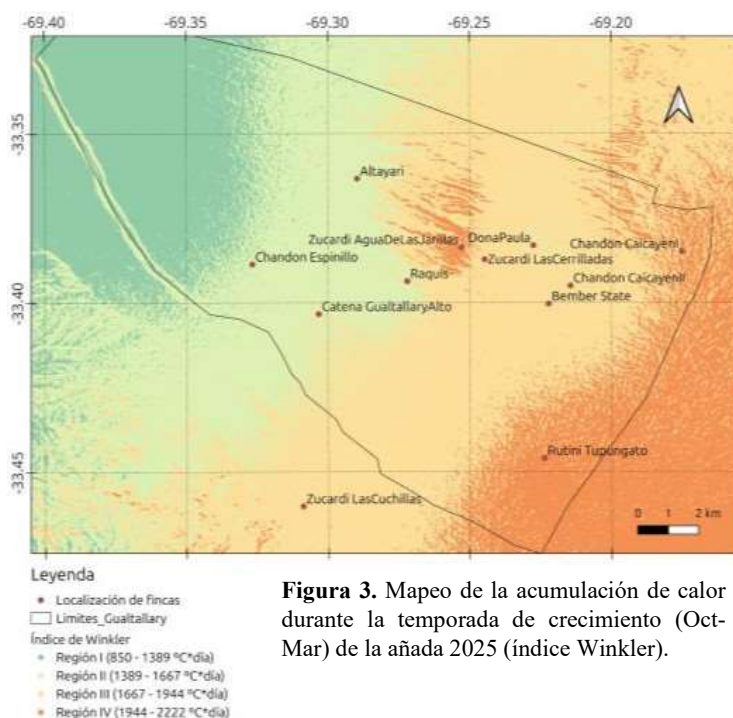


Figura 3. Mapeo de la acumulación de calor durante la temporada de crecimiento (Oct-Mar) de la añada 2025 (índice Winkler).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al consorcio de productores vitivinícolas de Gualtallary, Mendoza.

REFERENCIAS

Jones, G.V.; Duff, A.A.; Hall, M.P.; Myers, J.W. 2010: Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture* 61(3):313-326.

COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO Y PRODUCTIVO DE CANOLA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA PLATA (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

Voisin*, A.¹; Bezus, R.¹; Marega, F.¹; Castro, A.¹; Pellegrini, A.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata, Argentina. CP 1900

*Contacto: axel.voisin@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: tiempo térmico; rendimiento; número de granos; peso de mil granos

INTRODUCCIÓN

La canola (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* forma *annua*) es un cultivo de creciente interés como cultivo oleaginoso invernal en los sistemas productivos de la región pampeana argentina. Además de aportar a la diversificación, su inclusión ofrece beneficios para los productores, el sector industrial y puede contribuir a la rotación en el manejo integrado de malezas, plagas y enfermedades, permitiendo la siembra de un cultivo de segunda en época adecuada.

La oferta varietal es amplia y se encuentra en permanente renovación debido a la incorporación periódica de nuevos cultivares e híbridos. La zona de influencia de la Facultad presenta condiciones agroecológicas favorables para la incorporación de este cultivo, por lo tanto, caracterizar el comportamiento productivo y fenológico de los materiales disponibles resulta necesario para ajustar las prácticas de manejo y determinar la ubicación de las distintas etapas del ciclo, particularmente del período crítico para la determinación del rendimiento, en condiciones que reduzcan el riesgo de ocurrencia de adversidades ambientales.

Una vez superada la implantación, el período crítico para la determinación del rendimiento se concentra alrededor de la floración, etapa durante la cual el cultivo puede ser afectado por déficit hídrico, altas temperaturas y heladas. En este sentido, Berry y Spink (2006) señalan que la colza produce una cantidad de flores superior a la que finalmente puede sostener, regulando posteriormente el número de silicuas en función de los recursos disponibles. Por ello, la caracterización de la duración de las etapas fenológicas y de los requerimientos térmicos de los distintos materiales constituye una herramienta de interés para comprender su adaptación a las condiciones ambientales de la región.

El objetivo de este trabajo fue describir el comportamiento fenológico y productivo de cuatro híbridos de canola en La Plata y cuantificar los requerimientos térmicos en las etapas de su desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP (34° 52' LS, 57° 58' LO) se sembraron el 3 de julio de 2024, y el 12 de junio de 2025 cuatro híbridos de canola, dos de ciclo intermedio, Nuola 300 y Trophy TT, y dos de ciclo corto Diamond y Ceres IMI, en un arreglo de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se fertilizaron a la siembra con 100 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico azufrado (11-34-0-9S) y 30 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0) y al final del estado de roseta con 70 kg ha⁻¹ más de urea. Se registraron los distintos estados fenológicos siguiendo la clave del CETIOM (1988). Se calculó la suma térmica para distintas etapas del ciclo: emergencia a inicio de floración (A-F1), floración (F1-FF) y ciclo total (A-G5) utilizando la base de 5 °C. Se cosechó y trilló manualmente registrando: rendimiento, pl m⁻², silicuas planta⁻¹ y peso de mil semillas (PMS) y se calculó el número de semillas m⁻². Se realizó el análisis de la varianza y se usó la prueba de Tukey para la comparación de medias (P<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones hídricas fueron adecuadas en ambas campañas. En 2024, las precipitaciones de marzo y abril (305 y 176,8 mm) permitieron recargar el perfil, mientras que durante el ciclo se acumularon 247,4 mm, con 127,2 mm en agosto, previo a la floración. En 2025, las precipitaciones acumuladas entre mayo y octubre fueron de 652,8 mm, superiores al promedio histórico para el período (429,5 mm), y presentaron una adecuada distribución durante el ciclo.

La duración del ciclo estuvo influenciada tanto por el híbrido como por las condiciones ambientales de cada campaña. La siembra más temprana de 2025 expuso al cultivo a menores temperaturas medias durante el período A-F1 (10,8 °C vs. 11,6 °C en 2024), lo que redujo la velocidad de desarrollo y alargó los días a floración en todos los híbridos. En tiempo térmico (A-F1), existieron diferencias significativas entre materiales donde Ceres y Diamond requirieron menor acumulación térmica que Nuola 300 y Trophy (Tabla 1). La estabilidad interanual de estos requerimientos térmicos confirma que las menores temperaturas de 2025 afectaron la velocidad de desarrollo, pero no la suma térmica necesaria.

La duración de la floración (F1-FF) presentó diferencias significativas entre híbridos y campañas cuando se expresó en días. Nuola 300 presentó la mayor duración, diferenciándose de Trophy, mientras que Ceres y Diamond presentaron valores intermedios. La floración fue más prolongada en 2025, coincidiendo con una menor temperatura media durante este período (14,1 °C vs. 15,9 °C en 2024), que habría afectado la velocidad de desarrollo. En tiempo térmico se observó interacción híbrido × año, asociada principalmente al comportamiento diferencial de Nuola 300 (Tabla 1).

La duración total del ciclo (A-G5) expresadas en días y tiempo térmico, fue similar entre híbridos, aunque significativamente

mayor en 2025 que en 2024 (Tabla 1). Esta diferencia estuvo asociada con la menor velocidad de desarrollo registrada en 2025, mientras que los requerimientos térmicos fueron similares entre campañas. Los genotipos evaluados presentaron un ciclo más corto que los informados por Chamorro (2009), aspecto clave al definir la fecha de siembra.

Para el rendimiento en grano, no se observaron diferencias significativas entre híbridos, pero sí para el año, registrándose mayores rendimientos en 2025 (Tabla 1). Respecto a los componentes del rendimiento no se detectaron diferencias estadísticas para plantas m⁻² y número de granos m⁻². El PMG presentó una interacción significativa híbrido × año (Tabla 1). En 2024, Nuola 300 registró el mayor PMG, diferenciándose del resto de los híbridos, que no mostraron diferencias entre sí. En contraste, durante 2025 Diamond alcanzó los mayores valores de PMG, mientras que Trophy presentó los menores pesos. El mayor rendimiento registrado en 2025 estuvo asociado a un mayor PMG. Este comportamiento podría estar relacionado con las condiciones ambientales más favorables durante el período reproductivo de 2025, caracterizadas por una mayor disponibilidad hídrica y temperaturas más moderadas durante el llenado de los granos (17 °C en 2025 frente a 19,5 °C en 2024). Estas condiciones habrían favorecido una mayor duración del período de llenado y, consecuentemente, una mayor acumulación de materia seca en los granos.

Tabla 1: Tiempo térmico acumulado (°C día⁻¹) de la etapa emergencia inicio floración (A-F1), floración (F1-FF) y ciclo total (A-G5), rendimiento y sus componentes para cuatro híbridos de colza cultivados en dos campañas (2024-2025) en la Plata, Buenos Aires. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05).

	A-F1	F1-FF	A-G5	A-F1	F1-FF	A-G5	Rend.	Plantas	Silicuas	Número	
	----- Días -----			----- °C día -----			kg ha ⁻¹	m ⁻²	planta ⁻¹	granos	PMS
Híbrido										m ⁻²	-- g --
Ceres	61 b	24 ab	115	391 b	229	1060	2197	81	55 b	70185	3,16
Diamond	62 b	23 ab	116	395 b	232	1056	2146	79	50 b	67424	3,18
Trophy	66 a	22 b	116	433 a	231	1069	2203	79	54 b	75531	2,92
Nuola	66 a	26 a	116	426 a	281	1060	2378	58	77 a	69423	3,43
300											
Año											
2024	59 b	21 b	108 b	411	238	1057 a	2104 b	72	58	71236,5	2,96
2025	69 a	27 a	125 a	412	242	1067 b	2401 a	75	60	69866,9	3,45
ANOVA											
(p-valor)											
Híbrido	***	**	ns	***	***	ns	ns	ns	**	ns	***
Año	***	***	***	ns	*	*	**	ns	ns	ns	***
Híbrido ×	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	***
Año											
CV (%)	2,11	5,82	0,90	3,23	7,65	1,14	11,35	22,20	19,40	11,01	3,86

ns: no significativo; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001

CONCLUSIONES

Los híbridos evaluados mostraron un rendimiento similar entre sí, alcanzando su mayor productividad en 2025 impulsada por un mayor peso de mil granos, favorecido por temperaturas moderadas y buena disponibilidad hídrica durante el llenado. Si bien Nuola 300 y Trophy requirieron mayor tiempo térmico a floración que Ceres y Diamond, las menores temperaturas iniciales en 2025 alargaron el ciclo en todos los materiales. Conocer el comportamiento fenológico y productivo de estos materiales resulta clave para ajustar las decisiones de manejo en la zona

REFERENCIAS

- CETIOM. 1988. Colza d'hiver. Cahier Technique, Paris, Francia. 30 p.
- Chamorro, A.M.; Bezus, R.; Tamagno, N. 2009. Evaluación del comportamiento de cultivares de colza-canola en La Plata, Pcia. De Buenos Aires. Avances en la producción vegetal y animal del NOA 2007-2009:343-349.
- Berry, P.M.; Spink, J.H. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yields: past and future. The Journal of Agricultural Science 144(5):381-392.

PATRÓN ESPACIAL DE HORAS DE FRÍO EFECTIVAS EN EL GRADIENTE ALTITUDINAL DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Zeman*, E.^{1,2}; Agüero, S.¹; Portocarrero, R.^{1,2}; Abbas Silman, M.¹; Castillo, E.¹; Valdivieso, E.¹; Merhell, L.¹

¹ Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. Pte. N. Kirchner 1900, 4000, San Miguel de Tucumán. Argentina

² Estación Experimental INTA Famaillá. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta 301, Km 32, 4032, Famaillá, Argentina

*Contacto: zeman.eugenia@inta.gob.ar

Palabras clave: agroclimatología; microclimas; modelización por relieve

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la disponibilidad de horas de frío (HF) en una región constituye una herramienta crítica de planificación y toma de decisiones para la producción comercial de las especies criófilas que se cultivan en Tucumán tales como el nogal, duraznero, ciruelo, manzano, peral, arándano, pecán, membrillo, damasco, vid, cerezo, almendro, avellano, castaño, kiwi, etc. Este requisito de acumulación de frío es un factor decisivo en la adaptación de estas especies a su ambiente. Cuando las plantas de clima templado no acumulan el suficiente frío de acuerdo con sus necesidades específicas, se observa un conjunto de síntomas, entre los que resultan más comunes: retrasos en la brotación y en la apertura de yemas de flor y de madera, brotación irregular y dispersa, y el desprendimiento de las yemas florales. Consecuentemente, la productividad se ve seriamente comprometida (Sozzi, 2008).

En la provincia de Tucumán, las oportunidades para el desarrollo de estos frutales se concentran en las zonas montañosas y en los valles intermontanos, ambientes donde la altitud actúa como el principal factor de descenso térmico, permitiendo que los cultivos satisfagan sus requerimientos bioclimáticos específicos.

Aproximadamente el 50 % de la superficie tucumana está conformada por relieve montañoso. Si bien esta característica geográfica descarta el territorio para la agricultura extensiva tradicional, su compleja topografía potencia una notable variabilidad climática en superficies reducidas, albergando una gran disparidad de microclimas aptos para producciones intensivas diferenciadas. En este escenario emergen numerosos valles intermontanos con un alto potencial productivo. No obstante, históricamente, múltiples proyectos de implantación de frutales en estas áreas fracasaron, debido a una sobreestimación de las HF efectivamente acumuladas.

Este contexto histórico demuestra la importancia de contar con estudios de caracterización agroclimática de alta resolución espacial. Actualmente, es difícil fundamentar decisiones de inversión y cultivo en las cartas agroclimáticas tradicionales de distribución de horas de frío efectivas, ya que describir con precisión estos ambientes de montaña exige una densidad elevada de datos sobre la distribución estacional y temporal de las temperaturas medias y mínimas. Para subsanar esta limitación, existen metodologías que permiten elaborar cartografía agroclimática de HF a partir de los promedios de las temperaturas mínimas medias mensuales durante el período crítico de mayo a septiembre (Damario *et al.*, 2008). La disponibilidad de una base de datos meteorológicos más copiosa y detallada que en épocas anteriores ofrece una nueva oportunidad para estimar con mayor exactitud las horas de frío efectivas, integrando formalmente la compleja orografía del territorio montañoso y sus valles.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la distribución agroclimática de las horas de frío en la provincia de Tucumán, incluyendo con el mayor detalle posible las zonas de montaña y valles intermontanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopilaron datos climáticos de temperatura mínima media mensual y temperatura media del mes de julio de 55 localidades de la provincia de Tucumán. Se trabajó con las estaciones automáticas y convencionales de las redes de SMN, EEAOC, el Sistema Nacional de Información Hídrica, productores particulares, INTA, y como complemento para las áreas con vacíos de información superficial, se integraron datos de reanálisis de KNMI.

Con el fin de identificar y comprender los factores determinantes de la variabilidad térmica local, se relevaron minuciosamente los metadatos (coordenadas geográficas, altitud y entorno) de cada punto de medición. Para el análisis definitivo, se definió una ventana temporal homogénea correspondiente a la última década (período 2015-2025).

La estimación agroclimática de horas de frío efectivas de cada localidad se procesó a partir de la fórmula propuesta por Damario *et al.* (2008). El procesamiento espacial se realizó mediante el software de código abierto QGIS (QGIS Development Team, 2024). El procedimiento metodológico constó de tres etapas principales: interpolación espacial, recorte espacial e integración topográfica. Se aplicó un método de interpolación IDW sobre los datos de HF, con el objetivo de generar una superficie continua de valores térmicos en toda la provincia, incluyendo áreas sin datos directos. La interpolación se ejecutó mediante la herramienta nativa de IDW de QGIS, con coeficiente de potencia $p = 2$. Este algoritmo utiliza un enfoque global

a partir de los 55 puntos de control para el cálculo de cada celda, por lo que no aplica un radio de búsqueda acotado ni limita el número de vecinos.

La superficie interpolada se recortó según el límite administrativo de la provincia de Tucumán. Para analizar la relación entre el régimen térmico y el relieve, el ráster resultante se integró con un modelo digital de elevación (DEM) de resolución de 5 metros (IGN, 2019), a partir del cual se generó la carta hipsométrica provincial.

Finalmente, se elaboró una carta agroclimática multicapas combinada con una simbología térmica y el sombreado del relieve, lo que permitió resaltar visualmente los patrones espaciales del régimen de horas de frío efectivas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial de las horas de frío efectivas en la provincia de Tucumán evidencia un marcado gradiente controlado por el relieve. Los valores más elevados se concentran en el sector occidental, asociados a las mayores altitudes del sistema montañoso de las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquíes, donde se registran acumulaciones superiores a 1000 HF, alcanzando localmente valores entre 1000 HF - 1500 HF. En contraste, el sector oriental, caracterizado por un relieve llano y menor altitud, presenta los valores más bajos, predominantemente inferiores a 600 HF. La zona pedemontana tiene condiciones intermedias y una mayor variabilidad espacial, reflejando transiciones altitudinales y efectos locales del relieve (Figura 1).

El patrón altitudinal no es estrictamente lineal. En ambientes de altura y valles intermontanos se observan valores de HF inferiores a los esperados, atribuibles a la presencia de altas temperaturas diurnas y una elevada amplitud térmica, lo que reduce la eficiencia del frío acumulado. Si bien la altitud constituye el principal factor de control de la distribución de HF, los procesos térmicos locales modulan significativamente su expresión espacial.

La validación cruzada entre los valores observados y los predichos arrojó un RMSE de 0,025. Pese al bajo error, el relieve complejo y los puntos de muestreo generan incertidumbre en las áreas entre puntos. Por ello, resulta necesario ampliar a futuro la red de observaciones de superficie para aumentar la precisión.

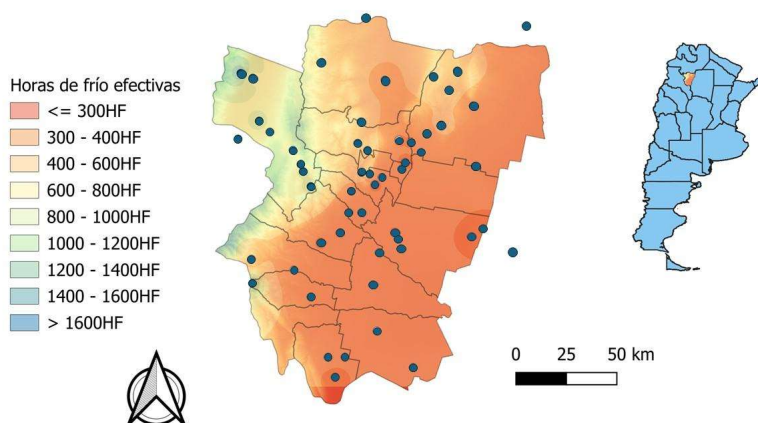


Figura 1. Distribución espacial de las localidades y horas de frío efectivas en la provincia de Tucumán.

CONCLUSIONES

La distribución espacial de las horas de frío efectivas en Tucumán presenta un patrón fuertemente condicionado por el relieve, con un claro gradiente decreciente desde el oeste montañoso (Aconquija y Cumbres Calchaquíes) hacia la llanura oriental. Aunque la altitud incrementa el frío, factores locales como la amplitud térmica generan respuestas no lineales y desviaciones respecto al comportamiento esperado. La interpolación reflejó precisión en los puntos de control, sin embargo, la complejidad topográfica exige incorporar aún más puntos de muestreo a los fines de reducir la incertidumbre en montañas y valles.

REFERENCIAS

- Damario, E.; Pascale, A.; Rodriguez, R. 2008. Nueva fórmula para la estimación agroclimática de las horas de frío. Revista Facultad de Agronomía-UBA 28(2-3):139-144.
- QGIS Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System version 3.44.11. Open Source Geospatial Foundation Project. Obtenido de <https://www.qgis.org>
- Sozzi, G. 2008. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. 848 p.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2019. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar v2.0). Dirección de Geodesia, IGN. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <https://www.ign.gob.ar/>

Área temática 2

Micrometeorología - Modelos Biofísicos

Modelización del impacto de diferentes coberturas de suelo en el microclima de invernaderos: caso de estudio en Almería, España

Aguilar Ferraro*, S.¹; Honoré M.N.²; Demetrio, P.M.¹; Sánchez, E.Y.³; Molina-Aiz, F.D.²

¹ Centro de Investigación del Medio Ambiente (CIM), Universidad Nacional de La Plata, Bv 120 n° 1489 -1er. Piso, La Plata, Buenos Aires, Argentina

² Centro de Investigación en Agrosistemas Intensivos Mediterráneos y Biotecnología Agroalimentaria (CIAMBITAL), Universidad de Almería, Almería, España

³ Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN), C. Arroyo Seco 2960, Tandil, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: santiaguilarr@gmail.com

Palabras clave: fotosíntesis; ANSYS CFD; radiación solar

INTRODUCCIÓN

El microclima en ambientes protegidos está determinado por la interacción dinámica de variables críticas para el desarrollo vegetal como radiación solar, velocidad del aire, temperatura, humedad y concentración de dióxido de carbono (CO₂). Los modelos climáticos orientados al control del microclima como por ejemplo el de Reyes-Rosas *et al.* (2017) asumen la homogeneidad espacial de estos parámetros mediante balances globales. Sin embargo, las grandes dimensiones de los invernaderos comerciales modernos generan gradientes significativos que impactan en la uniformidad de la productividad agrícola y en la eficiencia del uso de recursos (Honoré *et al.*, 2025).

Para abordar esta heterogeneidad, la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés) se ha consolidado como la herramienta de referencia para la simulación tridimensional del transporte de calor y masa en invernaderos (Fatnassi *et al.*, 2023). El principal desafío biofísico de la CFD radica en modelizar con precisión la interacción activa del cultivo en los balances gaseosos y energéticos. Desarrollos metodológicos claves han permitido evolucionar desde la incorporación de coeficientes de arrastre para representar la resistencia física del follaje (Haxaire, 1999), hasta la integración de flujos de calor sensible y latente para simular la transpiración (Boulard y Wang, 2002). Asimismo, la absorción de CO₂ mediante fotosíntesis ha logrado ser acoplada al software numérico mediante Funciones Definidas por el Usuario (UDF) basadas en modelos biológicos (Molina Aiz *et al.*, 2017).

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología que vincula la caracterización fisiológica experimental *in situ* con la modelización CFD avanzada aplicando diferentes tipos de encalados de cubiertas y acolchados (o cobertura de suelo). Se busca difundir el potencial de estas herramientas y promover su transferencia tecnológica para optimizar el diseño estructural y el control climático de los sistemas hortícolas protegidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediciones en el invernadero con cultivo de pimiento

Las mediciones se realizaron en julio de 2025 en un invernadero multitúnel (U11) en la Finca Experimental UAL-ANECOOP en Almería, España (longitud: 2°17'W, latitud: 36°51'N, altitud: 90 m), durante el ciclo de cultivo de pimiento tipo California 'Bemol RZ' (Rijk Zwaan Ibérica, S.A., Almería, España) bajo condiciones de ventilación natural. Una estación meteorológica exterior, registra a 9 m la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, parámetros necesarios para asignar las condiciones de contorno de la simulación (Tabla 1). El invernadero está dividido a la mitad mediante una lámina de polietileno en dos sectores que presentan dos tipos de coberturas de suelo o acolchados (grava de mármol blanco en el sector Oeste y lámina textil de polipropileno negro en el sector Este). En cada sector se instalaron sensores de radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura, humedad y CO₂ y velocidad del aire (en las ventanas) que son utilizados para ajustar y validar el modelo. Con un sensor de radiación solar HD 2302.0 se midió la radiación directa, reflejada y difusa tanto afuera del invernadero como adentro. Se obtuvieron los diferentes valores de absorción y reflexión del suelo en cada sector. Mediante los valores de radiación PAR medidos en el interior y el exterior se determinó la transmisividad de la cubierta (encaladas con diferentes dosis de carbonato cálcico en el Oeste y el Este). Para la caracterización de la actividad fisiológica del cultivo, se utilizó un equipo portátil TARGAS-1 (PP Systems, EE.UU.) para la medición de la fotosíntesis (Tabla 1), registrando la tasa de absorción de CO₂, la transpiración foliar y el flujo de calor latente del cultivo. Paralelamente, se determinó el Índice de Área Foliar (LAI) mediante el análisis digital de imágenes con la aplicación *Easy Leaf Area*.

Modelización Numérica

Mediante el software de CFD ANSYS Fluent se generó un modelo 3D del invernadero, resolviendo las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento, energía, turbulencia y especies químicas en cada volumen finito. El volumen ocupado por el cultivo se modelizó como un medio poroso mediante la ecuación de Darcy-Forchheimer (Molina Aiz *et al.*, 2017). De la misma manera se simuló las mallas anti-insectos en las ventanas como filtros. En cada volumen finito de cultivo se implementaron términos fuentes constantes para la absorción de CO₂, la liberación de vapor de agua y de energía calculados a partir de las medidas realizadas en las hojas del pimiento (Tabla 1).

Tabla 1: Datos utilizados como condiciones de contorno para las simulaciones numéricas. Temperatura T_e , humedad absoluta x_e y velocidad del viento v_e medidas a 9 m en el exterior. Valores medios de radiación PAR absorbida Q_{PAR} , actividad fotosintética A y temperatura foliar T_c medidos en las hojas del cultivo el día 3/7/2025 en cada sector del invernadero.

Variables medidas	Exterior (9 m)			Interior invernadero	Marmol blanco	Polipropileno
	T_e , °C	x_e , kg kg ⁻¹	v_e , m s ⁻¹	Q_{PAR} , W m ⁻²	69,3	58,5
Valor	32,2	0,0089	5,90	A , kg m ⁻³ s ⁻¹	-1,78e ⁻⁰⁶	-1,13e ⁻⁰⁶
				T_c , °C	34,4	34,1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La validación del modelo numérico de CFD se realiza mediante la comparación de valores medidos y simulados (Tabla 2). El uso del acolchado de mármol blanco en el sector Oeste, junto con la reducción de la transmisividad de la cubierta del invernadero, resulta en una mayor absorción de radiación por parte de las hojas del cultivo de pimiento en comparación con las situadas en el sector Este con el acolchado agro-textil negro (Tabla 1). La mayor radiación solar en el sector Oeste con menos encalado produce un calentamiento del aire (Tabla 2), que es compensado por el cultivo con un incremento de su transpiración para mantener temperaturas foliares similares en ambos sectores (Tabla 1).

Tabla 2: Comparación de los datos de temperatura, humedad absoluta y velocidad del aire medidos (T_{im} , x_{im} , v_{vm}) y simulados (T_{is} , x_{is} , v_{vs}) en el interior de cada uno de los sectores del invernadero (en las ventanas para las velocidades).

Sectores - tipo de acolchado	Valores medidos experimentalmente			Valores simulados con CFD		
	T_{im} , °C	x_{im} , kg kg ⁻¹	v_{vm} , m s ⁻¹	T_{is} , °C	x_{is} , kg kg ⁻¹	v_{vs} , m s ⁻¹
Oeste - mármol blanco	34,30	0,0116	0,296	34,75	0,0105	0,628
Este - polipropileno negro	33,15	0,0110	0,217	36,91	0,0100	0,599

Respecto a la temperatura, la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés) entre valores medidos y simulados es del 3,7 % y del 0,001 % para la humedad. El coeficiente de variación de la raíz del error cuadrático medio (CVRMSE) es menor al 30 % tanto para temperatura como para humedad. Para la velocidad, el RMSE es de 0,40 %, pero el CVRMSE supera el 30 %. Los resultados calculados permiten validar, en primera instancia, el modelo CFD creado. No obstante, es necesario ampliar las simulaciones a otros escenarios (días con distintas condiciones climáticas) para aumentar la fiabilidad del modelado numérico.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permiten realizar una primera validación del modelo CFD desarrollado para el invernadero, con diferentes dosis de encalado del techo y acolchados de suelo y su influencia en las variables meteorológicas del invernadero y en el crecimiento del cultivo. Este primer modelo representa una herramienta predictiva frente a los modelos climáticos homogéneos tradicionales. La experiencia en Almería evidencia qué decisiones de manejo agronómico como la elección de acolchados con elevado albedo (mármol blanco) estimulan de forma medible la capacidad de asimilación del carbono por parte cultivo.

Este trabajo demuestra la factibilidad de acoplar mediciones experimentales de campo con herramientas de simulación de fluidos para optimizar sistemas de producción. La aplicación de esta metodología podría ser clave para el sector hortícola protegido, al permitir ensayar diferentes diseños geométricos de invernaderos locales y evaluar estrategias de manejo de suelo sin incurrir en costosos ensayos de campo.

AGRADECIMIENTO

Trabajo financiado por el Programa de movilidad de la Asociación Universitaria Iberoamérica de Postgrado (AUIP) # PMA1-2026-14-001 y el Proyecto de Investigación GRECLIM (PID2023-149886OB-I00).

REFERENCIAS

- Boulard, T.; Wang, S. 2002. Experimental and numerical studies on the heterogeneity of crop transpiration in plastic tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture* 34(1–3):173-190.
- Fatnassi, H.; Bournet, P.E.; Boulard, T.; Roy, J.C.; Molina-Aiz, F.D.; Zaaboul R. 2023. Use of computational fluid dynamic tools to model the coupling of plant canopy activity and climate in greenhouses and closed plant growth systems: A review. *Biosystems Engineering* 230:388–408.
- Haxaire, R. 1999. Caracterisation et modelisations des écoulements d'air dans une serre. Tesis Doctoral, Université de Nice - Sophie Antipolis. Faculté des Sciences, Francia. 149 p.
- Honoré, M.N.; Molina-Aiz, F.D.; Fatnassi, H.; Valera-Martínez, D.L.; López-Martínez, A.; Franco-Salas, A.; Moreno-Teruel, M.A. 2025. Computational fluid dynamics analysis of the effect of the interaction between the airflow of two naturally ventilated neighbouring greenhouses on the microclimate. *Acta Horticulturae* 1425:149-156.
- Molina-Aiz, F.D.; Norton, T.; López, A.; Reyes-Rosas, A.; Moreno, M.A.; Marín, P.; Espinoza, K.; Valera D.L. 2017. Using Computational fluid Dynamics to analyse the CO₂ transfer in naturally ventilated greenhouses. *Acta Horticulturae* 1182:283-292.
- Reyes-Rosas, A.; Molina-Aiz, F.D.; Valera, D.L.; López, A.; Khamkure, S.; 2017. Development of a single energy balance model for prediction of temperatures inside a naturally ventilated greenhouse with polypropylene soil mulch. *Computers and Electronics in Agriculture* 142(A):9-28.

MODELO DE FLUJO DE CALOR PARA ESTIMAR EL PERFIL DE LA TEMPERATURA DEL SUELO

Aguirre*, C.A.^{1,2,3}; Sedano, C.G.²; Rondán, G.A.²; Rut, T.M.A.²; Cardozo, M.A.²

¹ Facultad Regional Paraná – Universidad Tecnológica Nacional, Almafuerde 1033, Paraná, 3100, Argentina

² Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, 3101, Argentina

³ Miembro de la Carrera de Investigador del CONICET

*Contacto: cesar.aguirre@uner.edu.ar

Palabras clave: simulación; suelo-planta-atmósfera

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la temperatura del suelo es un dato fundamental para inicializar los modelos de balance de calor y humedad del suelo. Ambas variables son cruciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La mayoría de los modelos suelo-vegetación-atmósfera utilizados para diagnosticar dicho crecimiento y desarrollo simulan ambas variables mediante ecuaciones acopladas de conducción-difusión en el suelo. Los flujos de calor y humedad en el suelo y en la interfaz suelo-vegetación-atmósfera se simulan con este criterio (Noilhan y Planton, 1989; Smirnova *et al.*, 1997; Chen y Dudhia, 2001; Dupont *et al.*, 2024). Estos modelos permiten obtener estimaciones de la temperatura y la humedad del suelo, incorporando la resolución de las ecuaciones de flujo de calor y agua en dirección vertical. La variabilidad espacial de las propiedades del suelo se tiene en cuenta mediante una cuadrícula tridimensional, donde la resolución horizontal del sistema determina el grado de esta mientras que la resolución vertical, su grado de detalle en profundidad. Gracias a los avances tecnológicos en teledetección, ahora es posible ampliar el conocimiento de las interacciones suelo-vegetación-atmósfera a una escala de resolución superior, pero uno de los problemas radica en la inicialización de los valores de temperatura y humedad del suelo. En este trabajo se propone un modelo para obtener una estimación de la temperatura del suelo en profundidad y su ciclo diario a partir de imágenes de temperatura de la superficie terrestre (LST) obtenidas del sensor TIRS2 (Landsat 8 y 9). El modelo también utiliza datos adicionales imágenes del sensor MSI del Sentinel 2. Adicionalmente, se propone un nuevo modelo de transferencia iterativa suelo-vegetación-atmósfera (SVAT-IM) para obtener los perfiles de viento y temperatura dentro y sobre la canopia de la vegetación con el fin de estimar la temperatura de la superficie del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el predio experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA-UNER), Argentina. Cuenta con un total de 6 parcelas agrícolas que abarcan 150 ha, donde se practica la agricultura de secano. La producción agrícola durante el verano se basa en maíz y soja, mientras que en invierno se cultiva trigo. La resolución espacial para este estudio es de 10 m. Se ha instalado una estación meteorológica automática que registra datos de radiación solar global, temperatura del aire y humedad relativa a 1,5 m de altura, temperatura y humedad del suelo a 0,5 cm, 15 cm, 40 cm y 60 cm de profundidad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento a 2 m de altura y precipitación. Los registros se toman cada 10 minutos. Las ecuaciones de la evolución temporal de los flujos de calor en la superficie del suelo y en la interfaz suelo-planta-atmósfera se proponen como ecuaciones de balance térmico para obtener la temperatura del suelo y las temperaturas de las capas del suelo. La radiación solar es la fuente de energía para estos procesos termodinámicos, por lo que es necesaria una ecuación de balance energético en la interfaz suelo-planta-atmósfera para obtener la energía neta disponible. El suelo se modela como un sólido semi-infinito donde el flujo de energía es unidimensional a lo largo de la coordenada vertical. La ecuación de difusión de calor para la temperatura del suelo es una ecuación diferencial en derivadas parciales de tipo parabólica de segundo orden (Chen y Dudhia, 2001). La misma puede ser discretizada en diferencias finitas para pasos de tiempo Δt y en la vertical Δz para obtener una solución de la variación temporal de la temperatura en la profundidad del suelo T_s :

$$\frac{C^{(m)}}{\Delta t} (T_k^{(m+1)} - T_k^{(m)}) = \frac{\lambda^{(m)}}{\Delta z^2} (T_{k+1}^{(m)} - 2T_k^{(m)} + T_{k-1}^{(m)}) \quad (1)$$

donde C es la capacidad calorífica volumétrica y λ es la conductividad térmica, ambas dependen del contenido de humedad del suelo y de su porosidad. Los instantes de tiempo después del paso del satélite se pueden designar como $t = t_0 + m\Delta t$, siendo (m) el número de pasos de tiempo transcurridos desde el instante inicial t_0 (el superíndice (o) significa $m = 0$, por lo que $t = t_0$). $T_1^{(0)}$ denota T_s en el instante t_0 y el subíndice k refiere al índice del número de la celda en profundidad del suelo que varía de $k = 2$ ($z_1 = 0,01$ m), $k = 3$ ($z_2 = 0,05$ m), $k = 4$ ($z_3 = 0,10$ m) y luego regularmente en espesores iguales $d_k = 0,1$ m hasta $k = 13$ ($z_{13} = 1,0$ m).

El balance energético viene dado por la radiación de onda corta del sol, la radiación de onda larga de la atmósfera y la pérdida de energía de onda larga desde el suelo a la atmósfera. Además, la cubierta vegetal emite radiación de onda larga hacia arriba y hacia abajo en función de la temperatura de la cubierta y la fracción del LAI (Índice de Área Foliar) de cada capa de follaje dentro de la cubierta. Se propone una discretización del LAI en el Modelo Iterativo de Transferencia Suelo-Vegetación-

Atmósfera (SVAT-IM) desde $i = 1$ a $i = 20$ capas de la canopia. Las temperaturas de la canopia de la capa i se obtienen siguiendo un método similar al utilizado por Webber *et al.* (2016) aplicado a dichas capas. El balance energético en la capa superficial del suelo se completa con el flujo de calor latente necesario para evaporar la humedad del suelo y el flujo de calor sensible utilizado para elevar la temperatura del aire en la capa límite atmosférica. La energía almacenada en la capa superficial del suelo d_1 en el instante (m) se puede expresar considerando la radiación neta en onda corta $R_{S(sw)}^{(m)}$, en onda larga $R_{S(lw)}^{(m)}$ y los flujos de calor latente $LE_S^{(m)}$ y sensible $H_S^{(m)}$ desde el suelo a la atmósfera como:

$$S^{(m)} = R_{S(sw)}^{(m)} + R_{S(lw)}^{(m)} - LE_S^{(m)} - H_S^{(m)} \quad (2)$$

Aplicando (2) en la superficie del suelo y sustituyendo en (1) se obtiene una ecuación de evolución de la temperatura del suelo en superficie y en profundidad con ayuda del modelo “force-restore” (Ren y Xue, 2004). La estimación de la humedad del suelo se obtuvo mediante un método de interpolación espacial de datos medidos, utilizando un marco de fusión de datos bayesiano (Aguirre *et al.*, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observan perfiles de las temperaturas del suelo en el sitio de las mediciones, en un sitio con cultivo de soja y bajo una arboleda para el 07/03/2021 a las 11:00 h (línea verde), a las 16:00 h (línea roja) y a las 04:00 h (línea azul). Se observa que, para la gramínea corta, la amplitud térmica es mayor que para el cultivo de soja y la arboleda. Además, las temperaturas que alcanza el cultivo de soja son menores que las de la arboleda.

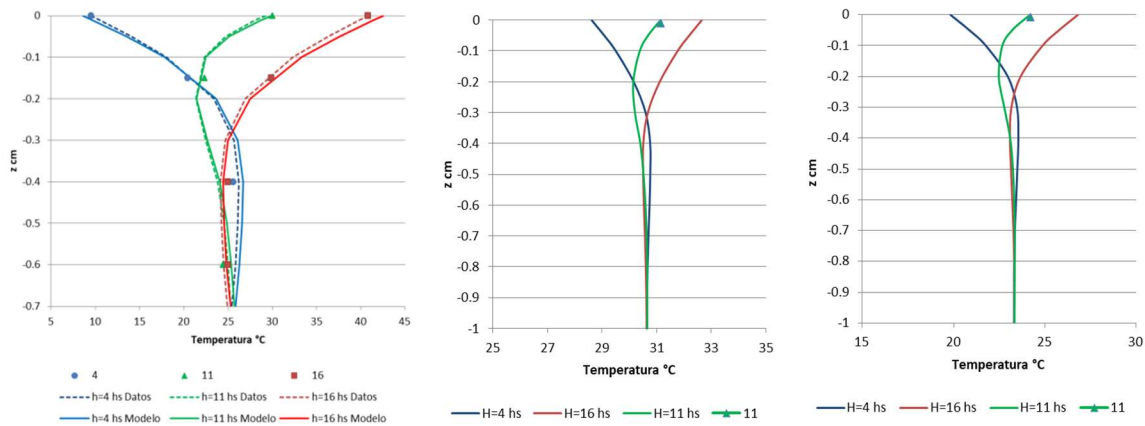


Figura 1. Perfiles de temperaturas del suelo e en sitios de cubiertos con gramínea baja (izquierda), soja (centro), arboleda (derecha).

CONCLUSIONES

Se observa un ajuste razonable entre los datos medidos de la temperatura del suelo y el SVAT-IM por lo que éste puede ser utilizado con el fin de inicializar los valores de temperaturas de suelo para modelos de simulación de flujo de agua en el perfil de suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con aportes del proyecto PID 2242 de la UNER y del PICTS 2025 de la FRP-UTN.

REFERENCIAS

- Aguirre, C.A.; Rondán, G.A.; Sedano, C.G.; Cardozo, M.; Rut, T. 2025. Bayesian Data Fusion Framework for Soil Moisture Interpolation in Entre Ríos, Argentina: Analysis of Topographic Indices. *Agricultural & Rural Studies* 3:0009.
- Chen, F.; Dudhia, J. 2001. Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Monthly Weather Rev.*, 129:569 – 585.
- Dupont, S.; Irvine, M.R.; Bidot, C. 2024. Morning Transition of the Coupled Vegetation Canopy and Atmospheric Boundary Layer Turbulence according to the Wind Intensity. *AMS*, 81:1225 – 1249.
- Noilhan, J.; Planton, S. 1989. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Review* 117:536–549.
- Ren, D.; Xue, M. 2004. A Revised Force–Restore Model for Land Surface Modeling. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 43:1768 – 1782.
- Smirnova, T.G.; Brown, J.M.; Benjamin, S.G. 1997. Performance of Different Soil Model Configurations in Simulating Ground Surface Temperature and Surface Fluxes. *Monthly Weather Review* 125:1870 – 1884.
- Webber, H.; Ewert, F.; Kimball, B.A.; Siebert, S.; White, J.W.; Wall, G.W.; Ottman, M.J.; Trawally, D.N.A.; Gaiser, T. 2016. Simulating canopy temperature for modelling heat stress in cereals. *Environmental Modelling & Software* 77:143 – 155.

CALIBRACIÓN DEL MODELO AQUACROP PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN CAÑADA DE GÓMEZ, SANTA FE

Dickie*, M.J.^{1,2}; Martín, B.³; Coronel, A.⁴

¹Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario (UNR) Zavalla 2125, Argentina

²Agencia de Extensión, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Cañada de Gómez, Santa Fe

³Cátedra de Forrajes FCA-UNR

⁴Asesora privada

*Contacto: mdickie@unr.edu.ar

Palabras clave: modelización; biomasa; rendimiento

INTRODUCCIÓN

El estudio de las interacciones entre el clima, el suelo y el manejo agronómico resulta fundamental para optimizar los sistemas productivos agrícolas. En escenarios caracterizados por una elevada variabilidad climática, los modelos de simulación constituyen herramientas de gran utilidad para el análisis y la toma de decisiones agronómicas. Entre ellos, el modelo AquaCrop, desarrollado por la Food and Agriculture Organization, se destaca por su enfoque mecanístico y por representar de manera simplificada los procesos fisiológicos que determinan el crecimiento y rendimiento de los cultivos en respuesta a la disponibilidad hídrica (Steduto *et al.*, 2009). No obstante, su aplicación requiere una adecuada parametrización y calibración bajo condiciones edafoclimáticas locales, a fin de mejorar la capacidad predictiva del modelo. El objetivo de este trabajo fue calibrar el modelo AquaCrop para maíz utilizando datos experimentales obtenidos a campo en Cañada de Gómez, Santa Fe, evaluando su capacidad para simular la evolución de la cobertura del dosel, la acumulación de biomasa aérea y el rendimiento del cultivo

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante la campaña 2024/2025 en Cañada de Gómez, Santa Fe (32° 52' 52" S; 61° 26' 54" O). El suelo corresponde a un Argiudol típico, serie Correa (Carta de Suelos, Hoja 3360-13-3). El manejo del cultivo reflejó las prácticas habituales de producción de maíz bajo condiciones de secano de la región. La siembra se efectuó el 28 de octubre de 2024, con una distancia entre surcos de 0,525 m y una densidad de 70.300 plantas ha⁻¹, utilizando un híbrido de alto potencial de rendimiento. La fertilización consistió en la aplicación, a la siembra, de 80 kg ha⁻¹ de NPK (0-22/28-0 + 17 % Ca + 5 % S) y de 300 L ha⁻¹ de UAN en el estadio V5-V6. Los datos meteorológicos diarios de precipitaciones, temperatura media, máxima y mínima, se obtuvieron de una estación automática Davis modelo Mb1-Lr (32° 51' 00" S; 61° 27' 23" O). La evapotranspiración de referencia (ET_o) se estimó mediante la ecuación de Penman-Monteith utilizando el software ET_o Calculator (Allen *et al.*, 2006). Durante el ciclo del cultivo se registró la fenología según la escala propuesta por Ritchie *et al.* (1986) y el porcentaje de cobertura del dosel (Canopy Cover, CC). La biomasa aérea (B) se determinó mediante el muestreo destructivo de 10 plantas en los estadios Ve, V3, V4, V5, V9, VT, R2, R4, R5.5 y R6, las cuales fueron secadas en estufa hasta peso constante. El rendimiento (R) del cultivo se determinó mediante cosecha manual en R6 y se expresó corregido al 14,5 % de humedad. El desempeño del modelo se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), el error cuadrático medio (RMSE), el error cuadrático medio normalizado [CV(RMSE)], el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (EF) y el índice de concordancia de Willmott (d).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información recopilada en campo se utilizó para parametrizar y ejecutar el modelo AquaCrop. Posteriormente, las simulaciones obtenidas se compararon con los valores observados mediante distintos indicadores estadísticos. En la Tabla 1 se presentan los principales parámetros empleados en la parametrización y ejecución del modelo. Al analizar la evolución de la B (Figura 1a) el modelo presentó un ajuste excelente, evidenciado por una correlación prácticamente perfecta entre los valores observados y simulados (r = 0,99). El error medio de predicción fue reducido (RMSE = 1,1 t ha⁻¹) y el error relativo promedio alcanzó un 10,8 %, valor considerado muy bueno al situarse por debajo del umbral del 15 %. Asimismo, el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe indicó un desempeño sobresaliente (EF = 0,99), mientras que el índice de concordancia de Willmott (d = 1) reflejó una correspondencia prácticamente perfecta entre valores observados y simulados. La B promedio observada fue de 10,08 t ha⁻¹, y la simulada de 9,74 t ha⁻¹. La reducida diferencia entre ambas estimaciones (0,35 t ha⁻¹) evidencia una adecuada calibración del modelo. En relación con CC el modelo mostró una elevada asociación entre valores observados y simulados (r = 0,93), alta capacidad predictiva (EF = 0,82), una elevada concordancia (d = 0,95) y un error absoluto moderado (RMSE = 13,1; CV = 24,8 %). En consecuencia, AquaCrop reprodujo satisfactoriamente la dinámica temporal de la cobertura verde, aunque con un margen de error relativamente mayor en comparación con la B (Figura 1b). Si bien la calibración se realizó utilizando la biomasa aérea como variable principal, el rendimiento (R) simulado por AquaCrop (11,47 t ha⁻¹) fue prácticamente coincidente con el observado (11,43 t ha⁻¹). Este resultado evidencia una adecuada representación tanto del índice de cosecha como de los procesos de partición de biomasa hacia los órganos reproductivos responsables del rendimiento final del cultivo.

Tabla 1: Parámetros para la calibración del modelo AquaCrop.

Parámetros	Valor adoptado	Valor por defecto
Conservativo:		
Temperatura base, °C	8	8
Temperatura máxima de crecimiento, °C	35	30
Temperatura mínima del aire por debajo el cual empieza a fallar la polinización, °C	8	10
Temperatura máxima del aire por debajo el cual empieza a fallar la polinización, °C	38	40
Productividad del agua (WP*), g.m ⁻²	33,7	33,7
Productividad del agua durante la formación de rendimiento, g.m ⁻²	100	100
Umbral superior de agotamiento de agua en el suelo para la expansión del dosel (p-exp)	0,10	0,14
Umbral inferior de agotamiento de agua en el suelo para la expansión del dosel (p-exp)	0,45	0,72
Factor de la forma para el coeficiente de estrés hídrico en la expansión del dosel	2,9	2,9
Umbral superior de agotamiento del agua del suelo para control estomático (p-sto)	0,55	0,6
Factor de forma para estrés hídrico en control estomático	6	6
Umbral superior de agotamiento de agua en el suelo para la senescencia del dosel (p-sen)	0,75	0,69
Factor de la forma para el coeficiente de estrés hídrico en la senescencia del dosel	2,7	2,7
Umbral superior de agotamiento de agua en el suelo para la polinización (p-pol)	0,76	0,8
Densidad, plantas. ha ⁻¹	70.300	75.000
Cobertura del suelo en emergencia por plántula, cm ²	6,5	6,5
No Conservativos		
Cobertura máxima del dosel (CCx)	0,85	0,96
Coefficiente de crecimiento del dosel, diario (CGC)	0,136	0,163
Coefficiente de decaimiento del dosel, diario (CDC)	0,059	0,117
Días de siembra a emergencia	10	6
Días de siembra a floración	60	66
Días de duración de la floración	14	13
Días de siembra a inicio de senescencia	97	107
Días de siembra a máxima profundidad de raíz	60	108
Profundidad máxima efectiva de raíces, m	2	2,3
Profundidad mínima efectiva de raíces, m	0,4	0,4
Índice de Cosecha, %	50	48
Máximo incremento posible del índice de cosecha, %	13	15

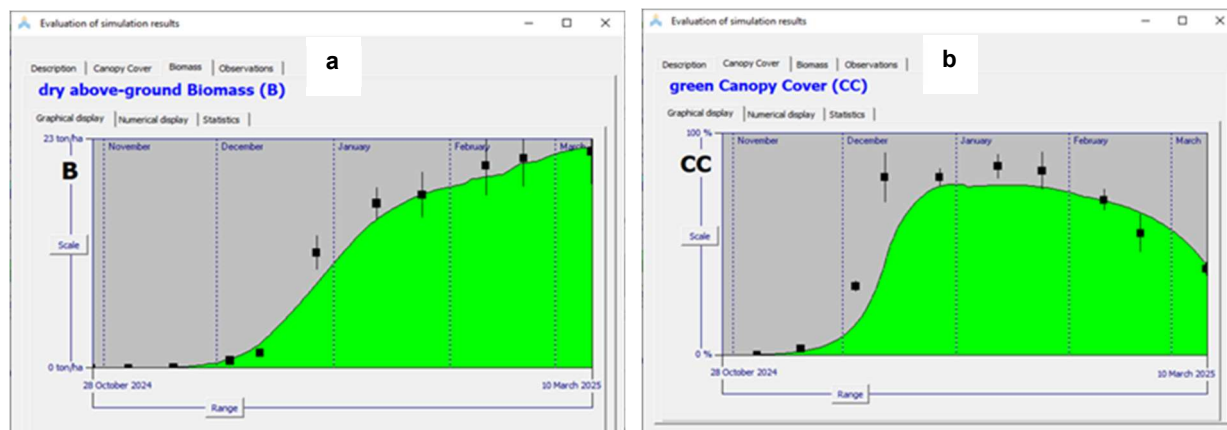


Figura 1: a) Evolución de la biomasa aérea seca y b) de la cobertura verde de maíz simulado con AquaCrop. Los puntos representan la biomasa acumulada/cobertura verde, y área verde indica lo estimado por el modelo.

CONCLUSIONES

AquaCrop presentó un excelente ajuste y una elevada capacidad predictiva para simular la biomasa aérea (B) y el rendimiento (R) del cultivo. Aunque la cobertura del dosel (CC) exhibió errores moderadamente superiores, su dinámica temporal fue representada de manera satisfactoria. En conjunto, los resultados demuestran que la parametrización realizada fue adecuada y respaldan el uso de AquaCrop como una herramienta robusta y confiable para la simulación del cultivo de maíz bajo las condiciones edafoclimáticas de Cañada de Gómez.

REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. FAO 56:1-79.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J.; Benson, G.O. 1986. How a corn plant develops. Spec. Rep. 48:24.
- Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Raes, D.; Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO Crop model to simulate Yield response to Water: I. Concepts and Underlying principles. Agronomy Journal 101-3:426- 437.

EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN AZUL (BUENOS AIRES): ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS (2003-2017) Y AUTOMÁTICOS (2019-2026)

Elguezabal*, M.C.¹; Aguas, L.¹; Hernández, G.¹; Laddaga, J.¹

1 Núcleo de Estudios en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático (NAACCE) – Centro Regional de Agrometeorología (CRAGM), Facultad de Agronomía, UNICEN, República de Italia 780, Azul, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: melguezabal@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras clave: estructura temporal intra-evento; Mann-Kendall; comparación instrumental

INTRODUCCIÓN

La caracterización de eventos extremos de precipitación a escala sub-horaria es fundamental para la gestión del riesgo hídrico y el diseño de infraestructura hidráulica (Chow *et al.*, 1994). Sin embargo, los registros instrumentales con resolución temporal sub-horaria son escasos en Argentina, especialmente fuera de las principales redes meteorológicas.

La estación Cerro del Águila (partido de Azul, Buenos Aires) cuenta con registros pluviográficos en fajas de papel desde 2003, digitalizados mediante la metodología PluvioRSMNArg (Flores, 2025), y con datos de una estación automática de cubeta basculante desde 2019. Esta continuidad espacial con distintos instrumentos ofrece la oportunidad de comparar el comportamiento de los eventos extremos entre dos períodos, reconociendo explícitamente las limitaciones metodológicas debido a discrepancias instrumentales.

El objetivo de este trabajo es comparar la frecuencia, magnitud y estructura temporal interna de los eventos extremos de precipitación entre el período pluviográfico (2003–2017) y el período automático (2019–2026).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos series de precipitación de la estación Cerro del Águila: registros pluviográficos digitalizados 2003–2017 (resolución 5 min, metodología PluvioRSMNArg; Flores, 2025), contrastados mediante correlación con el pluviómetro diario del CRAGM ($r = 0,69$; Elguezabal *et al.*, 2025), y datos de una estación automática iMetos 3.3 (Pessl Instruments), perteneciente al CRAGM-FAA-UNICEN, correspondientes al período enero 2019 – abril 2026 (resolución 10 min). Ambas series se estandarizaron a un paso de tiempo de 10 minutos. La serie de fajas presenta 391 vacíos de información (gaps) superiores a 2 horas, siendo los más extensos en 2006 (126 días), 2015 (84 días) y 2016 (49 días). El denominador efectivo utilizado para el período de fajas fue de 15 años. Los eventos se identificaron aplicando un criterio de separación de 6 horas sin lluvia y un umbral mínimo acumulado de 1 mm. Para cada evento se calcularon: duración, precipitación total, intensidad máxima en 10 minutos ($I_{\max}$) e intensidades acumuladas para duraciones de 30, 60 y 120 minutos, empleando la intensidad máxima observada en cada duración de análisis. Los eventos extremos se definieron como aquellos con $I_{\max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$ (percentil 95 de la distribución de $I_{\max}$ del período de fajas), aplicando el mismo umbral absoluto a ambos períodos. Las tendencias en series anuales de frecuencia de extremos, $I_{\max}$ media anual y precipitación total anual se evaluaron mediante la prueba de Mann-Kendall con corrección por autocorrelación (Hamed y Rao, 1998). La estructura temporal interna de cada evento extremo se caracterizó mediante el coeficiente de centroide $r = \text{tiempo al pico de } I_{\max} / \text{duración total}$, clasificando los eventos como adelantados ($r < 0,4$), centrados ($0,4 \leq r \leq 0,6$) o tardíos ($r > 0,6$). Las diferencias en la distribución de patrones temporales se evaluaron con la prueba Chi-cuadrado. Las diferencias en las variables de magnitud entre períodos se evaluaron con la prueba de Mann-Whitney U (Mann y Whitney, 1947).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 590 eventos en el período de fajas y 483 en el período automático. Las medianas de duración (4,5 h en ambos períodos) y precipitación total de eventos ordinarios son comparables, lo que sugiere que las diferencias instrumentales no parecen introducir sesgos importantes en eventos de baja a media intensidad. Para los eventos extremos ($I_{\max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$), el período automático presentó diferencias estadísticamente significativas en todas las variables analizadas (Mann-Whitney U, $p < 0,001$ en todos los casos): $I_{\max}$ mediana de 10,2 vs. 6,9 $\text{mm } 10 \text{ min}^{-1}$, precipitación total mediana de 38,2 vs. 16,1 mm, intensidades acumuladas a 60 y 120 minutos aproximadamente 2,5 veces superiores (Figura 1; Tabla I) y la frecuencia anual de extremos 9,6 vs. 2,2 eventos año^{-1} .

El análisis de Mann-Kendall modificado no detectó tendencias estadísticamente significativas dentro de ninguno de los dos períodos ($p > 0,05$ en todos los casos), resultado previsible dada la extensión de las series (15 y 7 años respectivamente). Sin embargo, la comparación muestra diferencias marcadas en la magnitud de los eventos extremos entre períodos. Parte de esta discrepancia podría atribuirse a la mayor sensibilidad de la estación automática para capturar picos de precipitación de muy corta duración respecto del registro pluviográfico; no obstante, la concordancia en los eventos ordinarios y la magnitud de las variaciones observadas sugieren que factores adicionales contribuyen al patrón. Respecto a la estructura temporal interna, ambos períodos presentaron predominio de eventos adelantados: 63,6 % en fajas y 58,2 % en automática, con pico de intensidad en el primer 40 % de la duración del evento (Figura 2). Los eventos tardíos aumentaron de 15,2 % a 26,9 %, aunque las diferencias entre períodos no resultaron estadísticamente significativas ($\chi^2 = 1,94$; $p = 0,38$; $gl = 2$). El hietograma promedio normalizado muestra una caída más abrupta desde el primer intervalo en el período de fajas, mientras que el período

automático presenta una distribución más gradual, lo que podría indicar eventos de mayor duración efectiva o la combinación de distintos tipos de sistemas generadores.

Tabla 1. Comparación de medianas de variables de eventos extremos entre períodos. Umbral: $I_{\max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$ (p95 período de fajas). Test Mann-Whitney U: * $p < 0,001$.

Variable	Fajas 2003–2017	Automática 2019–2026	p-valor*
N eventos extremos, n	33	67	—
Frecuencia anual, eventos año ⁻¹	2,2	9,6	—
$I_{\max}$ mediana, mm 10 min^{-1}	6,9	10,2	< 0,001
PP total mediana, mm	16,1	38,2	< 0,001
I acum 60 min mediana, mm	8,9	23,5	< 0,001
I acum 120 min mediana, mm	11,7	29,4	< 0,001

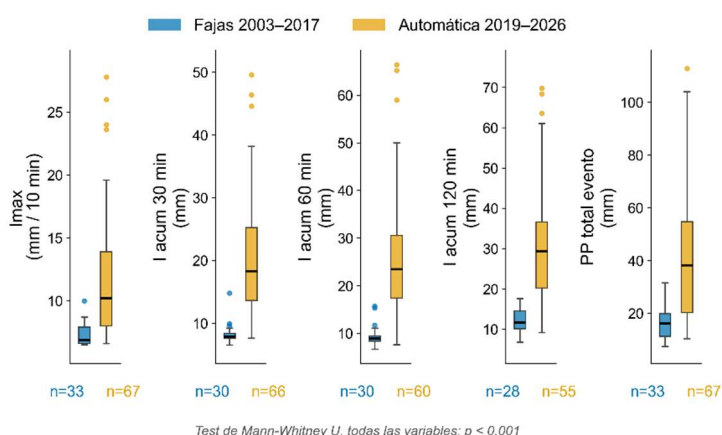


Figura 1. Comparación de variables de eventos extremos entre períodos ($I_{\max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$). Cada panel muestra la distribución mediante boxplot (mediana, Q1–Q3, bigotes y valores atípicos). Los brackets indican significancia estadística (Mann-Whitney U).

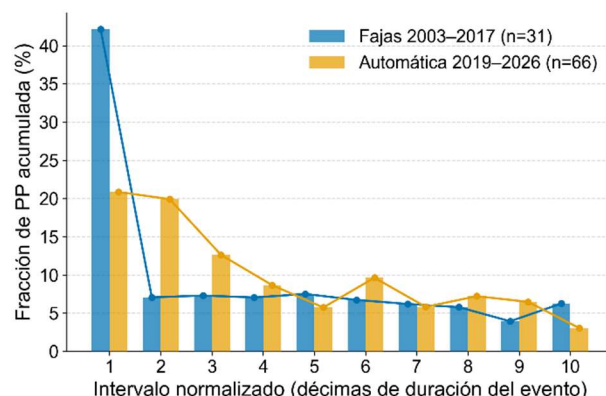


Figura 2. Hietograma promedio normalizado de eventos extremos para los períodos de fajas (azul, $n = 31$) y estación automática (naranja, $n = 66$). Se excluyeron eventos con duración insuficiente para el cálculo de los 10 intervalos normalizados.

CONCLUSIONES

La integración de registros históricos digitalizados con series automáticas contemporáneas en el mismo sitio, constituyeron un enfoque metodológico valioso para el estudio de la variabilidad de eventos extremos en regiones con redes de monitoreo limitadas. Las diferencias instrumentales reconocidas fueron evaluadas explícitamente.

REFERENCIAS

- Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. 1994. Applied Hydrology. McGraw-Hill. Nueva York, EE.UU. 572 p.
- Elguezabal, M.C.; Aguas, L.; Hernández, G.; Randazzo, L. 2025. Construcción de curvas IDF a partir de datos pluviográficos en el Partido de Azul, Buenos Aires (2003–2017). En: CONGREMET XV, 2025, La Plata, Argentina.
- Flores, K. 2025. Generación y procesamiento de datos pluviográficos en el SMN: desarrollo de método de digitalización. Nota Técnica SMN 2025-194.
- Hamed, K.H.; Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology 204:182–196.
- Mann, H.B.; Whitney, D.R. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. Annals of Mathematical Statistics 18:50–60.

COHERENCIA ESPACIAL DE INVERSIONES TÉRMICAS NOCTURNAS EN LA LLANURA PAMPEANA Y SU RELACIÓN CON HELADAS

Hernandez*, G.¹; Mujica, C.^{1,2}; Aguas, L.¹; Rodríguez, D.¹; Laddaga, J.¹; Elguezabal, C.¹

¹ Núcleo de Estudio en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático NAACCE, Facultad de Agronomía, UNCPBA. Rep. De Italia 780, Azul 7300, BA, Argentina

² Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA), Azul, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: gabrielahernandez@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras clave: estabilidad atmosférica; enfriamiento radiativo; gradiente térmico vertical

INTRODUCCIÓN

La inversión térmica nocturna, definida por un incremento de la temperatura del aire con la altura en la capa superficial de la atmósfera, constituye una manifestación característica de condiciones de estabilidad atmosférica generadas por el enfriamiento radiativo de la superficie durante la noche (Oke, 1987; Stull, 1988). Estas condiciones favorecen el desarrollo de heladas radiativas al intensificar los gradientes térmicos cercanos al suelo (Snyder y de Melo-Abreu, 2005) y pueden afectar la seguridad de las aplicaciones fitosanitarias al reducir la mezcla vertical del aire y favorecer la deriva de productos pulverizados (Thistle *et al.*, 2004). A pesar de su relevancia para la producción agropecuaria y la gestión del riesgo agroclimático, el conocimiento sobre la distribución espacial y la variabilidad temporal de las inversiones térmicas en la llanura pampeana continúa siendo limitado. Los estudios disponibles han sido escasos y, en general, se han restringido a observaciones de alcance local y períodos de análisis relativamente cortos (Leiva *et al.*, 2014; Barbero *et al.*, 2020), lo que dificulta la identificación de patrones regionales y su vinculación con eventos de helada. La disponibilidad reciente de redes automáticas equipadas con sensores instalados a distintas alturas proporciona una oportunidad para avanzar en la caracterización de este fenómeno a escala regional. En este contexto, el presente trabajo analiza una red de cinco estaciones meteorológicas automáticas distribuidas a lo largo de aproximadamente 600 km de la llanura pampeana, con el objetivo de (i) caracterizar el gradiente geográfico de intensidad de las inversiones térmicas, (ii) analizar su coherencia espacial y (iii) evaluar su asociación con eventos de helada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de estaciones iMETOS 3.3 ubicadas en Sunchales (SF), Pehuajó, Azul y General Villegas (BA) y General Pico (LP), con sensores de temperatura a 1,5 m y 10 m y resolución temporal de 15 minutos, para el periodo enero 2024 – abril 2026 (Tabla 1). Los sensores de temperatura presentan una precisión de $\pm 0,1$ °C según especificaciones del fabricante. Se definió inversión térmica como todo período con $\Delta T = T_{10m} - T_{1,5m} > 0,5$ °C durante dos o más registros consecutivos, para evitar identificar fluctuaciones instrumentales o ruido de medición. Se identificaron episodios regionales como conjuntos de eventos en distintas estaciones, con superposición temporal o con una separación inferior a 3 horas. Los eventos se clasificaron según la temperatura mínima a 1,5 m en: sin helada ($T > 3$ °C), helada agronómica (0 °C $< T \leq 3$ °C), helada meteorológica (-3 °C $< T \leq 0$ °C) y helada severa ($T \leq -3$ °C).

Tabla 1. Características de las estaciones meteorológicas.

Estación	Provincia	Lat (°S)	Long (°O)	Alt (m)	Período
Sunchales	Santa Fe	30,94	61,55	90	Ene 2024 – Abr 2026
Pehuajó	Buenos Aires	35,85	61,88	85	Sep 2024 – Abr 2026
Azul	Buenos Aires	36,77	59,86	135	Jul 2024 – Abr 2026
General Villegas	Buenos Aires	35,03	63,02	95	Ene 2024 – Feb 2026
General Pico	La Pampa	35,66	63,76	130	Jul 2024 – Abr 2026

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron 3.767 eventos de inversión térmica en el período analizado. La intensidad media (ΔT máximo promedio) mostró un marcado gradiente en dirección este-oeste, compatible con una mayor continentalidad hacia el oeste: las estaciones orientales presentaron valores de 1,8 - 2,0 °C (Sunchales, Pehuajó, Azul), mientras que las estaciones del sector más continental —General Villegas y General Pico, al oeste de 63°O— alcanzaron 2,8 °C y 3,5 °C, respectivamente. Las tasas de intensificación siguieron el mismo patrón (0,6 °C h⁻¹ en Sunchales; 1,5 °C h⁻¹ en General Pico). El ciclo de vida promedio fue consistente en todas las estaciones: inicio ~20 h, máximo ~23 h y destrucción ~6 h, en línea con el patrón clásico de inversión radiativa (Stull, 1988). Éste presentó una marcada variación estacional: en invierno las inversiones se iniciaron en promedio unas 2 h antes que en verano, se extendieron 7,0 h frente a 5,2 h y alcanzaron mayor intensidad (ΔT máximo medio de 2,9 °C frente a 2,2 °C), en correspondencia con la mayor duración de la noche invernal.

El análisis de coincidencia temporal sobre 865 episodios reveló que el 51,2 % involucró cuatro o cinco estaciones simultáneamente, el 29,9 % fue subregional y solo el 18,8 % resultó estrictamente local (Tabla 2). General Pico mostró los

mayores porcentajes de coincidencia con el resto de la red (73 – 80 %) y un inicio sistemáticamente más temprano: 2 - 5 horas antes que las demás estaciones, compatible con un inicio más temprano de las condiciones favorables para el desarrollo de la inversión térmica en el sector más continental. Azul presentó la menor coherencia espacial, posiblemente vinculada con su posición más oriental y con factores locales no evaluados en este trabajo. La elevada proporción de episodios regionales sugiere una posible modulación por forzantes de escala sinóptica.

Tabla 2. Clasificación de episodios según escala espacial.

Tipo	N episodios	%
Local (1 estación)	163	18,8
Subregional (2–3 estaciones)	259	29,9
Regional (4–5 estaciones)	443	51,2

La diferencia $T_{10m} - T_{1,5m}$ en el momento del mínimo térmico fue consistentemente mayor en los eventos con helada meteorológica que en eventos sin helada (Tabla 3). La diferencia más marcada se registró en General Pico (+2,3 °C) y la menor en Azul (+0,3 °C), siguiendo el mismo gradiente este-oeste. La correlación entre ΔT máximo y temperatura mínima a 1,5 m fue negativa y significativa en todas las estaciones (Spearman ρ entre -0,27 y -0,58; $p < 0,0001$). El mínimo térmico durante las heladas se concentró entre las 5:30 y las 7:00 de la mañana (hora local) en todas las estaciones.

Tabla 3. Diferencia promedio $T_{10m} - T_{1,5m}$ (°C) en el momento del mínimo térmico, según la condición de helada.

Estación	Con helada meteorológica, °C	Sin helada, °C	Diferencia, °C
Pehuajó	1,8	1,1	+0,7
Azul	1,7	1,4	+0,3
Sunchales	2,1	1,3	+0,8
General Villegas	3,2	1,8	+1,4
General Pico	4,3	2,0	+2,3

CONCLUSIONES

La elevada proporción de episodios regionales (51,2 %) sugiere que la ocurrencia de inversiones térmicas en la llanura pampeana podría estar modulada por forzantes de escala sinóptica. El gradiente de intensidad este-oeste refleja la continentalidad creciente: las estaciones al oeste de 63°O (General Villegas, General Pico) presentan inversiones más intensas, más duraderas y de inicio más temprano. Las heladas meteorológicas estuvieron asociadas a gradientes térmicos verticales más intensos que los observados en noches sin helada, particularmente en las estaciones más continentales. Esto sugiere el potencial del gradiente térmico vertical como variable complementaria de monitoreo operativo en sistemas de alerta agroclimática de la región pampeana. Se recomienda ampliar la red de estaciones con sensores a dos alturas hacia el sector occidental y sur de la región, y analizar la correspondencia entre los episodios regionales identificados y las configuraciones sinópticas asociadas, a fin de establecer el grado de predictibilidad del fenómeno.

REFERENCIAS

- Barbero, S.; Doval, T.; Kissling, M.; Lorenzatti, T.; Pensato, L.; Rodríguez, A.; Yurun, V.; Jozami, E.; Coronel, A. 2020. Caracterización del fenómeno de inversión térmica en Zavalla. En: XVIII Reunión Argentina y IX Latinoamericana de Agrometeorología (RALDA 2020), 2020, Paraná, Argentina.
- Leiva, P.D.; Améndola, C.; Hernandorena, C.; Hernandorena, A. 2014. Caracterización del fenómeno de inversión térmica para el partido de Pergamino (BA), Argentina, año 2011. Engormix. Disponible en: https://www.engormix.com/agricultura/pulverizacion-aerea-terrestre/caracterizacion-fenomeno-inversion-termica_a31315/.
- METOS by Pessl Instruments. 2023. *iMETOS® 3.3 Weather Station Technical Specifications*. Pessl Instruments GmbH, Weiz, Austria.
- Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*. Routledge, London, United Kingdom. 464 p.
- Snyder, R.L.; de Melo-Abreu, J.P. 2005. *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics*. FAO Environment and Natural Resources Series No. 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Stull, R.B. 1988. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 670 p.
- Thistle, H.W.; Teske, M.E.; Lan, Y.; Kirk, I.W. 2004. Meteorological conditions affecting pesticide spray drift and off-target deposition. *Aspects of Applied Biology* 71:93–101.

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN UN INVERNADERO

Palamidessi*, E.¹; Covi, M.¹; Curto, L.^{1,2}; Carnelos, D.³

¹ UBA, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Depto. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos

² CONICET

³ UBA, Facultad de Agronomía, Depto. Recursos Naturales y Ambiente, cátedra Climatología y Fenología Agrícolas

Contacto: emiliapalamidessi@gmail.com

Palabras clave: PPFD; mediasombra; regresión por procesos gaussianos

INTRODUCCIÓN

La radiación fotosintéticamente activa (PAR, 0,4–0,7 μm) es el factor ambiental determinante en la fotosíntesis y el rendimiento de los cultivos (Oke, 1988). La variabilidad de PAR depende de factores astronómicos, geométricos y de las condiciones ópticas de la atmósfera (Hemming *et al.*, 2008). Los invernaderos permiten controlar el microclima térmico, pero sus cubiertas y elementos estructurales alteran la dirección e intensidad de la radiación incidente, generando una distribución espacial interna altamente heterogénea (Fidaro *et al.*, 2008).

En latitudes medias, la radiación estival puede ser excesiva, requiriendo el uso de mallas de sombreo artificial (mediasombra) para atenuar los flujos energéticos y modificar el espectro lumínico (Ahmed *et al.*, 2016). A pesar de su relevancia agronómica, no se registran trabajos que cuantifiquen y comparen detalladamente la distribución espacial de la PAR dentro de invernaderos bajo tratamientos contrastantes de sombreo, ni su interacción con la variabilidad atmosférica diaria.

El objetivo de este trabajo es caracterizar y modelar la variabilidad espacio-temporal de la radiación PAR en un invernadero bajo distintas condiciones de sombreo, mediante interpolación espacial (Regresión por Procesos Gaussianos, GPR) y el análisis de la influencia de la altura solar y la condición atmosférica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las mediciones se realizaron entre el 28/08/2019 y el 12/03/2020 en un invernadero de 20 m $\times$ 6 m, con techo parabólico de plástico (150 micrones de grosor, recién instalado) y orientación aproximada N-S en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34°35'48.4" S - 58°30'44.2" O). Desde el 24/10/19, y hasta el final del ciclo, se mantuvo instalada una mediasombra negra con un coeficiente de atenuación nominal del 60–65 %. Se utilizaron siete sensores PAR cuánticos (PPFD): uno exterior (*fuera*) para registrar la radiación incidente, cinco sensores (*dentro*) en posiciones fijas (extremos NE, NO, SE, SO y CEN) y uno móvil que se reubicó semanalmente en una retícula interior de puntos de referencia separados a 2 m. Los registros se tomaron cada 30 segundos y se promediaron cada 15 minutos, calculando finalmente el acumulado diario mediante integración trapezoidal.

Mediante ecuaciones astronómicas se determinó el seno de la altura máxima del Sol ($\text{sen}(H_{\text{max}})$) para cada día, y la radiación PAR extraterrestre (PPFD_{ext}). A partir de los datos diarios de PPFD, se obtuvieron dos índices: la transmitancia efectiva ($t_{\text{ef}} = \text{PPFD}_{\text{dentro}} / \text{PPFD}_{\text{fuera}}$), que aísla el efecto óptico de la estructura, y el índice de claridad ($K_t = \text{PPFD}_{\text{fuera}} / \text{PPFD}_{\text{ext}}$) que cuantifica la atenuación atmosférica.

Para modelar los campos continuos de transmitancia efectiva, se utilizó la metodología de GPR, la cual permite resolver la alta heterogeneidad espacial del sistema directamente a partir de los datos (Rasmussen y Williams, 2006). El modelo se estructuró mediante un *kernel* aditivo que acopla: i) Un polinomio de segundo orden encargado de capturar las tendencias globales y las interacciones entre la geometría solar y la nubosidad; ii) un componente de base radial (RBF) con escala de longitud anisotrópica para mapear las heterogeneidades espaciales locales del invernadero; iii) términos de ruido blanco e incertidumbre de medición (heterocedástico).

Los modelos se validaron mediante *Bootstrapping*, con 100 remuestreos. En cada remuestreo con y sin mediasombra se entrenaron los modelos con una submuestra. Se evaluaron sus desempeños sobre el conjunto de datos fuera de la muestra (*Out-of-Bag*) con RMSD y R^2 .

Se reconstruyó la serie temporal continua de $\text{PPFD}_{\text{fuera}}$ para el período 2021–2023. Se utilizaron los registros de radiación global total diaria de la estación Villa Ortúzar (OCBA-SMN) en el período coincidente con los datos del invernadero, mediante regresión con $\text{PPFD}_{\text{fuera}}$. Con el set completo de predictores (X , Y) (de posición), K_t y $\text{sen}(H_{\text{max}})$, se predijo la t_{ef} empleando los modelos GPR entrenados, con o sin mediasombra. El producto final se multiplicó por la $\text{PPFD}_{\text{fuera}}$ para reconstruir los campos continuos de $\text{PPFD}_{\text{dentro}}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos desarrollados de $\text{PPFD}_{\text{dentro}}$ presentaron un R^2 de 0,970 con un RMSD de 1,64 $\text{mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ sin mediasombra, y de 0,903 y 1,99 $\text{mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ con mediasombra. Los modelos resultaron físicamente consistentes y aptos para la extrapolación temporal fuera del período experimental. El modelo sin mediasombra presentó un mejor ajuste.

Los campos de $PPFD_{dentro}$ continuos permitieron identificar los patrones espaciales que gobiernan el microclima radiativo. Durante el régimen sin mediasombra, el invernadero presentó una franja de máxima iluminación central en sentido longitudinal (N-S) y sombreados marcados hacia los bordes laterales E y O debido a la interferencia de la vegetación perimetral (Figura 1(a) y (b)). Con la instalación de la mediasombra, la distribución espacial de $PPFD_{dentro}$ invirtió su comportamiento. Se observó un núcleo de oscurecimiento en el sector centro-O, mientras que el lateral E (especialmente el cuadrante NE) emergió como la región más iluminada (Figura 1(c) y (d)). La distribución y la intensidad de estos campos espaciales no fueron estáticas, sino que variaron dinámicamente en función del índice de claridad y la elevación solar. En todos los escenarios, la incertidumbre de predicción de $PPFD_{dentro}$ se maximizó en la periferia del invernadero, manteniéndose siempre un orden de magnitud por debajo de la variable predicha (resultados no mostrados). En días más nublados la variabilidad espacial y temporal de $PPFD_{dentro}$ disminuye para ambos tratamientos (resultados no mostrados).

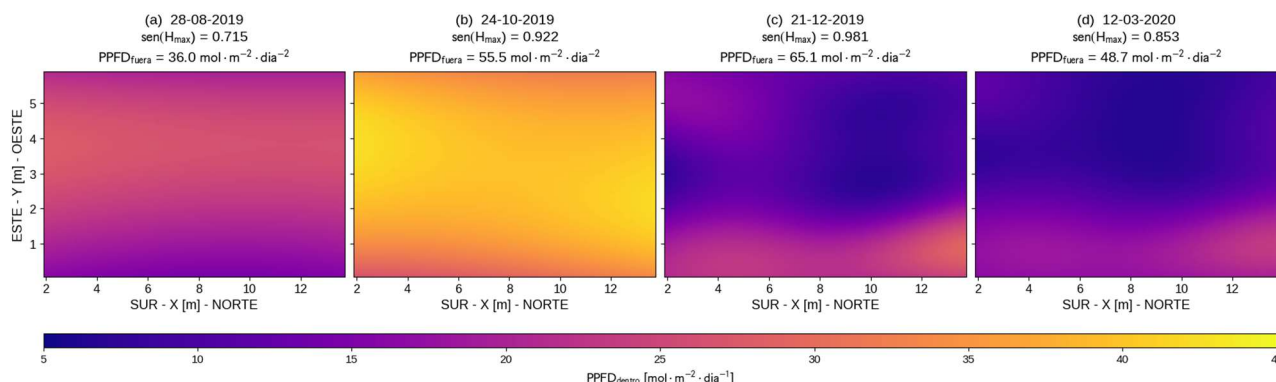


Figura 1: $PPFD_{dentro}$ para días despejados ($K_t = 0,805$), sin mediasombra (a) 28/08/2019, (b) 24/10/2019, y con mediasombra (c) 21/12/2019, (d) 12/03/2020. Versión animada y completa: <https://github.com/Emiliapalamidessi/Tesis>.

CONCLUSIONES

La metodología de GPR demostró ser una herramienta robusta y eficiente para resolver la variabilidad espacio-temporal de la radiación dentro del invernadero. Los modelos garantizaron la capacidad para extrapolar series de forma confiable, considerando las condiciones astronómicas y atmosféricas. La instalación de la mediasombra altera la distribución de luz en el invernadero, generando mayor ruido en la predicción, debido a las propiedades ópticas del tejido frente a la radiación difusa.

La reconstrucción de campos continuos de radiación PAR para el periodo 2021-2023 constituye un producto de alto valor aplicativo para el sector agrometeorológico, permitiendo optimizar el diseño de cubiertas y aplicar modelos de simulación de cultivos basados en el microclima radiativo real.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto “Aumento de la productividad de *Impatiens walleriana*, una especie ornamental anual y lactuca sativa, una especie hortícola anual a partir del aprovechamiento diferencial de los ambientes lumínicos en invernaderos comerciales.” PDE 2020 EXP-UBA 31.044/2019 Res. (CS) N° 1926/19 (2020-2022). Director: Ing. Carcelos D. Los autores agradecen a la Comisión Nacional de Energía Atómica por brindar sensores PAR cuánticos, y al SMN por los datos de OCBA-SMN.

REFERENCIAS

- Ahmed, H.A.; Al-Faraj, A.A.; Abdel-Ghany, A.M. 2016. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review. *Scientia Horticulturae* 201:36–45.
- Fidaro, D.; Kittas, C.; Baxevanou, C.; Bartzanas, T. 2007. Solar radiation distribution in a tunnel greenhouse. En: *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007*, 2007, Louvain, Bélgica.
- Hemming, S.; Mohammadkhani, V.; Dueck, T. 2008. Diffuse greenhouse covering materials-material technology, measurements and evaluation of optical properties. En: *International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions*, 2008, El Cairo, Egipto.
- Oke, T.R. 2002. *Boundary layer climates*. Routledge. Londres, Reino Unido. 437 p.
- Rasmussen, C.E.; Williams, C.K.I. 2006. *Gaussian processes for machine learning*. The MIT Press Cambridge, EE. UU. 272 p.

Área temática 3

Instrumental - Redes de Observación

Servicios Agroclimáticos

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES A CORTA DISTANCIA

Anibalini*, V.A.¹(*ex aequo*); Gastaud, J.¹(*ex aequo*); Spinozzi, J.²; Berardi, J.²¹ Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Universidad Nacional de Rosario (UNR). Campo Experimental Villarino, C.C. 14 (S2125ZAA) Zavalla, Santa Fe, Argentina² Cátedra de Manejo de Tierras, FCA, UNR*Contacto: veronica.anibalini@unr.edu.ar**Palabras clave:** variabilidad; semestre cálido; sur de Santa Fe

INTRODUCCIÓN

La caracterización precisa de la precipitación (PP) constituye un componente fundamental para la gestión del riesgo climático en los sistemas agrícolas actuales (Bordi *et al.*, 2009). Dada la multicausalidad y la consecuente complejidad para modelizar esta variable atmosférica, el incremento en la densidad de los puntos de medición se vuelve indispensable para comprender su dinámica a escala local. En regiones productivas sujetas a eventos convectivos estivales, el aumento de energía en el sistema atmosférico potencia la ocurrencia de precipitaciones intensas e irregulares (Ceballos Barbancho *et al.*, 2012), lo que pone en juego la representatividad espacial del dato puntual provisto por estaciones meteorológicas únicas. Las redes pluviométricas constituyen una fuente documental fundamental para comprender la dinámica de las PP tanto a nivel local como regional. Estas redes contribuyen al conocimiento de la distribución en el área de estudio, pero a su vez permiten conocer la periodicidad de estas y a largo plazo determinar si han ocurrido cambios en ambos parámetros. El objetivo de este trabajo es analizar la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones a corta distancia durante el semestre cálido a partir de una red pluviométrica en Zavalla, Provincia de Santa Fe.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Zavalla, sur de la provincia de Santa Fe. Se diseñó una red pluviométrica utilizando la herramienta Geo Tracker. El diseño original comprendía la ubicación de 49 pluviómetros (PL), conformando una grilla de 7 x 7 PL a una distancia de 500 m entre ellos. El sitio de colocación de los PL comprendió el área de los lotes de producción del Campo Experimental "J. F. Villarino" de la (FCA-UNR) y campos vecinos de privados. Los PL fueron ubicados con su boca a 1,5 m sobre el suelo, cumpliendo con los estándares internacionales. Los registros de PP se realizaron de octubre de 2024 a marzo de 2025. Al final del semestre cálido (SC) de la campaña 2024-2025, el número de PL se redujo a 17 debido a que el resto fueron vandalizados o robados. En este trabajo se analiza la variabilidad de las PP de 8 sitios de los 17 finales. El criterio que se utilizó para definir el n fue que todos los meses contarán con registro continuo; los 9 sitios restantes se excluyeron por presentar datos faltantes en al menos un mes de la serie. Por lo tanto, la variabilidad espacial ya no se evaluó de forma uniforme bajo la grilla simétrica inicial, sino que quedó representada por una configuración de distribución libre con distancias de separación que oscilan en un rango de 500 a 3000 m entre los sitios vecinos más cercanos. Asimismo, para el análisis de la variabilidad temporal se consideró el semestre cálido completo (octubre a marzo), mientras que el análisis de la estructura espacial se centró en el trimestre Oct- Nov- Dic por ser el más representativo del inicio y consolidación del período convectivo, permitiendo contrastar la transición entre dinámicas de lluvias regionales y eventos puramente locales.

Para evaluar la homogeneidad de la red prescindiendo del efecto del volumen acumulado mensual, se calculó el desvío relativo porcentual de cada pluviómetro respecto a la media de la red para cada mes del semestre cálido, comparando las dispersiones resultantes mediante diagramas de caja. Al estandarizar la variable para analizar la estructura del error espacial a escala micro regional, cada mes se asumió como un escenario atmosférico independiente, rompiendo la dependencia temporal aditiva. Por lo tanto, para analizar la variabilidad temporal de dicha dispersión y considerando el tamaño muestral final, se aplicó un análisis de la varianza no paramétrico mediante el test de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$), complementado con la prueba *post-hoc* de Dunn con ajuste de Bonferroni para identificar las diferencias significativas en la variabilidad relativa entre los meses analizados.

La estructura de la variabilidad espacial se cuantificó analizando las 28 combinaciones geométricas de pares posibles derivadas de los 8 pluviómetros activos. Para cada par se calculó la distancia euclidiana en metros y la diferencia absoluta de PP (mm), modelando la tendencia general mediante curvas locales (LOESS). Complementariamente, debido a las restricciones de la densidad muestral para ajustar variogramas teóricos automatizados, se computó de forma manual la semivarianza (Ecuación 1), donde Z_i y Z_j son los mm de cada PL agrupando los pares bajo un criterio territorial en tres umbrales de distancia física: Corta (<1500 m), Media (1500 - 3000 m) y Larga (>3000 m). Todos los análisis se realizaron con el software Rstudio.

$$\gamma = \frac{(Z_i - Z_j)^2}{2} \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El test de Kruskal-Wallis confirmó diferencias estadísticas significativas en la variabilidad de los desvíos relativos porcentuales en los meses analizados, con $p = 0,001092$. Esto demuestra que la red pluviométrica registró comportamientos de dispersión a escala micro regional disímiles a lo largo de la campaña. La prueba *post-hoc* de Dunn reveló que la ruptura de la homogeneidad temporal estuvo gobernada exclusivamente por el comportamiento del mes de octubre. Esta situación también fue documentada por Coronel *et al.* (2012) quienes observaron para Zavalla una disminución de las precipitaciones de julio-agosto hasta enero, pero con un quiebre en la tendencia en el mes de octubre donde registraron un leve aumento de las PP. Este difirió significativamente de los meses de diciembre ($p = 0,0014$), noviembre ($p = 0,0195$) y enero ($p = 0,0125$). En contraposición, las comparaciones cruzadas entre noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo no arrojaron diferencias significativas ($p > 0,05$). Esto se observa en la Figura 1, donde octubre se individualiza como una estructura compacta y adosada al origen, contrastando con el fuerte estiramiento intercuartílico de noviembre, mes que consolidó la máxima dispersión relativa de la serie debido al carácter errático de los eventos sobre una base de bajos acumulados mensuales. El análisis de las 28 combinaciones geométricas bilaterales mediante curvas locales (LOESS) reflejó un comportamiento caótico en el semestre cálido, donde la cercanía física perdió capacidad predictiva al registrarse brechas severas (> 25 mm) tanto en distancias mínimas como máximas. Esta heterogeneidad a escala micro regional se constató matemáticamente en el cálculo de la semivarianza (γ) por umbrales territoriales (Figura 2). Mientras que en octubre y noviembre la semivarianza se mantuvo baja y estable en todos los rangos (< 72), diciembre exhibió un marcado contraste espacial, donde la variabilidad se duplicó al pasar del umbral corto ($\gamma = 209,2$) al umbral medio de 1,5 a 3 km ($\gamma = 389,0$), para luego atenuarse en la larga distancia ($\gamma = 155,1$). Si bien la baja densidad de PL impide tipificar esto como un patrón geoestadístico estructural definido, este comportamiento podría sugerir que, durante los eventos convectivos estivales más intensos, los máximos contrastes hídricos locales pueden concentrarse a escalas intermedias dentro del área de estudio.

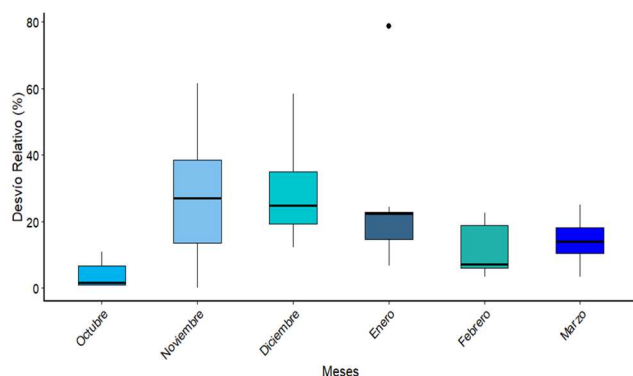


Figura 1. Desvío relativo porcentual de la precipitación mensual de la red pluviométrica durante el semestre cálido.

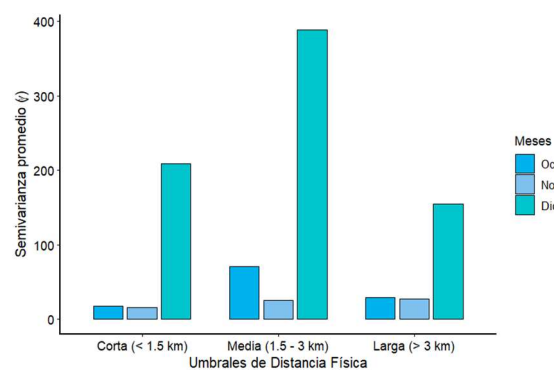


Figura 2. Semivarianza manual (γ) de la precipitación mensual agrupada por umbrales de distancia física (Corta, Media y Larga) para la red pluviométrica.

CONCLUSIONES

A pesar de que las limitaciones operativas sufridas redujeron la densidad de la red final ($n = 8$), restringiendo la potencia predictiva de las herramientas geoestadísticas a una escala estrictamente exploratoria, los resultados obtenidos constituyen una evidencia preliminar contundente de la insuficiencia de las estaciones meteorológicas puntuales únicas. Permitiendo a priori apreciar una variabilidad a corta distancia de las PP durante el semestre cálido, variabilidad que vendría a sumarse a la ya existente durante dicho período. Se demuestra así la necesidad de avanzar hacia redes densas de monitoreo local o enfoques híbridos con teledetección para el manejo agronómico de precisión en la región.

REFERENCIAS

- Bordi, I.; Fraedrich, F.; Sutera, A. 2009. Observed drought and wetness trends in Europe: an update. *Hydrology and Earth System Sciences* 13:1519-1530.
- Ceballos Barbancho, A.; Moran Tejeda, E.; López Moreno, J.I. 2013. Análisis de la variabilidad espacio temporal de las precipitaciones en el sector español de la cuenca del Duero (1961-2005). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N° 61:235-259.
- Coronel, A.; Sacchi, O.; Costanzo, M. 2012. Variabilidad climática de los componentes del balance hídrico seriado en el sur de Santa Fe. *Ciencias Agrónomas* XIX:007 - 011.

DESARROLLO DE UN MODELO DE PRONÓSTICO OPERATIVO Y SECTORIZADO DE HELADAS EN MENDOZA

Araujo*, V.A.¹; Naranjo Tamayo, E.B.²

¹ Servicios Meteorológicos de Mendoza (SMM/AEMSA), San Martín, Mendoza, M5570, Argentina

² Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales Mendoza

*Contacto: alfredo.araujo@aemsa.com.ar

Palabras clave: viticultura; aprendizaje automático; alerta temprana

INTRODUCCIÓN

Las heladas radiativas tardías y tempranas constituyen el principal riesgo agroclimático para la viticultura y fruticultura en la provincia de Mendoza, Argentina. La detección operativa con 24-72 h de anticipación permite activar sistemas de defensa activa (riego por aspersión, calefactores, helicópteros). Sin embargo, los modelos de pronósticos numéricos globales como ECMWF-IFS y GFS presentan sesgos sistemáticos en topografías complejas, particularmente en bajos topográficos del piedemonte y oasis irrigados (Cellier, 1993; Snyder y de Melo-Abreu, 2005).

El desarrollo de modelos de aprendizaje automático calibrados con observaciones locales ha demostrado mejoras significativas sobre las predicciones originales de los modelos globales (Diedrichs *et al.*, 2018; Cadenas *et al.*, 2020). Este trabajo presenta los primeros ensayos del Modelo predictivo de alerta temprana y sectorizada de heladas (V8ML), un ensemble adaptativo basado en el algoritmo de machine learning LightGBM (Ke *et al.*, 2017) que selecciona dinámicamente entre modelos especializados según la situación sinóptica observada y creado con el objetivo de maximizar la detección de eventos helada mientras se minimiza el error medio absoluto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El V8ML integra datos y pronósticos de los modelos IFS-HRES (ECMWF) y AIFS (Lang *et al.*, 2024) sobre la red de 60 estaciones meteorológicas automáticas de la Empresa Aeronáutica Mendoza Sociedad Anónima (AEMSA) distribuidas y sectorizadas en 5 zonas agroclimáticas en la provincia de Mendoza (Norte Bajo, Norte Alto, Centro Alto, Sur Bajo, Sur Alto) en el rango altitudinal 500-980 m s.n.m. Las variables meteorológicas utilizadas fueron temperatura mínima (TMin), temperatura máxima (TMax), humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y presión atmosférica horaria.

Para la obtención del V8ML se entrenaron tres modelos con el algoritmo LightGBM con función objetivo de cuantil. a) V8ML V2 (Q10) utiliza como predictores el pronóstico del ECMWF-IFS de la temperatura mínima, la altitud, la zona y la persistencia 3-días; b) V4.1 (Q30) añade características AIFS-derived y un ajuste post-procesamiento por cuenca; y c) V4.2 (Q10) reentrena V4.1 sobre 18 días de retroceso AIFS para capturar patrones del modelo neuronal. La validación cruzada empleó 24 meses de observaciones (2024-2025) con holdout temporal de 30 días.

Además, se creó un selector adaptativo V2.1 que clasifica cada ejecución del modelo en uno de cuatro casos según dos umbrales operativos: heladas observadas el día actual (n_h) y la mediana zonal del pronóstico ECMWF para D+1 (T_{ECMWF}). Si $n_h \geq 15$ y $T_{ECMWF} < +3$ °C selecciona V4.1 (Caso A: evento puro). Si $n_h \geq 15$ y $+3$ °C $\leq T_{EC} < +7$ °C selecciona V4.2 (Caso B: ECMWF con sesgo cálido durante evento). Caso contrario (sin evento o frente cediendo) selecciona V8ML V2. Los umbrales fueron calibrados con 5 ejecuciones en días sin heladas sostenidas y 4 ejecuciones en eventos de helada.

El modelo V8ML fue evaluado a partir de 14 salidas operativas consecutivas para los días entre el 18-mayo al 09-junio 2026. Las métricas utilizadas fueron: a) el Error Medio Absoluto (MAE), b) el Error sistemático (BIAS), c) el Porcentaje de eventos de heladas correctamente detectadas sobre el total observado (POD) y d) la Cantidad de heladas observadas que el modelo no pronosticó (MISSES) sobre el conjunto de 60 estaciones. Se comparó el selector V2.1 contra el selector V1 (original, basado únicamente en umbral de heladas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de los Modelos por situación meteorológica se puede observar en la Tabla 1. El selector V2.1 redujo los MISSES de 64 a 6 (reducción del 91 %) y aumentó el POD del 47 % al 96 % respecto al selector V1, manteniendo el MAE en niveles equivalentes (1,65 °C vs 1,79 °C). El BIAS global se redujo de +1,10 °C a +0,15 °C, indicando una calibración prácticamente neutra.

En el régimen de evento helada activo con ECMWF frío (Caso A), V4.1 alcanzó POD del 100 % sin MISSES sobre la red completa. En el régimen Caso B (evento con ECMWF cálido, +3 a +7 °C), V4.2 sostuvo POD del 95 %, mientras que V4.1 caía al 16-29 % debido al arrastre del pronóstico crudo. Este comportamiento confirma la hipótesis de que AIFS, al incorporar mayor sensibilidad a la inversión térmica nocturna, mejora la detección en situaciones de mezcla sinóptica.

Tabla 1. Rendimiento de los Modelos por situación meteorológica para los días entre el 18-mayo al 09-junio 2026.

Régimen	Modelo	MAE, °C	BIAS, °C	POD, %	MISSES
Evento + ECMWF frío	V4.1	0,65	+0,15	100	0
Evento + ECMWF arrastra	V4.2 (AIFS)	1,52	-0,30	95	3
Post-evento mixto	V8ML V2	1,68	+0,20	-	-
Tibio sostenido ($T_{EC} \geq +7$ °C)	V4.1	2,25	-1,80	-	-
Selector V1 (original)	Ensemble	1,79	+1,10	47	64
Selector V2.1 (propuesto)	Adaptativo	1,65	+0,15	96	6

El rendimiento en días sin heladas sostenido ($T_{EC} \geq +7$ °C durante 5+ días) reveló un patrón inesperado: V4.1 superó a V8ML V2 en MAE en 5 de 5 salidas (margen promedio 2,05 °C), pese a que V8ML V2 está específicamente entrenado para mediana zonal. La inspección del BIAS muestra que V8ML V2 arrastra inercia fría del entrenamiento sobre eventos helada del invierno previo. Este hallazgo motiva una versión V2.2 en evaluación que incorpora un Caso E para distinguir días con temperaturas cálidas sostenidas por "post-evento" y rutear a V4.1 cuando $T_{EC} \geq +7$ °C.

CONCLUSIONES

El selector adaptativo V2.1 propuesto reduce los MISSES en un orden de magnitud respecto al sistema operativo previo, sin penalización significativa en MAE. La incorporación de AIFS como insumo del modelo V4.2 demuestra un valor agregado claro en regímenes donde el ECMWF-IFS presenta sesgo cálido durante eventos de helada. La estratificación por régimen sinóptico, basada en variables observables operativamente (heladas del día y mediana del pronóstico crudo), constituye un enfoque escalable a otras regiones agroclimáticas con redes densas de observación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a EDEMSA, Gobierno de Mendoza, DGI y a los productores agropecuarios de Mendoza por la confianza depositada en el sistema operativo AEMSA. Se reconoce especialmente al equipo técnico que mantiene la red de 60 estaciones automáticas y procesos de calibración.

REFERENCIAS

- Cadenas, J.M.; Garrido, M.C.; Martínez-España, R.; Guillén-Navarro, M.A. 2020. Frost prediction in apple orchards based upon time series models. *Agricultural Water Management* 240:106312.
- Cellier, P. 1993. An operational model for predicting minimum temperatures near the soil surface under clear sky conditions. *Journal of Applied Meteorology* 32:871-883.
- Diedrichs, A.L.; Bromberg, F.; Dujovne, D.; Brun-Laguna, K.; Watteyne, T. 2018. Prediction of frost events using machine learning and IoT sensing devices. *IEEE Internet of Things Journal* 5:4589-4597.
- Ke, G.; Meng, Q.; Finley, T.; Wang, T.; Chen, W.; Ma, W.; Ye, Q.; Liu, T.-Y. 2017. LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. En: *Advances in Neural Information Processing Systems* 30, 2017, Long Beach, EE.UU.
- Lang, S.; Alexe, M.; Chantry, M.; Dramsch, J.; Pinault, F.; Raoult, B.; Clare, M.C.A.; Lessig, C.; Maier-Gerber, M.; Magnusson, L. 2024. AIFS - ECMWF's data-driven forecasting system. ECMWF Technical Memorandum 925.
- Snyder, R.L.; de Melo-Abreu, J.P. 2005. Frost protection: fundamentals, practice and economics. FAO Environment and Natural Resources Series No. 10. FAO, Roma, Italia. 240 p.

COPRODUCCIÓN DE SERVICIOS CLIMATICOS: EXPERIENCIA DE LAS MESAS AGROCLIMÁTICAS COMUNITARIAS EN SANTA VICTORIA ESTE (SALTA)

Bonel*, N.¹; Romero, P.¹; Goñi, J.¹; Ferreira, L.¹; Bazzana, J.²; Pearson, J.²

¹ Servicio Meteorológico Nacional, Av. Dorrego 4019, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 1425, Argentina

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AER Santa Victoria Este, San Martín S/N, esq. Salta

*Contacto: nbonel@smn.gob.ar

Palabras clave: diálogo de saberes; pequeños productores; gestión del riesgo

INTRODUCCIÓN

La producción de servicios de Tiempo, Agua y Clima (TAC) para la gestión del riesgo requiere comprender las necesidades de los usuarios y fortalecer el vínculo entre quienes generan la información y quienes la utilizan para la toma de decisiones (Organización Meteorológica Mundial, 2018). A través del proyecto ENANDES+ (Enhancing Adaptive Capacity of Andean Communities through Climate Services), coordinado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE/SDC), se busca fortalecer la capacidad adaptativa de las comunidades andinas mediante la coproducción de servicios meteorológicos, hidrológicos y climáticos, promoviendo la articulación entre instituciones técnicas y usuarios para mejorar el acceso y uso de información climática orientada a la gestión de riesgo y la adaptación al cambio climático. En Argentina, una de las áreas de intervención del proyecto corresponde a Santa Victoria Este, en la Provincia de Salta, una región altamente expuesta a amenazas hidrometeorológicas como sequías, inundaciones asociadas a las crecidas del río Pilcomayo y eventos de calor extremo. La zona presenta una importante diversidad sociocultural, con comunidades criollas e indígenas cuyas actividades productivas dependen del clima.

Con el objetivo de fortalecer el uso de la información climática en la toma de decisiones locales, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en articulación con la Agencia de Extensión Rural Santa Victoria Este del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y otros actores locales, impulsó las Mesas Agroclimáticas Comunitarias (MAC) concebidas como un espacio de intercambio, aprendizaje mutuo y construcción participativa de servicios TAC (Organización Meteorológica Mundial, 2014). Este enfoque se alinea con las directrices internacionales para la creación de marcos nacionales de servicios climáticos (Organización Meteorológica Mundial, 2018) y las metodologías de construcción colectiva de conocimiento desarrolladas en iniciativas similares en otros países de Latinoamérica (Giraldo-Mendez *et al.*, 2021). En Santa Victoria Este, este proceso comenzó en 2025 mediante la articulación entre el SMN, el INTA (AER Santa Victoria Este) y pequeños productores ganaderos de origen criollo nucleados en organizaciones productivas locales. Las MAC buscaron integrar la información climática con los saberes locales para diseñar un boletín agroclimático con perspectivas climáticas y prácticas recomendadas.

Este trabajo propone describir la evolución metodológica de las MAC en Santa Victoria Este (2025-2026) y analizar su contribución a la coproducción de servicios climáticos orientados a la gestión de riesgos agroclimáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso se caracterizó por una evolución progresiva de la metodología, transitando desde un enfoque inicialmente más expositivo hacia una modalidad crecientemente participativa, basada en el "diálogo de saberes" y la coproducción de conocimiento propuesto por manuales técnicos regionales (Mayorga Márquez, 2015). La información cualitativa obtenida en cada MAC se sistematizó a partir de los registros elaborados por el equipo técnico al finalizar cada encuentro, complementados con registros fotográficos y los materiales producidos durante las actividades participativas. Posteriormente, la información se organizó en categorías temáticas, lo que permitió analizar la evolución metodológica del proceso. Hasta junio de 2026 se realizaron tres encuentros principales:

- Primera MAC (agosto 2025): Desarrollada en la Organización de Familias Criollas (OFC), una de las asociaciones de pequeños productores de la zona. El encuentro se enfocó en identificar las amenazas hidrometeorológicas más recurrentes y los medios de comunicación utilizados para acceder a la información climática. Luego se realizó una breve introducción a conceptos básicos de meteorología y se presentaron algunos de los productos del SMN: pronósticos, climatología regional e índices biometeorológicos (ITH).
- Segunda MAC (octubre de 2025): Realizada en el puesto "La Esperanza". Por falta de conectividad y energía, se priorizó el intercambio cara a cara y el uso de materiales impresos, lo que resultó en una dinámica más fluida y participativa. En esta instancia se profundizó en la conexión entre las actividades agropecuarias y los pronósticos en distintas escalas que produce el SMN. Además, se distribuyeron pluviómetros entre los participantes de la mesa con el objetivo de implementar una red comunitaria de registro de datos de lluvia.
- Tercera MAC (junio de 2026): La actividad se organizó nuevamente en el puesto "La Esperanza" donde el objetivo fue fortalecer la apropiación de pronósticos de distintas escalas asociando su utilidad a las actividades productivas, así como analizar la variabilidad climática de gran escala mediante el uso de registros de lluvia locales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La experiencia permitió identificar que el intercambio directo y el uso de materiales gráficos impresos facilitan la discusión grupal y la construcción colectiva de contenidos (Figura 1 a y b). Mientras que en la primera mesa predominó la presentación de productos y el intercambio inicial de experiencias, las reuniones posteriores promovieron una participación más activa de los productores y actores locales. En ese sentido, en la tercera mesa se incorporaron registros de precipitación obtenidos por los propios productores locales, los cuales, al ser combinados con la climatología histórica de la estación meteorológica Rivadavia, perteneciente a la red del SMN, facilitaron la comprensión de la variabilidad climática interanual.



Figura 1. Actividades desarrolladas en el puesto La Esperanza, Santa Victoria Este: **a.** material didáctico utilizado durante la segunda MAC (octubre de 2025); **b.** intercambio entre técnicos y productores durante la tercera MAC (junio de 2026).

Un hito relevante fue el análisis del fenómeno ENOS, donde los asistentes relacionaron las condiciones de "La Niña" (2020/2023) con los fenómenos e impactos observados en sus propias actividades productivas. La continuidad de los encuentros consolidó un proceso de coproducción de conocimiento basado en la confianza mutua entre técnicos y pobladores.

CONCLUSIONES

Las Mesas Agroclimáticas Comunitarias han demostrado ser una herramienta efectiva para fortalecer el diálogo entre pequeños productores agropecuarios y proveedores de información climática.

Algunos factores clave para el éxito de un proyecto como este en contextos rurales vulnerables incluyen:

- La articulación interinstitucional (SMN-INTA) y el rol de referentes locales que disponen de un conocimiento exhaustivo del territorio y operan como puente con la comunidad.
- La adaptación de materiales al territorio y la incorporación de datos producidos localmente para fomentar la apropiación de la información.
- La evolución hacia metodologías participativas que valoran la experiencia acumulada de los usuarios locales frente a la exposición técnica unidireccional.

La experiencia desarrollada en Santa Victoria Esta muestra que las MAC pueden constituirse en espacios efectivos para la construcción participativa de servicios TAC en territorios expuestos a eventos hidrometeorológicos extremos. La continuidad de los encuentros favoreció la generación de vínculos de confianza entre instituciones técnicas y actores locales, permitiendo avanzar desde instancias centradas en la difusión de información hacia procesos más cercanos a la coproducción de conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto ENANDES+, impulsado por OMM y financiado por COSUDE/SDC. Los autores agradecen la colaboración de INTA AER Santa Victoria Este y de las instituciones y comunidades participantes en las actividades desarrolladas en la cuenca del río Pilcomayo.

REFERENCIAS

- Giraldo-Mendez, D.; Navarro-Racines, C.; Martínez-Barón, D.; Loboguerrero, A.M.; Gumucio, T.; Martínez, J.D.; Guzmán-Lopez, H.; Ramírez-Villegas, J. 2021. Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA): Una guía detallada sobre su implementación, paso a paso. 2da Ed. Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CAAFS). Cali, Colombia. 65 p.
- Mayorga Márquez, R. 2015. Manual para orientar el establecimiento de las Mesas Técnicas Agroclimáticas en otras zonas del país. Consultoría CCAFS. Bogotá, Colombia. 31 p.
- Organización Meteorológica Mundial. 2014. Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos. OMM. Ginebra, Suiza. 116 p.
- Organización Meteorológica Mundial. 2018. Directrices detalladas para la creación de un marco nacional para los servicios climáticos (OMM-N° 1206). OMM. Ginebra, Suiza. 58 p.

ATMOSENSE: SOLUÇÃO MULTIPLATAFORMA PARA MONITORAMENTO E VISUALIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS

Borges*, A.B.C.¹; Chagas, C.I.B.¹; Moura, M.G.G.¹; Soares, A.G.M.¹; Fernandes, G.S.T.¹

¹Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Av. Barão de Capanema, S/N, Caixa D'Água, Capanema - PA, CEP 68700-665, Brasil

*Contato: eng.beatriz.eas@gmail.com

Palavras-chave: monitoramento climático; Amazônia; séries temporais

INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha um papel fundamental na regulação climática regional e global, influenciando os ciclos hidrológicos, os fluxos de energia e as trocas de carbono entre a biosfera e a atmosfera. Estudos conduzidos na região amazônica identificaram tendências de aumento da temperatura do ar e alterações nos regimes de precipitação ao longo das últimas décadas, evidenciando mudanças observadas em diferentes áreas da Amazônia brasileira (Marengo *et al.*, 2018). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o aquecimento global tem intensificado a frequência e a severidade de eventos climáticos extremos, com impactos sobre sistemas naturais e humanos (IPCC, 2021). No setor agrícola, alterações nas condições meteorológicas podem comprometer a produtividade das culturas e aumentar a vulnerabilidade dos sistemas de produção, especialmente em regiões dependentes das condições climáticas (Tanure *et al.*, 2023).

Considerando a importância da agricultura para o Nordeste Paraense, o monitoramento das condições meteorológicas é fundamental para apoiar a gestão ambiental e a tomada de decisão. Entretanto, a transformação dos dados coletados por estações meteorológicas automáticas em informações organizadas e de fácil interpretação ainda representa um desafio para muitos usuários.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento do ATMOSENSE, uma plataforma para ambientes web, desktop e dispositivos móveis destinado ao tratamento, organização e visualização de dados meteorológicos, visando facilitar a interpretação das informações climáticas e apoiar ações de monitoramento ambiental na região amazônica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido utilizando dados provenientes de uma estação meteorológica automática Davis Vantage Pro2 (modelo 6152AU), pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), campus Capanema, localizada no município de Capanema, Nordeste do estado do Pará. A estação foi utilizada para o monitoramento contínuo dos elementos meteorológicos, incluindo temperatura média, máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação pluviométrica e radiação solar global. Os registros foram realizados aproximadamente a cada 30 minutos, possibilitando o acompanhamento da variabilidade temporal das condições atmosféricas.

Para a validação funcional da plataforma foram utilizados mais de 90 arquivos com dados meteorológicos provenientes da estação, abrangendo diferentes intervalos temporais e condições atmosféricas. O desenvolvimento do ATMOSENSE foi realizado por meio de uma abordagem iterativa e incremental, baseada em metodologias ágeis de desenvolvimento de software, permitindo aperfeiçoamentos contínuos e a incorporação gradual de funcionalidades durante as etapas de implementação e validação.

Os dados meteorológicos foram submetidos a um processo automatizado de tratamento e padronização realizado pelo ATMOSENSE, incluindo a identificação de inconsistências, tratamento de valores ausentes, conversão e padronização de registros numéricos e temporais, organização cronológica das informações e geração de séries temporais. A partir desse processamento, a plataforma calculou automaticamente indicadores meteorológicos diários, como temperaturas do ar, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação, radiação solar global e evapotranspiração, utilizados na visualização e interpretação dos dados.

Segundo Ferreira *et al.* (2021), ferramentas de visualização baseadas em dashboards favorecem a interpretação de informações geográficas e climáticas. Nesse contexto, o ATMOSENSE foi desenvolvido para operação em ambientes web, desktop e dispositivos móveis, possibilitando a consulta dos dados por meio de tabelas diárias, gráficos interativos e resumos meteorológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ATMOSENSE demonstrou capacidade para realizar a leitura, organização e processamento dos dados meteorológicos utilizados durante a etapa de validação. A plataforma executou a identificação de inconsistências, o tratamento de registros ausentes e a organização das informações em séries temporais, permitindo a geração automatizada de indicadores relacionados à temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, radiação solar global e velocidade do vento.

A interface desenvolvida possibilitou a navegação entre as etapas de autenticação, tratamento e visualização dos dados. Conforme apresentado na Figura 1, o fluxo operacional do ATMOSENSE compreende a tela principal (Figura 1.1), a autenticação do usuário (Figura 1.2), o tratamento dos dados meteorológicos (Figura 1.3) e a visualização dos resultados (Figura 1.4). A utilização de gráficos interativos e tabelas favoreceu a interpretação dos dados meteorológicos e o acesso às

informações processadas. De forma semelhante ao observado por Ferreira *et al.* (2021), o ATMOSENSE contribuiu para uma análise mais eficiente das variáveis meteorológicas monitoradas.

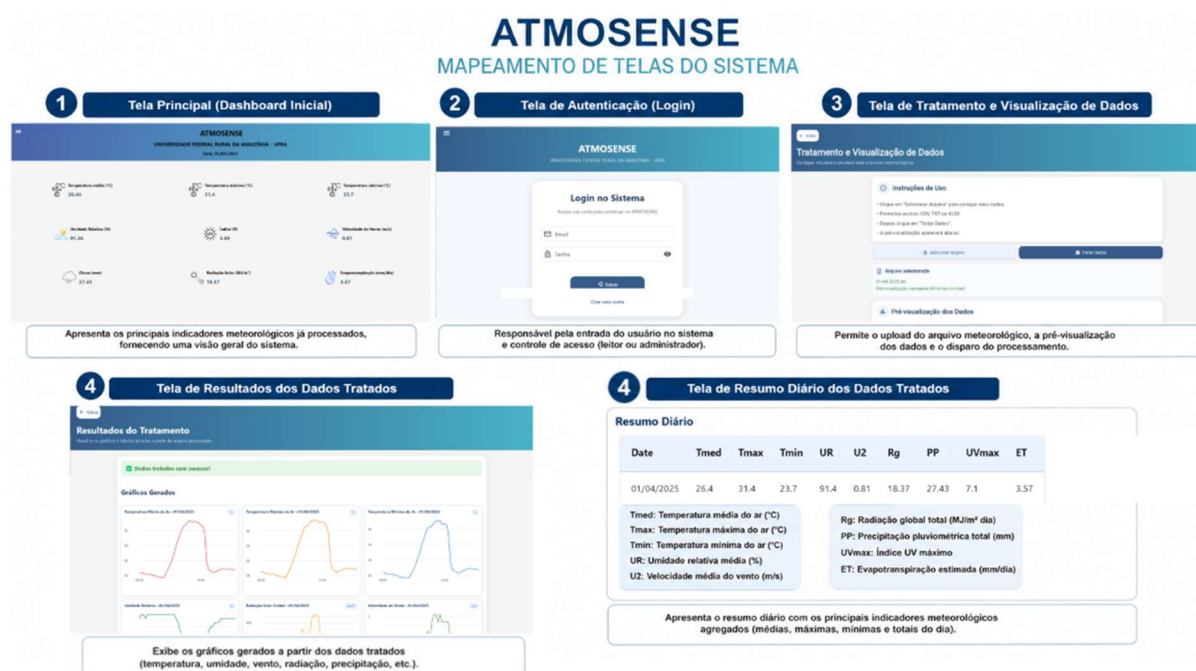


Figura 1. Fluxo de funcionamento do aplicativo ATMOSENSE: (1) tela inicial; (2) autenticação do usuário; (3) tratamento dos dados meteorológicos; (4) visualização dos resultados e tabela de resumo diário. Disponível em: <https://ufra-atmosense-4.onrender.com/>.

Do ponto de vista aplicado, o ATMOSENSE apresenta potencial para apoiar atividades de monitoramento meteorológico, ensino, pesquisa e extensão universitária. Adicionalmente, a plataforma pode contribuir para aplicações relacionadas à agricultura, gestão de recursos hídricos, monitoramento de eventos extremos e acompanhamento de condições ambientais na região amazônica.

CONCLUSÕES

O ATMOSENSE mostrou-se uma ferramenta capaz de integrar o tratamento, a organização e a visualização de dados meteorológicos provenientes de uma estação automática, contribuindo para a interpretação das condições atmosféricas e apoiando atividades de monitoramento ambiental, agricultura, gestão de recursos hídricos e tomada de decisão. No contexto regional, a plataforma amplia o acesso às informações meteorológicas em Capanema e em outras áreas da Amazônia, apresentando potencial para expansão por meio da incorporação de modelos preditivos baseados em inteligência artificial.

REFERÊNCIAS

- Ferreira, M.M.; Braz, H.D.M.; Gomes, F.S.V.; Oliveira Junior, J. 2021. Desenvolvimento de dashboards para análise de características geográficas e climáticas do estado da Paraíba (PB): projeto Plataforma Multi-Mapa PB. Comunicações em Informática, João Pessoa, 5(1):10–13.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>, Acesso em: 30 maio 2026.
- Marengo, J.A.; Souza Junior, C.M.; Thonicke, K.; Burton, C.; Halladay, K.; Betts, R.A.; Alves, L.M.; Soares, W.R. 2018. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science*, 6:228.
- Tanure, T.M.P.; Domingues, E.P.; Magalhães, A.S. 2023. Regional impacts of climate change on agricultural productivity: evidence on large-scale and family farming in Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 62:e262515.

ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS EN RÍO GALLEGOS, ARGENTINA

Carmona*, F.^{1,2}; Orte, P.F.^{1,3}; Laino Baldini, C.^{1,2}; Serrano Gandolfo, M.²; Wolfram, E.⁴

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Godoy Cruz 2290 (C1425FQB), CABA, Argentina

² Instituto de Hidrología de Llanuras Dr. Eduardo Jorge Usunoff, UNCPBA, Pinto 399 (B7000GHG), Tandil, Argentina

³ Departamento de Investigación en Láseres y Aplicaciones (DEILAP), UNIDEF (CITEDEF-CONICET), Villa Martelli (B1603), Buenos Aires, Argentina

⁴ Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Av. Dorrego 4019 (C1425GBE), CABA, Argentina

*Contacto: fcarmona@ihlla.org.ar

Palabras clave: PAR; radiación solar; GUV

INTRODUCCIÓN

La radiación fotosintéticamente activa (Photosynthetically Active Radiation, PAR; 400–700 nm) corresponde a la fracción del espectro solar utilizada por la vegetación para la fotosíntesis y constituye una variable fundamental en estudios de productividad primaria, modelado de cultivos y balance de carbono (Monteith, 1972; Running *et al.*, 2004). Sin embargo, las mediciones continuas de PAR son relativamente escasas debido a la limitada disponibilidad de sensores específicos, mientras que la radiación solar global (Rs) se registra de forma rutinaria en algunas estaciones meteorológicas (de Blas *et al.*, 2022). A esto se suman dificultades asociadas al mantenimiento de la precisión instrumental y a la ausencia de protocolos estandarizados de control de calidad para las observaciones de PAR (Wang *et al.*, 2020). Diversos estudios han demostrado que la PAR puede estimarse a partir de Rs mediante relaciones empíricas. No obstante, la relación PAR/Rs presenta variaciones asociadas a las condiciones atmosféricas y a la geometría solar, por lo que la incorporación de variables meteorológicas adicionales puede mejorar la precisión de las estimaciones (Akitsu *et al.*, 2015). La información disponible para ambientes subantárticos continúa siendo muy limitada, a pesar de presentar condiciones radiativas particulares y una marcada variabilidad estacional. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar modelos empíricos para estimar la radiación fotosintéticamente activa a partir de la radiación solar global y variables meteorológicas utilizando observaciones realizadas en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral, en Río Gallegos, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó utilizando observaciones obtenidas entre 2017 y 2025 en el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral (OAPA), ubicado en Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina (51,60°S; 69,32°O; 19 m s.n.m.). Debido a su ubicación en altas latitudes australes, el sitio presenta una marcada variabilidad estacional de las condiciones radiativas, constituyendo un escenario particularmente adecuado para evaluar modelos de estimación de radiación fotosintéticamente activa (PAR). La PAR fue medida mediante un radiómetro multibanda GUV-2511, mientras que la radiación solar global (Rs) se registró con un piranómetro Kipp & Zonen CMP21 con una frecuencia de un minuto (Orte *et al.*, 2022). Ambos instrumentos pertenecen a la red SAVER-Net. Además, se utilizaron registros horarios de temperatura del aire (Ta) y humedad relativa (HR) provenientes de una estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional instalada en el mismo sitio (Papandrea *et al.*, 2021).

Las observaciones fueron sometidas a un control de calidad y agregadas a escala horaria, descartándose registros con ángulos de elevación solar inferiores a 5°. El conjunto de datos final estuvo conformado por 8659 observaciones horarias. A partir de estas variables se ajustaron cuatro modelos empíricos de complejidad creciente para estimar PAR: i) un modelo lineal forzado al origen utilizando únicamente Rs; ii) un modelo lineal con intercepto basado en Rs; iii) un modelo de regresión lineal múltiple utilizando Rs, Ta y HR; y iv) un modelo que incorporó adicionalmente el índice de claridad atmosférica (k_T). El desempeño de los modelos fue evaluado mediante validación cruzada de cinco pliegues (5-fold cross-validation) utilizando el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE).

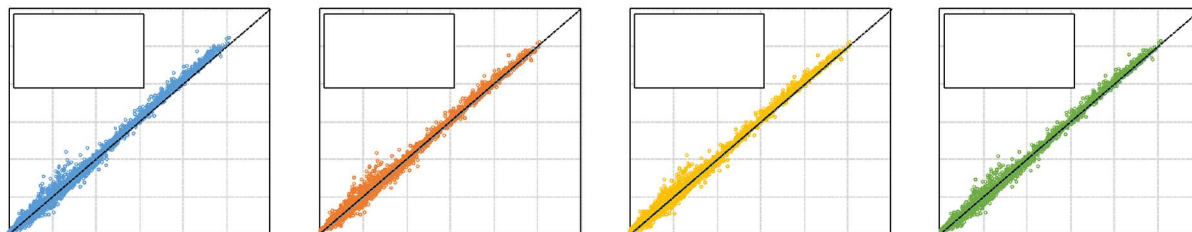
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuatro modelos desarrollados mostraron un alto desempeño para la estimación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR). El modelo lineal forzado al origen produjo una relación PAR/Rs = 0,487, valor consistente con el rango de 0,40–0,50 reportado en la literatura para diferentes condiciones atmosféricas (Akitsu *et al.*, 2015). A partir de este modelo de referencia, la incorporación de un intercepto y, posteriormente, de variables meteorológicas mejoró progresivamente la capacidad predictiva. Las ecuaciones obtenidas y las métricas de desempeño se presentan en la Tabla 1. La Figura 1 compara los valores observados y estimados para los cuatro modelos evaluados. En todos los casos se observó una elevada concordancia con la línea 1:1, reflejada en coeficientes de determinación ajustado iguales o superiores a 0,993. El mejor desempeño se obtuvo con el modelo que incorporó Rs, Ta, RH y k_T , mientras que el modelo basado únicamente en una relación constante PAR/Rs presentó el menor ajuste (Tabla 1). No obstante, los modelos fueron desarrollados y evaluados utilizando datos de una única estación ubicada en altas latitudes australes, por lo que su aplicación en otras regiones o condiciones climáticas requiere una validación adicional.

Tabla 1. Ecuaciones y desempeño estadístico de los modelos empíricos desarrollados para la estimación horaria de la PAR.

Variables	RMSE, $W\ m^{-2}$	MAE, $W\ m^{-2}$	R^2_{aj}	Ecuación (*)
Rs (sin intercepto)	8,15	5,68	0,993	$PAR = 0,487\ Rs$
Rs (con intercepto)	7,14	4,68	0,995	$PAR = 5,369 + 0,474\ Rs$
Rs, Ta, HR	6,83	4,59	0,995	$PAR = -1,929 + 0,472\ Rs + 0,475\ Ta + 0,056\ HR$
Rs, Ta, HR, k_T	6,72	4,66	0,995	$PAR = 2,340 + 0,481\ Rs + 0,311\ Ta + 0,038\ HR - 9,588\ k_T$

(*) Las ecuaciones fueron ajustadas con Rs, $W\ m^{-2}$, Ta, °C, RH, % y k_T , adimensional, utilizando PAR, $W\ m^{-2}$ como variable dependiente. En caso de emplear otras unidades, es necesario recalcular los coeficientes de las ecuaciones

**Figura 1.** Comparación entre los valores observados y estimados de radiación fotosintéticamente activa (PAR) para los cuatro modelos empíricos evaluados. La línea punteada representa la relación 1:1.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la radiación fotosintéticamente activa puede estimarse con elevada precisión a partir de la radiación solar global en un ambiente subantártico. La relación PAR/Rs obtenida para el modelo lineal forzado al origen (0,487) resultó consistente con los valores reportados en la literatura para diferentes condiciones atmosféricas. Si bien la radiación solar global constituye el principal predictor de PAR, la incorporación de variables que representan el estado de la atmósfera mejora la capacidad predictiva de los modelos y proporciona estimaciones más robustas bajo distintas condiciones de cielo. En conjunto, los modelos desarrollados constituyen una alternativa simple, precisa y de fácil implementación para estimar PAR en estaciones meteorológicas donde no se dispone de sensores específicos, ampliando las posibilidades de monitoreo en regiones con escasa instrumentación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral (OAPA) por el mantenimiento de la instrumentación y la adquisición de los datos utilizados en este estudio. Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Los autores agradecen a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) por la financiación del proyecto SAVER-Net.

REFERENCIAS

- Akitsu, T.; Kume, A.; Hirose, Y.; Ijima, O.; Nasahara, K.N. 2015. On the stability of radiometric ratios of photosynthetically active radiation to global solar radiation in Tsukuba, Japan. *Agricultural and Forest Meteorology* 209–210:59–68.
- de Blas, M.; García-Rodríguez, A.; García, I.; Torres, J.L. 2022. Validation and calibration of models to estimate photosynthetically active radiation considering different time scales and sky conditions. *Advances in Space Research* 70(7):1737–1760.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9:747–766.
- Orte, F.; Wolfram, E.; Luccini, E.; D'Elia, R.; Lusi, A.; Pallotta, J.; Nollas, F.; Carmona, F.; Papandrea, S.; Cabezas, M.D., Benítez, G.C.; Mizuno, A. 2022. SAVER-Net UV-Total solar irradiance monitoring network in Argentina. *Meteorológica* 47(2):18.
- Papandrea, S.; Orte, F.; D'elia, R.; Wolfram, E. 2021. Radiómetro solar de banda moderada GUV-2511: Interpretación de los datos y generación de productos. In *Nota Técnica SMN 2020-99*. <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1608>
- Running, S.W.; Nemani, R.R.; Heinsch, F.A.; Zhao, M.; Reeves, M.; Hashimoto, H. 2004. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *BioScience* 54:547–560.
- Wang, D.; Liang, S.; He, T.; Yu, Y.; Jia, K. 2020. Estimation of surface photosynthetically active radiation from satellite observations: Status and perspectives. *Remote Sensing of Environment* 237:111592.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CHIRPS NA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Fernandes*, G.S.T.¹; Souza, E.V.¹; Borges, A.B.C.¹; Moura, M.G.G.¹; Navarro, L.M.²; Carvalho, T.S.¹; Soares, A.G.M.¹; Almeida, I.R.¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capanema-PA, Brasil, ² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de ciência e Tecnologia, Sorocaba

*Contato: gabriel.fernandes@ufra.edu.br

Palavras-chave: validação; chuva; clima tropical

INTRODUÇÃO

O monitoramento meteorológico em ecossistemas é essencial para a compreensão da interação entre a vegetação e a atmosfera. O registro de dados de precipitação pluviométrica na região amazônica é realizado, em grande parte, por meio de uma rede de estações pluviométricas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Entretanto, esta rede não é suficiente e nem representativa por a sua baixa distribuição na região Norte (INMET, 2025). Diante desse cenário, torna-se necessária a utilização de ferramentas alternativas que possibilitem uma melhor cobertura espacial e temporal das informações pluviométricas.

O produto CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) é um banco de dados que associa dados de pluviômetros com dados de satélite. Devido a diferentes métodos e existência de produtos diversificados que variam para cada região no quesito espaço temporal, é de suma importância a validação dos dados do CHIRPS, a partir de uma série temporal consolidada que abrange o território brasileiro (Pereira *et al.*, 2013). Nesse contexto, o presente trabalho objetivou testar o desempenho de dados provenientes do produto CHIRPS em escala diária e mensal em relação a dados reais obtidos na região da Amazônia Oriental.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo abrange a microrregião Bragantina, localizada na região nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental, Brasil, a qual é composta por 13 municípios que, juntos, abrangem uma área territorial de 8.77,451 km². A região integra, segundo classificação climática de Köppen, o clima tropical de monção (Am) que é caracterizada por temperaturas e umidade relativa elevadas (Alvares *et al.*, 2013).

Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica oriundos do conjunto de dados CHIRPS, desenvolvido pelo *Climate Hazards Group* (Funk *et al.*, 2015), sendo obtidos através da plataforma *Google Earth Engine*, para os municípios de Capanema (01°11'45" S; 47°10'51" O, 24 m), Bragança (01° 03' 13" S; 46° 45' 56" O, 19 m) e Tracuateua (01° 04' 26" S; 46° 54' 17" O, 20 m s.n.m.). As informações foram extraídas em escala diária, com resolução espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km). Os dados diários observados foram obtidos em estações meteorológicas automática (Bragança e Capanema) e convencional (Tracuateua), pertencentes ao INMET e à Universidade Federal Rural da Amazônia *campus* Capanema.

Os dados utilizados nesta análise correspondem ao período de 1991 a 2025, com recortes temporais de acordo com a disponibilidade de cada estação meteorológica. O desempenho das estimativas de precipitação do CHIRPS foi avaliado por meio dos índices estatísticos erro quadrático médio (RMSE), erro absoluto médio (MAE), viés (BIAS), coeficiente de correlação de Pearson (R) e coeficiente de determinação (R²). Esses indicadores permitiram quantificar a magnitude dos erros, tendências sistemáticas e o grau de associação entre os dados estimados e observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices estatísticos indicaram que o desempenho do produto CHIRPS variou em função da escala temporal analisada (Tabela 1). Na escala diária, os valores de RMSE variaram entre 11,77 mm (Capanema) e 14,90 mm (Bragança), enquanto o MAE oscilou entre 5,44 e 7,08 mm. Os coeficientes de correlação (R) apresentaram valores moderados, variando de 0,41 a 0,55, com coeficientes de determinação (R²) entre 0,17 e 0,31, evidenciando limitada capacidade do produto em reproduzir a variabilidade diária da precipitação observada. Além disso, os valores de BIAS indicaram tanto superestimativas quanto subestimativas, com destaque para Capanema, que apresentou tendência de subestimação (-1,74 mm).

Tabela 1. Índices de desempenho para dados do CHIRPS em relação a dados observados em estações meteorológicas na região da Amazônia Oriental.

Município	Escala diária				
	RMSE	MAE	BIAS	R	R ²
Bragança	14,90	7,07	0,94	0,41	0,17
Capanema	11,77	5,44	-1,74	0,55	0,31
Tracuateua	13,38	7,08	0,10	0,48	0,23
Escala mensal					
Bragança	109,57	68,93	37,83	0,87	0,75
Capanema	89,82	56,85	-50,60	0,96	0,93
Tracuateua	62,80	43,16	4,48	0,95	0,89

Em contrapartida, observou-se melhora substancial no desempenho do CHIRPS quando os dados foram agregados para a escala mensal. Os coeficientes de correlação aumentaram para valores entre 0,87 e 0,96, enquanto os valores de R^2 variaram de 0,75 a 0,93, demonstrando elevada capacidade do produto em representar a variabilidade temporal da precipitação acumulada. Os menores erros foram observados em Tracuateua, que apresentou RMSE de 62,80 mm e MAE de 43,16 mm, enquanto Capanema exibiu o maior coeficiente de correlação ($R = 0,96$). Esse melhor desempenho pode estar associado ao menor período de dados disponível para essa estação (2024 a 2026). Em comparação às demais estações, que possuem séries históricas superiores a 10 anos, esse recorte temporal mais curto está sujeito a uma menor variabilidade interanual. Consequentemente, a menor amplitude das variações climáticas ao longo do período analisado pode ter contribuído para o melhor desempenho observado.

Os resultados evidenciam que a agregação temporal reduz a influência de erros associados à estimativa de eventos individuais de chuva, melhorando significativamente a concordância entre os dados estimados e observados. Esse comportamento é amplamente reportado na literatura para produtos de precipitação por sensoriamento remoto, os quais tendem a apresentar desempenho mais robusto em escalas mensais do que em escalas diárias (Arregocés *et al.*, 2023). Dessa forma, os resultados sugerem que o CHIRPS possui potencial para aplicações relacionadas ao monitoramento climático e estudos hidrológicos na Amazônia Oriental, especialmente quando empregadas séries temporais agregadas mensalmente.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o produto CHIRPS apresentou desempenho superior na escala mensal em comparação à escala diária para a estimativa da precipitação na Amazônia Oriental. A agregação temporal proporcionou aumento significativo dos coeficientes de correlação e redução da influência de erros associados a eventos individuais de chuva. De modo geral, o produto representou adequadamente a variabilidade pluviométrica da região, embora tenham sido observadas tendências locais de superestimação e subestimação. Assim, o CHIRPS mostra-se uma ferramenta confiável para aplicações climatológicas e hidrológicas, especialmente em análises baseadas em dados mensais.

REFERÊNCIAS

- Arregocés, H.A.; Rojano, R.; Pérez, J. 2023. Validation of the CHIRPS dataset in a coastal region with extensive plains and complex topography. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 8:100452.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.D.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift* 22(6):711-728.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data* 2(1):150066.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2026. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas e Convencionais do INMET. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 31 maio 2026.
- Pereira, G.; Silva, M. E. S.; Moraes, E. C.; Cardozo, F. D. S. 2013. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(3), 139-148.

ESTUDIO INICIAL DE BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS DE SERVICIOS CLIMÁTICOS: METODOLOGÍA EN LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO

Francce*, V.¹; Sambuccetti, E.¹; Ferreira, L.¹; Romero, P.¹

¹ Servicio Meteorológico Nacional, Av. Dorrego 4019, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 1425, Argentina

*Contacto: vfrancce@smn.gob.ar

Palabras clave: evaluación de impacto; valoración económica; criollos; vulnerabilidad climática

INTRODUCCIÓN

Los Estudios de Beneficios Socioeconómicos (SEB, del inglés Socio-Economic Benefits) buscan cuantificar el retorno de la inversión en servicios de tiempo, agua y clima (TAC). Según OMM (2015), los servicios meteorológicos/hidrológicos no generan valor económico y social, a menos que los usuarios se beneficien de las decisiones que adoptan como consecuencia de la información provista, aún si los servicios son de una calidad óptima. Entonces, la evaluación de los beneficios socioeconómicos requiere comprender el proceso de toma de decisiones de los usuarios, considerando la actividad que desarrollan, sus condiciones ambientales y socioeconómicas, así como las particularidades del territorio donde se localizan.

Distintos autores reportan relaciones beneficio-coste de entre 4:1 y 36:1 (Hallegatte, 2012), es decir, cada dólar invertido en servicios hidrometeorológicos y sistemas de alerta temprana puede generar entre US\$ 4 y US\$ 36 en beneficios económicos. Persiste una vacancia en América Latina y, particularmente, en Argentina en los estudios SEB aplicados a los servicios TAC locales. En el ámbito regional, MeteoSwiss & SENAMHI (2015) estimaron beneficios entre US\$ 92 y US\$ 150 millones para el sector agrícola peruano en diez años, confirmando que los beneficios de los servicios climáticos superan ampliamente los costos de implementación. En este marco, el proyecto ENANDES+ (Enhancing Adaptive Capacity of Andean Communities through Climate Services), implementado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE/SDC), impulsa el desarrollo de estudios SEB en seis países andinos, entre ellos Argentina.

El presente trabajo describe la metodología aplicada en el SEB Ganadero de Santa Victoria Este localizado en la cuenca del Río Pilcomayo, noreste de la provincia de Salta y dentro de la ecorregión “Gran Chaco”.

El objetivo del SEB es construir un modelo de beneficios con evidencia cuantitativa y cualitativa que fundamente decisiones de financiamiento y permita escalar esta experiencia a otros sectores y territorios. El estudio SEB es liderado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en articulación con la Agencia de Extensión Rural Santa Victoria Este del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (AER Santa Victoria Este) y con el apoyo académico del Instituto de Investigaciones Económicas (IIE) de la Universidad Nacional de Salta (UNSA).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolla mediante una metodología estructurada en seis fases, que integran trabajo de gabinete, articulación institucional, recolección de datos en campo, procesamiento de la información y difusión de resultados. Su implementación comenzó en 2024 con una serie de capacitaciones e intercambios con los socios regionales, orientados a adaptar la metodología al contexto de la cuenca del río Pilcomayo. En 2025 se seleccionó la población a valorar: pequeños productores criollos (poblaciones rurales no indígenas, descendientes de colonos o familias campesinas asentadas históricamente en el territorio y dedicadas a actividades ganaderas) con vulnerabilidad económica que realizan ganadería mixta de ciclo completo en campo abierto (bovinos, caprinos, equinos, aves de corral y cerdos). También, se escogieron los servicios climáticos a evaluar: el Pronóstico Climático Trimestral, el Pronóstico Semanal y un hipotético Boletín Agroclimático periódico con perspectivas climáticas y prácticas recomendadas. El trabajo de campo con los usuarios comenzó en agosto de 2025, en el marco de la primera Mesa Agroclimática Comunitaria (MAC) de ENANDES+ y continuó con nuevos encuentros junto a las siguientes MAC (octubre 2025 y junio 2026). Las siguientes fases del SEB se desarrollarán en la segunda mitad del 2026.

El estudio adopta un enfoque multidisciplinario e iterativo que combina métodos cuantitativos y cualitativos para caracterizar la vulnerabilidad climática del sector ganadero de la región y estimar los beneficios socioeconómicos derivados del uso de los servicios climáticos. La metodología comprende la aplicación de los siguientes instrumentos de relevamiento en campo y el desarrollo de un modelo econométrico para la estimación de los beneficios socioeconómicos de los servicios TAC:

- evaluación de impactos de climáticos en el ganado: en grupos los usuarios trabajaron sobre los impactos generados por lluvias intensas, sequía y temperaturas extremas. Para altas temperaturas se usó un semáforo de discomfort animal basado en el Índice de Temperatura y Humedad.
- primeras encuestas de campo: se elaboraron 19 encuestas a los productores criollos en 2025 de las cuales se obtuvo información sobre características de la producción, percepción de servicios climáticos, estrategias de adaptación, perspectivas de género en el manejo ganadero, saberes locales ancestrales de previsión del tiempo.
- entrevistas semiestructuradas: se realizaron 13 entrevistas semiestructuradas a productores criollos en distintos parajes del municipio de SVE con el objetivo de profundizar lo recabado en las encuestas anteriores, y particularmente comprender el proceso de comercialización de los productos ganaderos.

- encuestas definitivas de campo: se llevarán a cabo unas 60 encuestas en base al diseño muestral estratificado para evaluar a una población de más de mil productores.
- modelo econométrico: la valoración de los beneficios se apoya en la metodología de daños evitados (CIIFEN, 2019) gracias al uso de información TAC oportuna.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las encuestas realizadas a productores criollos entre 2025 permitieron identificar como principales amenazas meteorológicas la sequía y las lluvias escasas, el calor extremo y las inundaciones por desborde del río (Tabla 1). Según dicho relevamiento, los principales medios utilizados para acceder a información meteorológica son la radio y las aplicaciones del celular, seguidos por internet y otros (Tabla 2). La falta de acceso a internet en el puesto fue mencionada solamente por un productor. Se identificó además que, por la forma de agrupación de los productores en torno a lazos familiares y cercanía, la articulación con las asociaciones de productores criollos emerge como un canal clave para el diseño y la difusión de servicios TAC.

Tabla 1. Resultados encuesta a productores ganaderos sobre principales amenazas climáticas, 2025.

Amenazas climáticas identificadas	Casos afirmativos, %	Casos negativos, %	Total, %
Sequía y lluvias escasas	15 (79 %)	4 (21 %)	19 (100 %)
Calor extremo	8 (42 %)	11 (58 %)	19 (100 %)
Inundación por desborde del río	5 (26 %)	14 (74 %)	19 (100 %)

Tabla 2. Medios audiovisuales utilizados por los ganaderos para obtener información meteorológica, 2025.

	Radio	Aplicación celular	Internet	Televisión	Vecinos	Redes sociales	Poseo acceso a internet
Casos afirmativos, %	11 (58 %)	11 (58 %)	7 (37 %)	5 (26 %)	3 (16 %)	3 (16 %)	18 (95 %)
Casos negativos, %	8 (42 %)	8 (42 %)	12 (63 %)	14 (74 %)	16 (84 %)	16 (84 %)	1 (5 %)
Total, %	19 (100 %)	19 (100 %)	19 (100 %)	19 (100 %)	19 (100 %)	19 (100 %)	19 (100 %)

CONCLUSIONES

La experiencia demuestra que los SEB requieren un abordaje interdisciplinario que combine metodologías cuantitativas con un trabajo territorial sostenido y una estrecha articulación entre instituciones y usuarios. El intercambio con los productores permitió comprender cómo la información meteorológica es interpretada e incorporada en la toma de decisiones y reconocer el valor de los saberes locales para el diseño de servicios climáticos adaptados a las necesidades de los usuarios finales. El desarrollo del estudio en su etapa inicial permitió identificar desafíos clave para consolidar SEB robustos, escalables y metodológicamente consistentes, entre ellos se destacan:

- limitada conectividad digital en zonas rurales, que dificulta el acceso oportuno a los servicios climáticos
- complejidad logística para realizar relevamientos de campo en territorios remotos con accesibilidad condicionada por la estacionalidad y la intransitabilidad durante los períodos de lluvia.
- necesidad de integrar los conocimientos y prácticas climáticas locales en contextos interculturales
- importancia de contar con aliados locales (organismos públicos, organizaciones de la sociedad civil u otras instituciones) que faciliten el acceso a las comunidades y contribuyan a la implementación del trabajo de campo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto ENANDES+, impulsado por OMM y financiado por COSUDE/SDC. Los autores agradecen la colaboración de INTA AER Santa Victoria Este, SENAMHI Perú y de las instituciones y comunidades participantes en las actividades desarrolladas en la cuenca del río Pilcomayo.

REFERENCIAS

- OMM. 2015. El valor del tiempo y el clima: evaluación económica de los servicios meteorológicos e hidrológicos. OMM-Nº 1153. 326 p.
- Hallegatte, S. 2012. A cost-effective solution to reduce disaster losses in developing countries: Hydro-meteorological services, early warning, and evacuation (Policy Research Working Paper 6058). The World Bank. 20 p.
- MeteoSwiss & SENAMHI. 2015. Beneficios socioeconómicos de los servicios climáticos. Estudio de caso: Producción de café y maíz en Cusco. 29 p.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). 2019. Comprendiendo la vulnerabilidad, el riesgo y los impactos para la resiliencia climática: Guía metodológica basada en la experiencia. 122 p.

UPLUV: UN HERRAMIENTA DINÁMICA PARA LA DIGITALIZACIÓN DE FAJAS PLUVIOGRÁFICAS

Franco, M.¹; Flores, K.²; Barnatán, I.²; Almiron, M.A.³; Hamze*, L.M.³

¹ Ministerio de Industria Trabajo y Comercio, Corrientes, 3400 Argentina

² Servicio Meteorológico Nacional, Av. Dorrego 4019 (1425), Buenos Aires, Argentina

³ INTA EEA Bella Vista, RP 27 KM 38., Bella Vista, Corrientes, 3432, Argentina

*Contacto: hamze.leila@inta.gob.ar

Palabras clave: precipitación; intensidad; eventos extremos; planificación urbana

INTRODUCCIÓN

La información de precipitación instantánea, media y máxima en períodos horarios o sub-horarios es indispensable para la planificación de desagües urbanos y rurales. Asimismo, caracterizar la evolución temporal de la intensidad de precipitación permite comprender mejor los cambios en eventos extremos asociados al cambio climático (Torres *et al.*, 2025, Sangüesa *et al.*, 2025). En Argentina la información de precipitación en periodos sub-diarios es escasa. Las estaciones automáticas han permitido un acceso más directo a los datos horarios en las últimas décadas, no obstante, las series históricas medidas mediante pluviógrafos convencionales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y otras instituciones se conservan mayormente en formato físico sin digitalizar.

El objetivo de este trabajo es presentar y validar una herramienta informática que unifica y acelera el proceso de digitalización de fajas pluviográficas. Para ello se toma como referencia la herramienta utilizada actualmente por el SMN y registros pluviométricos convencionales de precipitación diaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

La aplicación fue desarrollada en Python; utiliza una interfaz gráfica con Tkinter, donde el usuario realiza la vectorización de la curva masa mediante puntos de control. A partir de esta información, el sistema ejecuta algoritmos y calcula de manera automatizada las precipitaciones máximas generando salidas en formatos tabulares y gráficos exportables. La información se integra en una base de datos en la nube con autenticación que garantiza la seguridad de los datos y el acceso controlado. Además, incorpora un modo de operación offline que asegura la continuidad de las tareas sin conectividad.

La validación se realizó con un set de datos pluviométricos y pluviográficos de los años 2004-2007 del observatorio meteorológico INTA Bella Vista (Corrientes), en total 316 fajas de las cuales 260 tuvieron líneas completas y confiables ($n = 260$). Los datos pluviométricos corresponden a lámina diaria registrada a las 9 HOA (12 UTC), mientras que los pluviográficos consisten en fajas diarias recambiadas en el mismo horario. La digitalización se realizó en paralelo utilizando Upluv y la herramienta que actualmente es el estándar en el SMN, PluvioRSMNArg (Flores, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usabilidad de Upluv

Si bien no se realizaron evaluaciones sistemáticas, la aplicación fue probada con usuarios de distintos niveles de experiencia informática. En todos los casos, el aprendizaje fue rápido y efectivo. Los resultados obtenidos fueron confiables en menos de una jornada de trabajo, lo que indica el potencial de Upluv para agilizar la digitalización de grandes volúmenes de información pluviográfica.

Validación de Upluv

Las diferencias en la precipitación total en 24 h entre ambas herramientas (PluvioRSMNArg y Upluv) y la precipitación medida con pluviómetro (denominada para este trabajo “error”) se concentraron en 0,1–1 mm (Tabla 1), rango prácticamente despreciable. Los rangos más relevantes: 5-10 mm y 10-20 mm sumaron frecuencias de 2,5 errores por año utilizando tanto Upluv como PluvioRSMNArg, respectivamente. El rango de mayores errores (>20 mm) ocurrió en muy pocos casos y se correspondió con fajas donde falló el registro gráfico del pluviógrafo. No se observaron diferencias significativas entre herramientas en ningún rango.

Al correlacionar los valores obtenidos con ambas herramientas en intervalos de tiempo menores (15', 30', 1 h y 2 h) se observaron coeficientes de correlación entre 0,915 y 0,938, lo que indica una buena concordancia entre herramientas incluso para bajos volúmenes de precipitación (Figura 1). Para los intervalos de 30', 1 h y 2 h, la recta de regresión sugiere que Upluv tiende a subestimar levemente los valores bajos de precipitación y a sobreestimar los valores de precipitación más altos, respecto a lo obtenido con PluvioRSMNArg. Se requieren análisis adicionales para determinar la fuente de estas diferencias, lo que resultará de gran importancia al momento de homogeneizar series obtenidas con ambas metodologías.

Recientemente, han sido hechos en la región distintos esfuerzos por implementar sistemas ágiles de digitalización que permitan incorporar información pluviográfica histórica a los análisis climáticos (Cardoso *et al.*, 2023; Sangüesa *et al.*, 2025). En este contexto el desarrollo aquí presentado podría permitir incrementar el volumen de información disponible de precipitación instantánea disponible para su análisis en el corto plazo generando oportunidades de investigación y uso de la información con fines de planificación a nivel nacional, provincial y local.

Tabla 1. Frecuencia anual de errores (media $\pm$ EE) agrupados en rangos (mm) mediante las herramientas Upluv y PluvioRSMNArg comparados con los valores de pluviómetro convencional en 24 h.

Rango de error, mm	Upluv	PluvioRSMNArg
0,1-1	41,2 $\pm$ 2,5	40,5 $\pm$ 1,0
1-2	4,5 $\pm$ 1,3	6,2 $\pm$ 1,7
2-5	2,7 $\pm$ 1,1	2,2 $\pm$ 0,7
5-10	2,0 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,9
10-20	0,5 $\pm$ 0,3	1,0 $\pm$ 0,6
>20	2,5 $\pm$ 1,0	2,2 $\pm$ 0,6

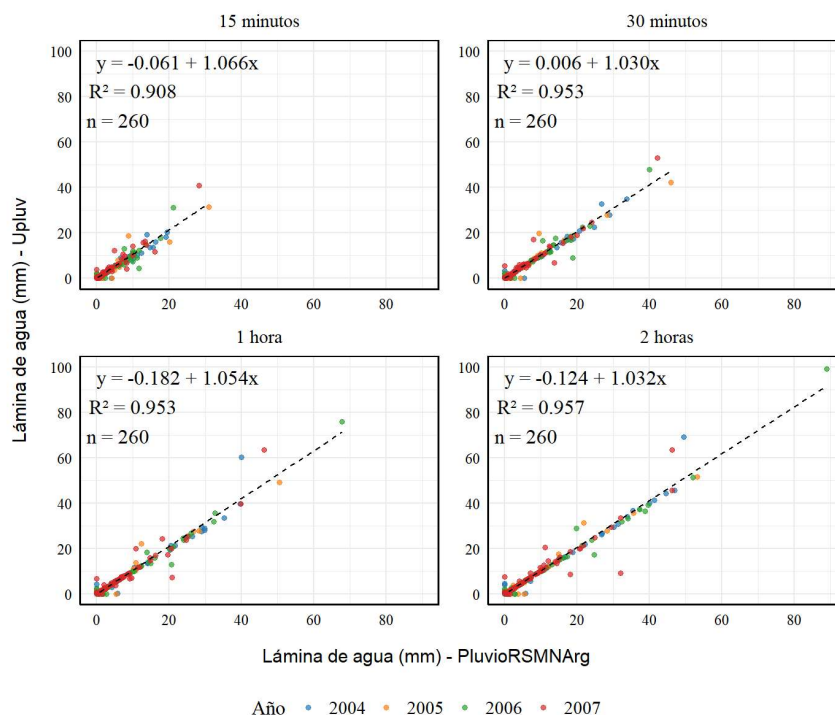


Figura 1. Lámina de agua precipitada (mm) en distintos intervalos de tiempo (10', 15', 1 h y 2 h) estimada mediante Upluv en función de la estimada en el mismo lapso mediante la herramienta PluvioRSMNArg.

CONCLUSIONES

La aplicación Upluv constituye una herramienta eficaz para agilizar y sistematizar la digitalización y tabulación de fajas pluviográficas, permitiendo obtener información de precipitación en intervalos sub-diarios con un nivel de precisión comparable al de los métodos actualmente utilizados. Su facilidad de uso y capacidad de integración de datos la posicionan como una alternativa robusta para el procesamiento de grandes volúmenes de información histórica, contribuyendo a mejorar la disponibilidad y calidad de datos hidrometeorológicos.

REFERENCIAS

- Cardoso, C.O.; Bertol, I.; Soccol, O.J.; Sampaio, C.A.D.P. 2013. Generation of intensity duration frequency curves and intensity temporal variability pattern of intense rainfall for Lages/SC. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 57(2):274-283.
- Flores, K. 2025: Generación y procesamiento de datos pluviográficos en el SMN: desarrollo de método de digitalización. *Nota Técnica SMN* 2025-194.
- Torres, I.P.; Cecilio, R.A.; de Almeida, L.T.; Abreu, M.C.; da Silva, D.D.; Zanetti, S.S.; Xavier, A.C. 2025. Rainfall intensity-duration-frequency curves dataset for Brazil. *Data* 10(2):17.
- Sangüesa, C.; Ibañez, A.; Pizarro, R.; Vidal-Silva, C.; Garcia-Chevesich, P.; Mendoza, R.; Toledo, C.; Pino, J.; Paredes, R.; Ingram, B. 2025. A sub-hourly precipitation dataset from a pluviographic network in Central Chile. *Data*, 10(7):95.

EFFECTO DE LA VENTANA DE ACUMULACIÓN DIARIA (09 HL VS 00 UTC) EN LA PRECIPITACIÓN DE LA LLANURA PAMPEANA

Golin*, A.^{1,2}; Mujica, C.^{1,2,3}; Laddaga J.^{2,3}; Elguezabal C.^{2,3}; Villanueva, I.^{1,2}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff" (IHLLA, UNCPBA-CIC-CONICET)

² Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

³ Centro Regional de Agrometeorología (CRAGM), Facultad de Agronomía, UNICEN. República de Italia 780, Azul (B7300), Buenos Aires, Argentina

*Contacto: aile@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras clave: convección nocturna; homogeneización de series; red telemétrica

INTRODUCCIÓN

El total de precipitación diaria depende de la ventana horaria en que se acumula. En Argentina, los registros históricos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) acumulan de 09 a 09 hora local (HL), mientras que las redes telemétricas y los productos satelitales emplean acumulaciones diarias con corte a las 00 UTC (= 21 HL): la ventana del SMN cierra a las 12 UTC, doce horas después del corte de 00 UTC. Al integrar unas fuentes con otras, ese desfase puede introducir discrepancias sistemáticas si la lluvia presenta un ciclo diurno marcado, como ocurre en el sudeste de Sudamérica por la convección nocturna asociada al Sistema Monzónico Sudamericano y a la corriente en chorro de capas bajas (Vera *et al.*, 2006; Salio *et al.*, 2007). El objetivo fue cuantificar el ciclo diario de la lluvia en la cuenca del arroyo del Azul y el efecto del desfase 09 HL vs 00 UTC sobre el total diario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros horarios de la red telemétrica del IHLLA (6 estaciones, 2005-2025; 598.327 registros horarios con dato; se consideró lluvia cuando la precipitación horaria fue $\geq 0,1$ mm h⁻¹). Se calculó la distribución de la lluvia por hora UTC en dos fases del Sistema Monzónico Sudamericano, activa (oct-feb) e inactiva (mar-sep), y el sesgo de suponer una distribución uniforme (fracción 00-12 UTC – 50 %). Con los mismos registros telemétricos se construyeron dos series de precipitación diaria, acumulando la lluvia entre las 00 y 00 UTC y entre las 09 y 09 HL (12 a 12 UTC), respectivamente. Luego se evaluó el efecto de reasignar temporalmente la serie de 00 UTC mediante un desplazamiento de 12 h. La comparación se realizó sobre los días con lluvia ($\geq 0,1$ mm), cuantificando la asociación lineal mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r) y la magnitud de las diferencias mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE), de acuerdo con Wilks (2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La lluvia mostró un ciclo diurno marcado con máximo nocturno (~04 UTC = 01 HL), más pronunciado en la fase activa (Figura 1). En esa fase, el 59,7 % de la lluvia se concentra entre las 00 y 12 UTC (53,0 % en la fase inactiva), frente al 50 % de una distribución uniforme; en consecuencia, el apartamiento respecto de la uniformidad alcanza 9,7 y 3,0 puntos porcentuales en las fases activa e inactiva, respectivamente. El máximo nocturno es coherente con la climatología de los sistemas convectivos de mesoescala del sudeste de Sudamérica, que maduran de noche favorecidos por el transporte de humedad de la corriente en chorro de capas bajas (Vera *et al.*, 2006; Salio *et al.*, 2007). El mayor apartamiento de la uniformidad durante la fase activa podría vincularse con una mayor contribución de la convección organizada en el período cálido; el análisis realizado no permite atribuir la distribución más uniforme de la fase inactiva a un mecanismo específico. La coincidencia de la señal con un patrón regional documentado sugiere que este comportamiento podría presentarse en otras redes de la llanura pampeana. Esta asimetría implica que la ventana del SMN (09 HL) y la de 00 UTC asignan una misma tormenta nocturna a días calendario distintos.

El efecto sobre el total diario se evaluó comparando, a partir de los mismos registros telemétricos, la serie acumulada con corte a las 00 UTC y la serie acumulada con corte a las 09 HL: sin aplicar el desplazamiento, el acuerdo es menor ($r = 0,87$; RMSE = 39,5 mm), mientras que al aplicar el desplazamiento temporal de 12 h mejora marcadamente ($r = 0,95$; RMSE = 23,9 mm) (Figura 2). La reducción del RMSE en un 39 % indica que una parte sustancial del desacuerdo entre ambas series se asocia con la desalineación de las ventanas de acumulación. En consecuencia, ignorar el desfase incrementa el error de comparación entre series construidas con diferentes convenciones horarias. El error remanente puede deberse a que el desplazamiento reasigna el total diario en bloque: los eventos que atraviesan la hora de corte y los días con lluvia en ambas subventanas no pueden separarse cuando solo se dispone de acumulados diarios. La dispersión residual es mayor en los días de mayor acumulación (Figura 2b).

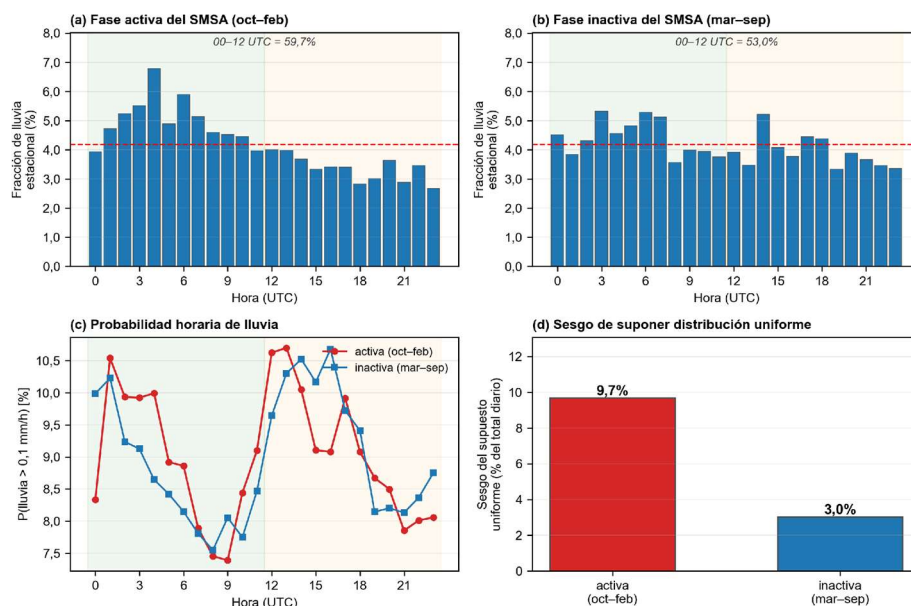


Figura 1. Distribución diurna de la lluvia (red telemétrica IHLLA, 2005-2025): (a-b) fracción por hora UTC en las fases activa e inactiva; (c) probabilidad horaria de lluvia; (d) sesgo de suponer distribución uniforme.

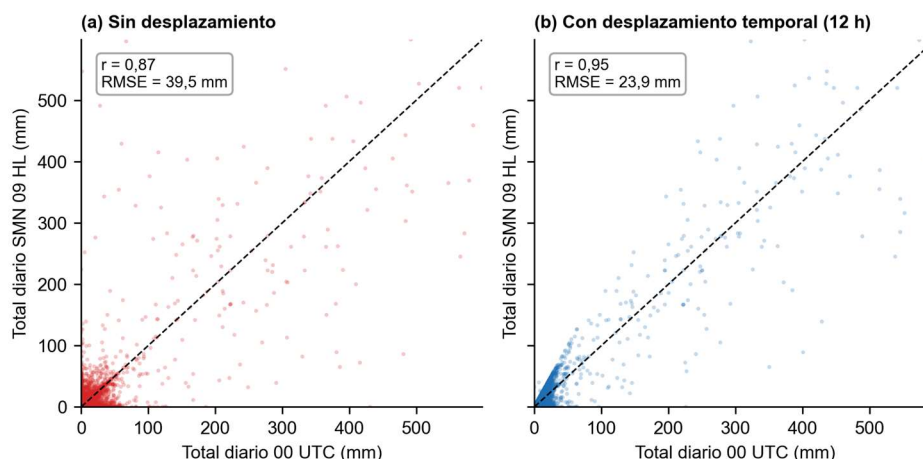


Figura 2. Total diario de la serie con corte a las 00 UTC frente al de la serie con corte a las 09 HL, ambas construidas a partir de los mismos registros telemétricos: (a) sin desplazamiento y (b) con desplazamiento temporal de 12 h. Línea: relación 1:1.

CONCLUSIONES

En la red analizada, la precipitación presenta un ciclo diurno con máximo nocturno. El uso de ventanas con cortes a las 09 HL y a las 00 UTC puede asignar parte de una misma tormenta a días distintos; en esta comparación, el RMSE se redujo de 39,5 a 23,9 mm al aplicar un desplazamiento temporal de 12 h. Al integrar series históricas con datos telemétricos o satelitales conviene alinear la ventana de acumulación, especialmente en redes o regiones que combinen las convenciones 09 HL y 00 UTC allí donde la precipitación presenta un ciclo diurno marcado.

AGRADECIMIENTOS

A la red telemétrica del IHLLA por los datos horarios de precipitación utilizados, y al CONICET y a la UNICEN por el apoyo institucional.

REFERENCIAS

- Salio, P.; Nicolini, M.; Zipser, E.J. 2007. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. *Monthly Weather Review* 135:1290-1309.
- Vera, C.; Baez, J.; Douglas, M.; Emmanuel, C.B.; Marengo, J.; *et al.* 2006. The South American Low-Level Jet Experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society* 87:63-77.
- Wilks, D.S. 2011. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3ra ed. Academic Press. Oxford, Reino Unido. 676 p.

CARACTERIZACIÓN DE LOS EVENTOS DE INVERSIÓN TÉRMICA DURANTE JUNIO 2025–JUNIO 2026 EN ZAVALLA, SANTA FE

Jozami, E.^{1,2,3}; Barbero*, S.¹; Dickie, M.J.^{1,4}

¹ Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Cs Agrarias. Universidad Nacional de Rosario (UNR)

² Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario

³ Instituto de investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario Zavalla, 2125, Argentina

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

*Contacto: emijoza@gmail.com

Palabras clave: estabilidad atmosférica; velocidad del viento; micrometeorología

INTRODUCCIÓN

La inversión térmica es un fenómeno atmosférico caracterizado por el incremento de la temperatura con la altura en los niveles próximos a la superficie, en contraste con el gradiente térmico habitual. Estas condiciones se desarrollan principalmente durante noches despejadas y con escasa velocidad del viento, favoreciendo la estabilidad atmosférica y reduciendo la mezcla vertical del aire (Costanzo *et al.*, 2019). En ambientes agrícolas, la ocurrencia de inversiones térmicas resulta de especial interés debido a su influencia sobre la distribución de temperaturas cercanas al suelo, el riesgo de heladas radiativas y la dispersión de contaminantes y agroquímicos. En particular, la aplicación de fitosanitarios bajo condiciones de inversión térmica favorece la deriva, disminuyendo la calidad de aplicación y aumentando el riesgo de impactos en áreas no objetivo (Leiva, 2013).

El monitoreo continuo mediante torres micrometeorológicas permite caracterizar la intensidad y duración de estos eventos a partir de mediciones simultáneas de temperatura a diferentes alturas y de variables meteorológicas asociadas, como la velocidad del viento. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la ocurrencia de inversiones térmicas registradas durante el período junio de 2025–junio de 2026 en la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNR), evaluando su frecuencia mensual, duración y relación con la velocidad del viento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros horarios de temperatura del aire medidos a 1,5 m y 10 m de altura, junto con registros de velocidad del viento, obtenidos mediante una torre de inversión (Seedmech) ubicada en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (33°2' S; 60°54' O; 50 m s.n.m.), en Zavalla, Santa Fe. El período analizado comprendió desde el 18 de junio de 2025 hasta el 4 de junio de 2026. Con el fin de trabajar únicamente con jornadas completas de observación, se excluyeron el 18 de junio de 2025 y el 4 de junio de 2026, por corresponder a las fechas extremas de la base de datos y presentar mediciones parciales. En consecuencia, el análisis se realizó únicamente sobre días con registros horarios completos.

Como control de calidad, se verificó que los valores diarios de velocidad media del viento se calcularan a partir de los 24 registros horarios correspondientes (00:00 a 23:00 h). Se consideró que existió inversión térmica cuando la temperatura del aire registrada a 10 m de altura fue superior a la registrada a 1,5 m. A partir de los registros horarios se identificaron los eventos de inversión térmica y, para cada día, se clasificó como día sin inversión térmica aquel en el que no se registró inversión en ninguna de las 24 horas del día. Posteriormente, se contabilizó el número mensual de días sin inversión. Asimismo, se calculó la velocidad media mensual del viento y la velocidad media del viento correspondiente a los días sin inversión térmica, con el objetivo de evaluar la relación entre ambas variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período analizado se registraron eventos de inversión térmica en la mayoría de los días de todos los meses del año (Tabla 1). Marzo presentó la mayor cantidad de días sin inversión térmica (10 días), seguido por abril (7 días). En contraste, junio registró únicamente un día sin inversión; sin embargo, debe considerarse que para este mes el análisis comprendió solamente 18 días con registros completos. Los meses de diciembre y mayo presentaron dos días sin inversión, mientras que en el resto de los meses se observaron entre 4 y 5 días sin este fenómeno.

En todos los meses, la velocidad media del viento durante los días con inversión térmica fue inferior a la velocidad media mensual, evidenciando la estrecha relación entre la ocurrencia de inversiones y condiciones de baja circulación atmosférica. Estos resultados concuerdan con la teoría, ya que vientos más intensos favorecen la mezcla turbulenta de la atmósfera e impiden el establecimiento o la persistencia de gradientes térmicos invertidos en las capas próximas al suelo.

Los resultados difieren de los obtenidos previamente por Barbero *et al.* (2020) en Zavalla para el período 2019–2020 mediante mediciones realizadas con dataloggers, donde se registró al menos una hora de inversión térmica en la totalidad de los días analizados. Estas discrepancias podrían atribuirse a diferencias en el instrumental empleado, así como al tipo de abrigo utilizado para los sensores de temperatura, factores que pueden modificar la respuesta de las mediciones y, en consecuencia, la detección de eventos de inversión térmica. Estas diferencias resaltan la importancia de considerar las características del sistema de medición al comparar resultados entre estudios.

Tabla 1. Velocidad media mensual del viento y velocidad media del viento registrada durante los días sin inversión térmica para cada mes del período de estudio. * Los datos de junio corresponden a 12 días de junio de 2025 y 3 días de junio de 2026.

Año	Mes	Viento medio mensual, m s ⁻¹	Viento medio en días sin inversión, m s ⁻¹	Números de días sin inversión
2025	Junio*	1,8	2,6	1
	Julio	1,9	3,0	5
	Agosto	2,0	3,7	4
	Septiembre	2,4	3,6	4
	Octubre	2,8	3,6	5
	Noviembre	2,5	3,0	4
	Diciembre	2,3	3,3	2
2026	Enero	2,6	2,8	4
	Febrero	2,2	3,1	4
	Marzo	2,3	2,6	10
	Abril	1,9	2,5	7
	Mayo	1,6	2,4	2

CONCLUSIONES

Durante el período analizado, los eventos de inversión térmica fueron un fenómeno frecuente en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, registrándose en 298 de los 350 días analizados (85,1 %). Si bien su ocurrencia fue elevada a lo largo de todo el año, los meses de marzo y abril concentraron la mayor cantidad de jornadas sin inversión térmica. Asimismo, la velocidad media del viento durante los días sin inversión térmica fue superior a la velocidad media mensual en todos los meses analizados, lo que pone de manifiesto el papel del viento como un factor que favorece la mezcla atmosférica y limita el desarrollo de inversiones térmicas.

Finalmente, las diferencias observadas respecto de estudios previos realizados en Zavalla, en los que se registró inversión térmica al menos una hora en la totalidad de los días analizados, sugieren que las características del instrumental y del sistema de protección de los sensores pueden influir en la detección de estos eventos. En este sentido, resulta necesario profundizar la comparación entre distintas metodologías de medición para mejorar la caracterización de las inversiones térmicas en la región.

REFERENCIAS

- Costanzo, M.; Carrancio, L.; Massaro, R.A. 2019. Efectos del ambiente sobre la pulverización de plaguicidas. Conceptos básicos de micrometeorología agrícola. Para Mejorar la Producción. INTA Oliveros 58:107-210.
- Barbero, S.; Doval, T.; Kissling, M.; Lorenzatti, T.; Pensato, L.; Rodríguez, A.; Yurun, V.; Jozami, E.; Coronel, A. 2020. Caracterización del fenómeno de inversión térmica en Zavalla. En: XIII Reunión Argentina y IX Latinoamericana de Agrometeorología, 2020, Paraná, Argentina.
- Leiva, P.D. 2013. Recaudos por deriva en pulverizaciones agrícolas. Siete aspectos importantes para su manejo. INTA EEA Pergamino, 6 p.

DESARROLLO DE UN LISÍMETRO-EVAPOTRANSPIROMETRO PARA MEDIR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Mendez *, M.J.^{1,2}; Bazan-Azargado, R.²

¹ Facultad de Agronomía, UNLPam, R. Nac. 35 km 334, Santa Rosa, La Pampa, CP: 6300, Argentina

² Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (UNLPam-CONICET)

*Contacto: mendez@agro.unlpam.edu.ar

Palabras clave: consumo de agua; instrumental de medición; eficiencia de uso del agua

INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración de referencia (ET_o) es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una gramínea perenne (*Lolium perenne*) de 0,12 m de altura en un suelo a capacidad de campo. Su determinación permite mejorar el aprovechamiento del agua, que es un recurso limitante en regiones áridas y semiáridas del mundo (Allen *et al.*, 2006). La ET_o puede ser medida con un lisímetro-evapotranspirometro (L-E) o estimada a partir de fórmulas, que son una alternativa rápida y económica, pero que deben calibrarse a escala local (Allen *et al.*, 2006, Ahmadifar *et al.*, 2022). En el oeste de la región pampeana la ET_o anual estimada con diferentes metodologías propuestas por la FAO mostraron diferencias del 80 % (Bazan-Azargado *et al.*, 2024). En otras regiones del mundo se han encontrado resultados similares (Ahmadifar *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2013). Esto plantea la necesidad de contar con valores medidos de ET_o que permitan calibrar las fórmulas. Es por esto por lo que en la Facultad de Agronomía de la UNLPam se desarrolló un L-E para medir la ET_o y el objetivos de este trabajo es describir el Lisímetro-Evapotranspirometro desarrollado por Mendez y Bazan (LEMB) en la facultad de Agronomía de la UNLPam.

MATERIALES Y MÉTODOS

El LEMB fue instalado en la estación Agrometeorológica de la Facultad de Agronomía de la UNLPam., en Santa Rosa La Pampa (36°37' S; 64°17' O; 165 m s.n.m.). En esta estación se observan diariamente los elementos necesarios (temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento y radiación solar global) para estimar la ET_o con la formula FAO56-PM (Raes *et al.*, 2018). Estos valores serán utilizados para comparar los valores estimados de ET_o con los medidos con el LEMB.

Descripción del LEMB

Para la construcción del LEMB se utilizaron 3 tanques plásticos de 300 mm de diámetro y 400 mm de alto, un flotante compacto, 6 m de caño de termofusión (12,5 mm), 6 uniones dobles, 1,5 m de caño de PVC (110 mm), dos tapas de PVC (110 mm), dos trozos de cinta métrica y 1,7 m manguera transparente. Un esquema del LEMB es mostrado en la Figura 1. En el tanque-lisímetro-evapotranspirómetro (TLE) se colocó un suelo Haplustol entico representativo de la región y se lo sembró con ryegrass perenne (*Lolium perenne*). El TLE está conectado al tanque regulador del nivel freático (TRNF) que contiene un flotante compacto (que mantiene el nivel de agua dentro del TRNF y del TLE con el ryegrass). El nivel freático en el TLE se encuentra a 350 mm de profundidad, lo que permite que el suelo hasta la superficie se encuentre a capacidad de campo por ascenso capilar. De esta manera se alcanzan las condiciones para medir la ET_o; cultivo de referencia con 100 % de cobertura en activo crecimiento y suelo a capacidad de campo. El TRNF se encuentra conectado al depósito de alimentación (DA), construido con un caño de pvc de 110 mm de diámetro y 1,5 m de largo, que contiene el agua que ingresa al TRNF en la medida que el agua es evapotranspirada por el TLE. El DA cuenta con una manguera transparente externa y una regla que permitirá medir el agua consumida por el LEMB (Figura 1). Además, el TRNF se conecta a un depósito recolector de agua drenada (DRAD), que tiene en su interior un recipiente que recolectar el agua que drena luego de una lluvia abundante.

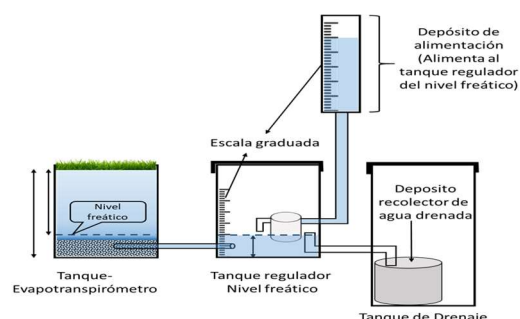


Figura 1. Esquema del lisímetro-evapotranspirometro desarrollado por Mendez y Bazán (LEMB) en la Facultad de Agronomía de la UNLPam para medir la ET_o.

Funcionamiento del LEMB

El agua evapotranspirada en el TLE (con suelo y cultivo de referencia) hace que la napa descienda, lo que provoca que ingresa agua desde el TRNF y descienda el nivel de agua en el TRNF, provocando que habrá el flotante he ingresar agua desde el DA. El descenso de la altura de agua en el DA se observa midiendo la altura de la columna de agua en la manguera transparente con una escala pegada. A partir de lecturas en días sucesivos se calculará ET_o utilizando la Ecuación 1, donde ET_o evapotranspiración de referencia diaria (mm), d diámetro del depósito de alimentación del tanque regulador del nivel freático (mm), D diámetro del tanque con suelo y cultivo de referencia (mm), Hx altura de la columna de agua (mm) en el depósito de alimentación del tanque regulador de nivel freático en el día "x" y Hx+1 altura de la columna de agua (mm) dentro del depósito de alimentación del tanque regulador de nivel freático en el día "x" más 1. Para el cálculo de la ET_o en días con precipitación, al agua precipitada se le descontó el agua colectada en DRAD. El resultado de esta diferencia se sumó

a la ETo calculada con la ecuación 1. Las lecturas del LEMB se realizaron todos los días a las 9 h excepto los fines de semana y feriados.

$$ET_o = \left(\frac{d^2}{D^2}\right) \times (H_x - (H_x + 1)) \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ETo medidas con el LEMB en el periodo comprendido entre fines de septiembre y principios de noviembre fueron superiores a las estimadas con la fórmula FAO56-PM (Tabla 1). Estos resultados posiblemente sean explicados porque en muchos días del periodo analizado el ETo diaria fue superior a los 4 mm. Estudios previos llevados a cabo en otras partes del mundo muestran que, la fórmula FAO56-PM subestima la ETo medida cuando la ETo diaria supera los 4 mm (Yang *et al.*, 2013; Ahmadifar *et al.*, 2022). La mayor ETo diaria medida posiblemente explique la mayor variabilidad de la ETo medida con el LEMB respecto de la estimada con FAO56-PM. A pesar de la diferencia en la ETo media diaria del periodo, las ETo medidas con el LEMB y las estimadas con FAO56-PM se encontraron asociadas (Figura 2). Del análisis de regresión se desprende que, para ETo medidas inferiores a 4.0 mm día, la fórmula FAO56-PM sobrestima la ETo medida. Mientras que, para ETo medidas superiores a 4.0 mm día la fórmula FAO56-PM subestima la ETo medida. Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros estudios que compararon el valor medida de ETo con lisímetro-evapotranspirometro respecto del estimado con la fórmula FAO56-PM (Yang *et al.*, 2013; Ahmadifar *et al.*, 2022).

Tabla 1. Promedio diario y desvío estándar de la ETo medida con el LEMB y estimada con la fórmula FAO56-PM para el periodo 25/09/2025 al 5/11/2025.

	LEMB	FAO56-PM
Número de datos	44	44
ETo promedio del periodo, mm día ⁻¹	5,5 a	4,4 b
Desvío, mm día ⁻¹	1,8	1,1

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (p<0,01)

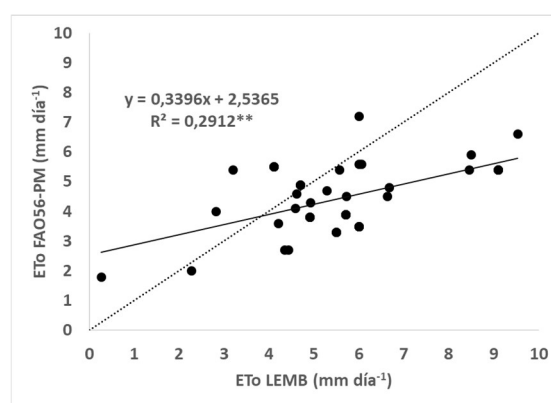


Figura 2. Comparación entre la ETo medida (LEMB) y la estimada (FAO56-PM) para el periodo comprendido entre el 25/09/2025 y 7/11/2025. ** Significancia p<0,01.

CONCLUSIONES

El L-E desarrollado en la Facultad de Agronomía de la UNLPam es un instrumento sencillo de fácil construcción que permite obtener valores medidos de la ETo. Los primeros valores de ETo medidos indican que para ETo superiores a 4,0 mm los valores estimados con la ecuación FAO56-PM subestiman los valores medidos y para ETo inferiores a 4,0 mm la ecuación FAO56-PM sobrestima los valores medidos. Estos resultados concuerdan con los datos de la bibliografía. Sin embargo, deben ser confirmados para un periodo de tiempo más prolongado.

AGRADECIMIENTOS

Facultad de Agronomía de la UNLPam e Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP)

REFERENCIAS

- Ahmadifar, V.; Delirhasannia R.; Sadraddini, A.A. 2022. Comparative analysis of 15 major reference evapotranspiration models based on weighing lysimeter measurements for two different grass species grown in three soil textures. *Irrigation and Drainage* 71:648-664.
- Allen, R.G.; Pruitt, W.O.; Wright, J.L.; Howell, T.A.; Ventura, F.; Snyder, R.; Elliott, R. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81:1-22.
- Bazán Azargado, R.; Vergara, G.; Casagrande, G.; Méndez, M.J. 2024. Comparación y evolución de la evaporación de tanque y evapotranspiración de referencia en la región semiárida pampeana central. *SEMIÁRIDA* 34(1):5-12.
- Raes, D.; Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Fereres, E. 2018. Reference manual for AquaCrop, version 6.0/6.1. AquaCrop Website <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>.
- Yang, Y.; Chen, R.; Han, C. 2013. Measurement and estimation of the summertime daily evapotranspiration on alpine meadow in the Qilian Mountains, northwest China. *Environmental Earth Sciences* 68:2253-2261.

DESARROLLO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITOREAR ESTRÉS HÍDRICO EN SOJA

Ovando*, G.¹; de la Casa, A.¹; Díaz, G.¹; Clemente, J.¹; Díaz, P.¹; Soler, F.¹; Torterolo, M.K.¹; Bustos Revol, S.¹; Caramello, N.¹; Gabba, L.¹

¹ Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA-UNC). Córdoba (CP 5000), Argentina

*Contacto: gugovan@agro.unc.edu.ar

Palabras clave: sensores; condiciones hídricas del cultivo; índice del déficit de presión de vapor hoja-aire

INTRODUCCIÓN

El monitoreo de las condiciones hídricas del cultivo (CHC) es fundamental para una gestión eficiente del agua en la agricultura. El uso de índices de sequía para estimar CHC a escala regional o de parcela representa una de las aproximaciones más utilizadas. Estos índices se clasifican generalmente en dos categorías: basados en observaciones in situ y basados en teledetección. Los primeros se desarrollan a partir de datos registrados en estaciones meteorológicas, como el índice de precipitación estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés), el índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) y el índice estandarizado de precipitación-evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés). Por otro lado, la mayoría de los índices basados en teledetección se calculan a partir de combinaciones espectrales, particularmente utilizando las bandas del rojo, infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta (Cheng *et al.*, 2023). La información de temperatura del cultivo (Tc), proporcionada por sensores de infrarrojo térmico, también presenta un alto potencial para la evaluación de CHC. Un elevado contenido de agua en hojas de plantas bien irrigadas, junto con una transpiración activa, contribuyen a mantener la temperatura foliar por debajo de la temperatura del aire. En consecuencia, la temperatura del dosel vegetal puede presentar una fuerte correlación con CHC (Cheng *et al.*, 2023). Entre los índices más empleados que utilizan Tc, encontramos al índice de sequía de la vegetación por temperatura (TVDI, por sus siglas en inglés) y el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI, por sus siglas en inglés). No obstante, ambos índices emplean referencias de cultivo en condiciones extremas (superficies húmedas y secas), requerimiento que puede dificultar su implementación a campo. Como alternativa, el índice del déficit de presión de vapor hoja-aire (LVPD, por sus siglas en inglés) permite superar esta limitación, y representa de manera más directa el gradiente que impulsa la transpiración vegetal (Furtak y Nosalewicz, 2022). En este contexto, la medición de la temperatura sin contacto ha ganado relevancia para evaluar CHC, ya que constituye un método de adquisición de datos simple, menos demandante en tiempo y mano de obra.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un sistema electrónico de bajo costo para monitorear y registrar variables meteorológicas destinadas al cálculo del índice LVPD y evaluar su capacidad para discriminar el estrés hídrico en soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) bajo distintas condiciones de humedad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de ensayo y tratamientos

El ensayo se llevó a cabo en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (31° 28' 49" S; 64°00' 36" O) durante la campaña 2022-2023. Para obtener condiciones contrastantes de humedad del suelo se trabajó con parcelas de 4 x 4 m sometidas a riegos diferenciales (Secano (S), riego de 10 mm (R), riego de 20 mm (RR), riego de 30 mm (RRR)), en total se efectuaron ocho riegos a lo largo del ciclo del cultivo. A lo largo del ciclo del cultivo se efectuaron ocho riegos siguiendo el patrón antes mencionado. En ellas se sembró soja (CV. DM 50i17 intacta STS), el día 15/11/2022 con una densidad de 35 pl m⁻² y un espaciado entre surcos de 52 cm. Las determinaciones de humedad del suelo se efectuaron mediante gravimetría hasta una profundidad de 1,40 m, con muestras cada 20 cm. Los resultados de cada fecha de muestreo se convirtieron en contenido de agua del suelo total en milímetros (HS), considerando una densidad aparente de 1,29 g cm⁻³ (Soler *et al.*, 2022). Los valores de HS se interpolaron empleando *splines* cúbicos para obtener valores diarios, considerando también los cambios de HS por riegos o precipitaciones.

Sistema de adquisición de variables meteorológicas

El sistema se basó en el microcontrolador Arduino Uno® y se utilizó el componente MLX90614 como sensor de temperatura infrarrojo (Tc), con un rango aproximado de -70 °C a 380 °C. El sensor empleado para medir temperatura (Ta) y humedad relativa del aire (HR) fue el DHT22, que integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor NTC, junto con un microcontrolador interno que procesa y entrega los datos mediante una señal digital de un solo cable. Opera típicamente en un rango de 0–100 % de humedad relativa y -40–80 °C de temperatura. Además, el sistema incluye un reloj de tiempo real (DS323), para efectuar mediciones cada 30 minutos, y un módulo MicroSD para almacenar la información recolectada.

Índice LVPD y análisis estadístico

El índice LVPD se calculó según la siguiente ecuación:
$$LVPD = e_s - e_{s1} \cdot HR \quad (1)$$

Donde: e_s es la tensión de vapor de saturación (kPa) a la temperatura de aire, e_{s1} es la presión de vapor de saturación (kPa) a la temperatura del follaje y HR la humedad relativa (0-1). e_s se calculó siguiendo la fórmula de Tetens (1930):

$$e_{sx} = 0,61078 \exp\left(\frac{17,27 T_x}{T_x + 237,3}\right) \quad (2)$$

Donde e_{sx} es la tensión de saturación (kPa) a la temperatura T_x (empleando alternativamente T_c y T_a , °C). Los valores de LVPD solamente se calcularon cuando el cultivo superó un 85 % de cobertura (que se observó durante el mes de febrero) y en condiciones de cielo despejado (valores del índice de claridad (K_t) $\geq 0,7$), entre las 12:00 y 14:00 hora local (próximo al mediodía solar). Para determinar el valor de K_t se emplearon los datos de radiación solar de una estación Omixom instalada en el Campo Escuela. Tras seleccionar los datos según los criterios establecidos, se realizó una regresión lineal entre HS y el índice LVPD.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación entre los valores del índice LVPD y el contenido de agua en el suelo para los cuatro tratamientos se muestran en la Figura 1, donde se puede observar la relación inversa existente entre LVPD y HS, a medida que disminuye el contenido de agua del suelo, el índice LVPD incrementa sus valores, en parte debido a un incremento en la T_c . El modelo lineal explica alrededor del 70 % de la variación del contenido de agua del suelo, resultados que son similares a los presentados por Morales-Santos y Nolz (2023), que relacionaron el índice CWSI en soja con el potencial matriz del agua en el suelo hasta 20 cm de profundidad y determinaron valores de R^2 entre 0,88 y 0,38 dependiendo del método de riego empleado.

Parte de la dispersión en torno a la línea de ajuste que muestra la figura 1 puede explicarse por la acción de otros factores meteorológicos que el índice LVPD no considera, como la velocidad del viento, o factores de orden fisiológico del cultivo, como plantean Furtak y Nosalewicz (2022), quienes resaltan que la humedad del aire influye sobre la conductancia estomática de manera diferencial en plantas que crecen bajo condiciones hídricas adecuadas, donde un incremento de la HR induce un incremento significativo de T_c . Por el contrario, la HR ejerce un bajo impacto en la conductancia estomática cuando las plantas crecen en suelos con bajo contenido hídrico.

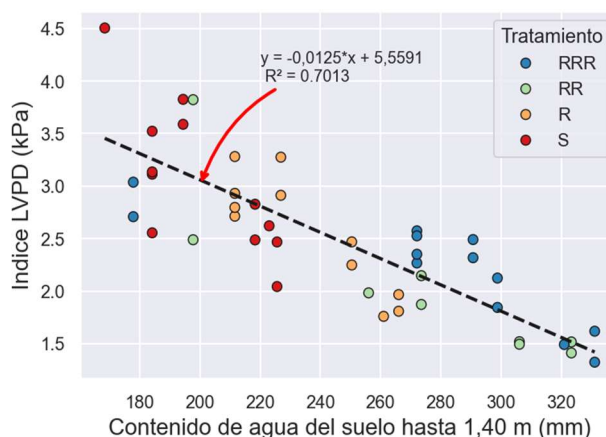


Figura 1. Variación del índice LVPD en soja en función del contenido de agua en el suelo hasta 1,4 m de profundidad para los cuatro tratamientos.

CONCLUSIONES

El sistema desarrollado para la adquisición de variables meteorológicas de interés agronómico operó satisfactoriamente y permitió determinar el índice de estrés hídrico LVPD a partir de los registros de temperatura del canopeo (T_c), temperatura del aire (T_a) y humedad relativa (HR) obtenidos a intervalos de 30 minutos.

Los resultados evidencian que el índice LVPD refleja adecuadamente las variaciones del contenido hídrico en la zona radicular del cultivo de soja, lo que sugiere su potencial aplicación como indicador de estrés hídrico derivado de técnicas de teledetección proximal.

REFERENCIAS

- Cheng, M.; Sun, C.; Nie, C.; Liu, S.; Yu, X.; Bai, Y.; Liu, Y.; Meng, L.; Jia, X.; Liu, Y.; Zhou, L.; Nan, F.; Cui, T.; Jin, X. 2023. Evaluation of UAV-based drought indices for crop water conditions monitoring: A case study of summer maize. *Agricultural Water Management* 287:108442.
- Furtak, A.; Nosalewicz, A. 2022. Leaf-to-air vapor pressure deficit differently affects barley depending on soil water availability. *South African Journal of Botany* 146:497-502.
- Morales-Santos, A.; Nolz, R. 2023. Assessment of canopy temperature-based water stress indices for irrigated and rainfed soybeans under subhumid conditions. *Agricultural Water Management* 279:108214.
- Soler, F.L.; Suarez, M.E.; Lubrano, P.F.; Nores, M.F.P.; Enrria, J.L. 2022. El agua del suelo después de los cultivos de cobertura. *Nexo agropecuario* 10(2):50-53.
- Tetens, O. 1930. Über einige meteorologische Begriffe. *Z. Geophys* 6:207-309.

CALIBRACIÓN DE ERA5-LAND PARA RECONSTRUCCIÓN DE SERIES AGROMETEOROLÓGICAS EN EL CENTRO-ESTE DE ENTRE RÍOS

Pautasso*, J.M.^{1,2}; Fontanini, P.³; Barbagelata, P.^{1,2}

¹ INTA, Ruta 11 km 12,5 Oro Verde, 3101, Argentina

² FCA UNER

³ Bolsa de Cereales ER

*Contacto: pautasso.juan@inta.gob.ar

Palabras clave: corrección de sesgo; reanálisis; validación

INTRODUCCIÓN

Las estaciones terrestres suelen presentar interrupciones en sus registros históricos, limitando el análisis agroclimático a largo plazo. ERA5-Land, reanálisis global a $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (Muñoz-Sabater *et al.*, 2021), constituye un recurso valioso para reconstruir series climáticas, aunque requiere calibración previa por sus sesgos sistemáticos a escala local (Hawkins *et al.*, 2013). El objetivo es generar series agrometeorológicas precisas y completas para el Centro-Este de Entre Ríos mediante dos enfoques: calibración regional (basada en EEA Paraná) y local (basada en la serie incompleta de EEA Concepción del Uruguay).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron registros diarios de temperatura (máxima, media, mínima; $^\circ\text{C}$), radiación solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), ET_o (mm d^{-1}) y precipitación (mm) para dos regiones de Entre Ríos: Centro-Oeste (CO) y Centro-Este (CE), período febrero 2000–febrero 2025. Los datos de superficie provinieron del INTA: EEA Paraná (serie completa, 9160 registros) y EEA Concepción del Uruguay (disponibilidad del 64–69 %). Los datos de ERA5-Land (Copernicus, 2026) se extrajeron para las celdas de cada área. Se aplicaron regresiones lineales simples bajo dos enfoques: 1) regional, calibrando ERA5-Land CO con EEA Paraná y transfiriendo las ecuaciones a ERA5-Land CE; y 2) local, particionando aleatoriamente (estratificado por mes y año) los datos de CE en 80 % calibración y 20 % validación independiente. Con el fin de obtener ecuaciones de transferencia para estimar datos faltantes, se utilizaron los registros de ERA5-Land como variable independiente y los de estación como variable dependiente. Se priorizaron modelos cuya validación presentara pendiente (a) = 1 y ordenada al origen (b) = 0 (IC 95 %), siguiendo el criterio de Piñeiro *et al.* (2008). El ajuste se evaluó mediante la raíz del error cuadrático medio (RCME) y el coeficiente de determinación (R^2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calibración

ERA5-Land reprodujo satisfactoriamente temperaturas, radiación y ET_o en ambas localidades ($R^2 > 0,80$; Tabla 1).

La precipitación mostró ajuste deficiente ($R^2 = 0,24$ – $0,36$; RCME = $9,24$ – $9,47 \text{ mm d}^{-1}$), reflejando las limitaciones del reanálisis ante lluvias de origen convectivo a escala local.

Tabla 1. Calibración de variables meteorológicas entre ERA5-Land y estaciones terrestres.

Variable	EEA Paraná – ERA5-Land CO				EEA Concepción– ERA5-Land CE (80 % datos)			
	a	b	R^2	RCME	a	b	R^2	RCME
Temp. máxima	1,00*	0,93*	0,93	1,65 $^\circ\text{C}$	0,98*	1,07*	0,92	1,75 $^\circ\text{C}$
Temp. media	0,97*	0,94*	0,94	1,44 $^\circ\text{C}$	0,96*	0,26*	0,94	1,43 $^\circ\text{C}$
Temp. mínima	0,95*	0,05*	0,90	1,78 $^\circ\text{C}$	1,00*	-1,84*	0,90	1,93 $^\circ\text{C}$
Radiación	0,86*	1,49*	0,84	3,11 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$	0,90*	0,52*	0,85	3,41 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$
ET _o	1,06*	-0,04	0,80	0,89 mm d^{-1}	1,07*	-0,49*	0,85	0,87 mm d^{-1}
Lluvia	0,80*	0,61*	0,36	9,24 mm d^{-1}	0,60*	1,22*	0,24	9,47 mm d^{-1}

$y = ax + b$; * p-valor $< 0,0001$. RCME: raíz del error cuadrático medio. Temp: temperatura

Validación

En la validación, el enfoque local resultó superior al regional (Tabla 2): bajo calibración regional, las pendientes y ordenadas al origen difirieron significativamente de 1 y 0, respectivamente ($p < 0,05$), en casi todas las variables; bajo calibración local, todas las pendientes fueron iguales a 1 y las ordenadas iguales a 0 ($p > 0,05$), evidenciando eliminación efectiva del sesgo. Los RCME fueron comparables entre enfoques y consistentes con lo reportado para ERA5-Land en climas subtropicales (Muñoz-Sabater *et al.*, 2021; dos Santos Ferreira *et al.*, 2026).

Tabla 2. Validación de variables meteorológicas calibradas de ERA5-Land frente a estaciones terrestres.

Variable	EEA Paraná – ERA5-Land CO				EEA Concepción – ERA5-Land CE			
	a	b	R ²	RCME	a	b	R ²	RCME
Temp. máxima	0,98*	0,11	0,92	1,75 °C	1,01	-0,30	0,93	1,75 °C
Temp. media	0,99	-0,67**	0,94	1,43 °C	1,00	-0,07	0,94	1,42 °C
Temp. mínima	1,05*	-1,86**	0,90	1,93 °C	0,99	0,09	0,90	1,93 °C
Radiación	1,05*	-1,09**	0,85	3,15 MJ m ⁻² d ⁻¹	1,01	-0,28	0,87	3,03 MJ m ⁻² d ⁻¹
ET _o	1,01	-0,53**	0,85	0,75 mm d ⁻¹	1,00	-0,02	0,86	0,72 mm d ⁻¹

* a distinto de 1; ** b distinto de 0 (p<0,05). Ausencia de * indica a = 1 y b = 0 (p>0,05)

CONCLUSIONES

ERA5-Land constituye una fuente confiable de datos agrometeorológicos diarios en la región Centro-Este de Entre Ríos tras la corrección de sesgo, con excepción de la precipitación —para la cual se recomienda el uso de redes pluviométricas locales—. La calibración local demostró mayor consistencia que la transferencia regional para reconstruir series históricas en zonas con registros discontinuos o ausentes.

REFERENCIAS

- Copernicus Climate Change Service. 2026. ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Climate Data Store. <https://eds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land>, Consultado junio de 2026.
- dos Santos Ferreira, L.; Alcantara, C.R.; de Barros Santiago, D.; de Aguiar Silva, L.K. 2026. Validation of ERA5 and ERA5-land reanalysis data for maximum and minimum temperatures in the Brazilian semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology* 157(4):198.
- INTA. 2026. Datos Agrometeorológicos EEA Paraná y EEA Concepción del Uruguay. SIGA-INTA. <https://siga.inta.gob.ar/>
- Muñoz Sabater, J.; Dutra, E.; Agustí-Panareda, A.; Albergel, C.; Arduini, G.; Balsamo, G.; Boussetta, S.; Choulga, M.; Harrigan, S.; Hersbach, H.; Martens, B.; Miralles, D.; Piles, M.; Rodríguez-Fernández, N.; Zsótér, E.; Buontempo, C.; Thépaut, J.-N. 2021. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*. 13:4349-4383.
- Piñeiro, G.; Perelman, S.; Guerschman, J.; Paruelo, J. 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? *Ecological Modelling* 216:316–322.

AUTOMATIZACIÓN DE UN TANQUE TIPO A PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA EVAPORACIÓN

Serrano Gandolfo, M.¹; Carmona*, F.^{1,2}; Gargiulo, J.D. ^{2,3}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras Dr. Eduardo Jorge Usunoff, UNCPBA, Pinto 399 (B7000GHG), Tandil, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Godoy Cruz 2290 (C1425FQB), CABA, Argentina

³ Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, CONICET-UNCPBA), Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina

*Contacto: fcarmona@ihlla.org.ar

Palabras clave: estación evaporimétrica; celda de carga; gestión del agua

INTRODUCCIÓN

La evaporación desde superficies libres de agua constituye un componente fundamental del ciclo hidrológico y una variable de gran importancia para la gestión del recurso hídrico, el diseño de estrategias de riego y los estudios hidrometeorológicos (Allen *et al.*, 1998; McMahon *et al.*, 2013). Entre los métodos más utilizados para su medición se encuentra el tanque evaporímetro tipo A, ampliamente empleado por su simplicidad, bajo costo y aceptación internacional como método de referencia. Sin embargo, la metodología tradicional basada en lecturas manuales presenta limitaciones asociadas a la baja resolución temporal, la discontinuidad de los registros y la dependencia del observador (Bruton *et al.*, 2000). Diversos estudios han propuesto alternativas para automatizar el monitoreo de la evaporación mediante modificaciones hidráulicas del tanque, sensores ultrasónicos, transductores de presión y sistemas automáticos de medición del nivel de agua (Usta *et al.*, 2024). Si bien estos desarrollos han permitido mejorar la resolución temporal de las mediciones, muchos presentan limitaciones operativas, elevada complejidad o costos que dificultan su implementación en redes de monitoreo y sistemas productivos. En contraste, las celdas de carga han demostrado alta precisión y estabilidad para el monitoreo continuo de masa en lisímetros de pesada (Evelt *et al.*, 2002; Faramiñán *et al.*, 2021), aunque, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, no existen antecedentes de su aplicación para la automatización de tanques evaporímetros tipo A. El objetivo de este trabajo fue identificar la configuración instrumental más adecuada para el desarrollo de una estación evaporimétrica automatizada, mediante la comparación del desempeño de tres métodos de medición de la evaporación en un tanque tipo A: (i) el método manual, (ii) un sensor ultrasónico y (iii) un sistema basado en una celda de carga. La evaluación se realizó mediante mediciones simultáneas en una parcela experimental de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, con el propósito de seleccionar la alternativa más precisa, estable y robusta para el monitoreo continuo de la evaporación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante noviembre de 2023 en una parcela experimental ubicada en el campus de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Tandil, Argentina (37,32°S; 59,08°O; 208 m s.n.m.). Se utilizó un tanque evaporímetro tipo A instrumentado para evaluar simultáneamente tres métodos de medición de la evaporación: (i) el método manual, utilizado como referencia; (ii) un sensor ultrasónico SR50A (Campbell Scientific Inc.); y (iii) un sistema automatizado basado en una celda de carga industrial de 500 kg instalada bajo el tanque. Los sensores automáticos fueron conectados a un datalogger CR800 (Campbell Scientific Inc.), programado para registrar mediciones cada 1 hora, mientras que las lecturas manuales se realizaron diariamente siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial y la metodología propuesta por Allen *et al.* (1998). El desempeño de los tres métodos fue evaluado mediante la comparación de las mediciones de evaporación, utilizando como indicadores el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). A partir del método que presentó el mejor desempeño se desarrolló una estación evaporimétrica automatizada, posteriormente instalada en dos viñedos de la región de Tandil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de los métodos de medición

Durante el período de evaluación se compararon los registros diarios de evaporación obtenidos mediante los sistemas automatizados con las observaciones realizadas por el método manual. La celda de carga presentó el mejor desempeño, con un coeficiente de determinación de 0,99, un RMSE de 0,38 mm y un MAE de 0,26 mm, mostrando una excelente concordancia con las mediciones de referencia. En contraste, el sensor ultrasónico obtuvo un R^2 de 0,98, un RMSE de 1,74 mm y un MAE de 1,54 mm, evidenciando una mayor dispersión y una tendencia a subestimar la evaporación. La Figura 1 muestra la comparación entre los valores medidos mediante los tres métodos. La mayor precisión de la celda de carga se atribuye a que la medición se basa en la variación de masa del tanque, mientras que el sensor ultrasónico resultó más sensible a perturbaciones producidas por el viento y el oleaje de la superficie del agua. Estos resultados indican que la celda de carga constituye la alternativa más robusta para la automatización de tanques evaporímetros tipo A.

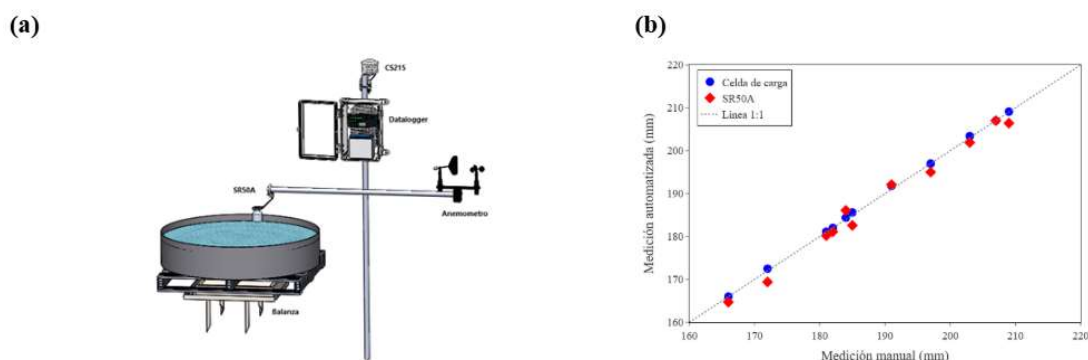


Figura 1. a Diseño experimental utilizado para la comparación simultánea de tres métodos de medición de la evaporación en un tanque tipo A, **b.** Comparación entre la evaporación medida mediante el método manual y los sistemas automatizados. La celda de carga presentó la mayor concordancia con las observaciones de referencia.

Desarrollo e implementación de la estación evaporimétrica automatizada

A partir de los resultados obtenidos, la celda de carga fue seleccionada como sensor principal para el desarrollo de una estación evaporimétrica automatizada. El sistema fue instalado en dos viñedos de la región de Tandil, incorporando una electroválvula para el mantenimiento automático del nivel de agua y sensores meteorológicos complementarios. Esta implementación permitió validar la factibilidad operativa del sistema en condiciones reales y constituye el punto de partida para futuras aplicaciones en redes de monitoreo hidrometeorológico.



Figura 2. a. Esquema de la estación evaporimétrica desarrollada a partir de la configuración seleccionada, **b.** Instalación de la estación en el viñedo Finca 74, **c.** Implementación de una segunda estación en la finca San Eusebio, Tandil, Argentina.

CONCLUSIONES

La comparación de los tres métodos de medición de la evaporación demostró que la celda de carga constituye la alternativa más precisa y robusta para la automatización de tanques evaporímetros tipo A. A partir de estos resultados se desarrolló una estación evaporimétrica automatizada, equipada con reposición automática de agua y sensores meteorológicos complementarios, cuya implementación en dos sistemas productivos de la región confirmó su factibilidad operativa. Este desarrollo representa una herramienta prometedora para el monitoreo continuo de la evaporación y futuras aplicaciones en redes hidrometeorológicas y gestión del recurso hídrico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al IHLA (CONICET-UNCPBA-CICPBA) por los recursos disponibles para llevar adelante el trabajo. Asimismo, agradecen a los responsables de los establecimientos vitivinícolas Finca 74 y San Eusebio por facilitar la instalación de las estaciones y el desarrollo de los ensayos en sus predios.

REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- McMahon, T.A.; Peel, M.C.; Lowe, L.; Srikanthan, R.; McVicar, T.R. 2013. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: A pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences* 17:1331–1363.
- Bruton, J.M.; Hoogenboom, G.; McClendon, R.W. 2000. A comparison of automatically and manually collected pan evaporation data. *Transactions of the ASAE* 43(5):1097–1101.
- Usta, S.; Tekeli, A.E.; Bozkurt, D. 2024. Performance evaluation of different pan evaporation measurement systems. *Journal of Hydrology* 631:130582.
- Evett, S.R.; Schwartz, R.C.; Casanova, J.J.; Heng, L.K. 2012. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agricultural Water Management* 104:1–9.
- Faramiñán, A.; Carmona, F.; Rivas, R.; Degano, F.; Olivera, P., 2021. Monitoreo de la evapotranspiración real horaria por medio del balance energético y un lisímetro de pesada. *Boletín Geológico y Minero* 132(1–2):47–56.

Área temática 4

Teledetección

Sistemas de información geográfica

ÍNDICE SATELITAL TVDI OBTENIDO A PARTIR DE PRODUCTOS VIIRS

Carrasco Galleguillos*, F.M.¹; Basualdo, A.B.¹

¹Oficina de Riesgo Agropecuario, Ministerio de Agroindustria, Avda. Paseo Colón 922, piso 2, oficina 233/234, CABA, CA1063ACW

*Contacto: felix.marcial@gmail.com

Palabras clave: humedad del suelo; sequía; MODIS

INTRODUCCIÓN

Estimar el nivel de humedad en el suelo disponible para cultivos de secano es esencial para el monitoreo de las campañas agrícolas y la previsión de resultados productivos. El TVDI (índice de sequía temperatura-vegetación) es un índice que combina temperatura de superficie (LST) con índice de vegetación mejorado (EVI) y ha sido desarrollado para establecer el estado de la humedad (sequedad) del sistema suelo-planta.

El índice no permite distinguir entre diferentes coberturas vegetales (cultivos, pasturas, monte, etc.) sino que representa el estado de déficit hídrico de la cobertura vegetal existente. Donde la cobertura vegetal es escasa o nula (suelo desnudo, siembras incipientes), el índice representa solo el estado hídrico de la parte superficial del suelo (aproximadamente 5-10 cm de profundidad). Por eso el monitoreo de la disponibilidad hídrica de cultivos y pasturas se realiza en los meses con mayor cobertura vegetal (octubre a marzo).

El objetivo de este trabajo es obtener los parámetros estadísticos necesarios para el cálculo de TVDI a partir de productos VIIRS y comparar los resultados hallados con los que se obtuvieron con anterioridad a partir de productos MODIS (AQUA y TERRA), antes de que comenzaran su proceso de deriva (Carrasco *et al.* 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención del TVDI se calculan tres parámetros estadísticos: m, n y Tmin (Carrasco *et al.*, 2018). Para la obtención de los parámetros se utilizaron dos productos VIIRS (Suomi NPP/NOAA-20/21): temperatura de la superficie VNP21A2 v002 (LST) e índice de vegetación VNP13A2 v002 (EVI). Se trata de composiciones de 8 días y 16 días, respectivamente, ambas con resolución espacial de 1km. Los cálculos de m, n y Tmin con VIIRS se realizaron con una serie de 12 años (2013-2024), mientras que para los de MODIS se había utilizado un periodo de 18 años (2002-2009). Los parámetros se calculan a partir de un diagrama de dispersión de los píxeles de EVI y LST. Utilizando todas las imágenes de la serie histórica correspondientes al mismo periodo de 16 días, se forma un triángulo demarcando el límite seco y el límite húmedo, definiendo así los valores de cada píxel contenido dentro del triángulo. Esta combinación se puede explicar a partir de la Figura obtenida (Figura 1) del trabajo de Holzman *et al.* (2014b). El parámetro “m” es la pendiente del triángulo, “n” es la ordenada al origen y “Tmin” es el mínimo valor de LST (base del triángulo). Calculando el valor de TVDI a partir de los valores de EVI y LST en cada píxel (Ecuaciones 1 y 2), se obtienen imágenes de periodos de 16 días (con solapamiento de 8 días) del área de mayor densidad de cultivos extensivos de secano de Argentina, dividida en 3 zonas: norte (NN), pampeana norte (PN) y pampeana sur (PS). El área que abarca cada zona se puede ver en la Figura 3.

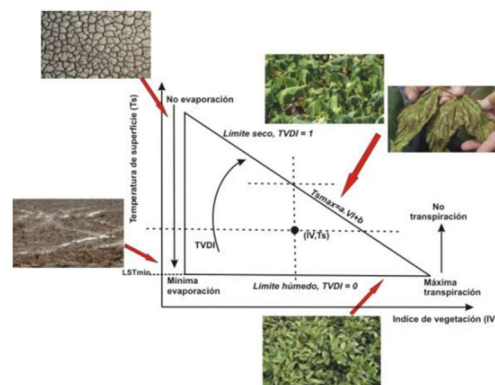


Figura 1. Diagrama conceptual de la definición del TVDI. La posición de un píxel (IV, Ts) por índice de vegetación y temperatura superficial, dentro del triángulo está determinada fundamentalmente por la cantidad de agua (Holzman *et al.*, 2014b).

$$LST_{max} = m * EVI + n \quad (1)$$

$$TVDI = \frac{LST - T_{min}}{LST_{max} - T_{min}} \quad (2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las marchas anuales de los valores de los 3 parámetros hallados para cada composición de 16 días de TVDI-VIIRS se muestran en rojo en la Figura 2, para la zona PN. En el mismo gráfico se muestran también los valores previos utilizados para la obtención de TVDI-MODIS (AQUA en azul y TERRA en verde).

Se obtuvo una importante coincidencia entre los parámetros m, n y Tmin obtenidos a partir de VIIRS y a partir de MODIS (Tabla 1). Las correlaciones halladas entre VIIRS-AQUA y VIIRS-TERRA resultaron significativas en todos los casos ($\alpha = 0,001$). Para los 3 parámetros, la correlación entre VIIRS y AQUA es mayor o igual que entre VIIRS y TERRA. Esto es esperable ya que el horario de pasada de VIIRS sobre Argentina es similar al de AQUA (cerca de las 13UTC).

La coincidencia en los parámetros obtenidos permite la continuidad del monitoreo de humedad del suelo que se venía realizando con MODIS, siendo los resultados comparables. La Figura 3 muestra un ejemplo de resultado del cálculo de TVDI para las 3 regiones.

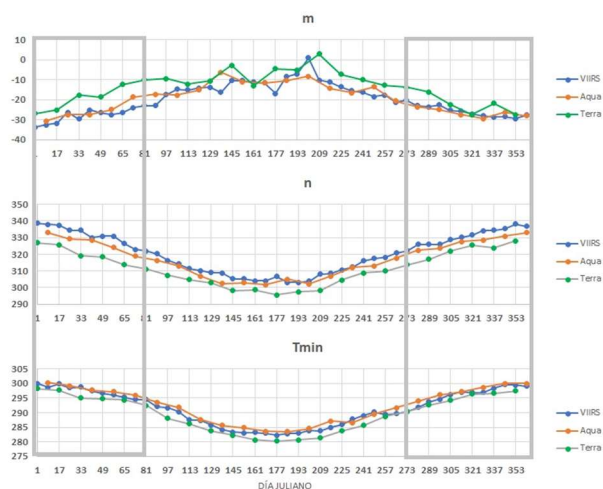


Figura 2. Marcha anual de los parámetros “m”, “n” y “Tmin” para la zona pampeana norte (PN) calculadas con productos VIIRS (azul), Aqua (naranja) y Terra (verde). Rectángulos grises muestran el periodo del año del seguimiento operativo.

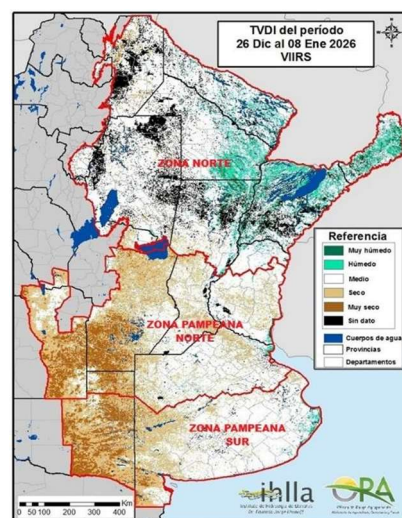


Figura 3. Ejemplo de mapa TVDI-VIIRS operativo para las tres regiones: promedio del periodo 26/12/2025 al 08/01/2026.

Tabla 1. Estadísticos de los parámetros “m”, “n” y “Tmin” obtenidos con VIIRS, AQUA y TERRA para la región pampeana norte: valor medio y desviación estándar. En la última fila, coeficientes de correlación VIIRS-AQUA y VIIRS-TERRA para las series temporales de los 3 parámetros se muestran en la última fila.

	m (K)			n (K)			Tmin (K)		
	VIIRS	AQUA	TERRA	VIIRS	AQUA	TERRA	VIIRS	AQUA	TERRA
Media	-20,3	-19,6	-14,1	320,7	317,3	311,8	291,5	292,4	289,6
Desv. Est.	7,9	7,4	8,3	11,8	10,9	10,6	6,0	6,0	6,3
Coef. Corr.		0,88	0,86		0,99	0,98		0,99	0,99

CONCLUSIONES

La metodología de obtención de parámetros para el cálculo de TVDI a partir de productos MODIS (Holzman *et al.*, 2014a) pudo ser aplicada a los productos VIIRS, arrojando resultados similares. La correspondencia es mayor para el conjunto de fechas productos AQUA que para el de fechas de productos TERRA, debido a que el horario de pasaje de VIIRS es más coincidente con el de AQUA.

REFERENCIAS

- Carrasco Galleguillos, F.C.; Basualdo, A.; Boragno, S.; Occhiuzzi, S. 2018. TVDI: Un índice satelital operativo para el monitoreo de sequía y excesos hídricos. En: XVII Reunión Argentina de Agrometeorología, 2018, Villa de Merlo, Argentina.
- Holzman, M.E.; Rivas, R.; Bayala, M. 2014a. Subsurface soil moisture estimation by VI-LST method. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 11:1951-1955.
- Holzman, M.E.; Rivas, R.; Piccolo, M.C. 2014b. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 28:181-192.

EFFECTO DEL FENÓMENO EL NIÑO SOBRE LA DINÁMICA DE PASTIZALES DEL RÍO DE LA PLATA

Forlenza*, M.A.^{1,2,4}; Texeira, M.A.^{1,3,4}

¹ Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA), Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1417DSE, Argentina

² Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1417DSE, Argentina

³ Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1417DSE, Argentina

⁴ Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART), Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1417DSE, Argentina

*Contacto: mforlenza@agro.uba.ar

Palabras clave: RFAA; piecewise SEM; IOS

INTRODUCCIÓN

La productividad primaria neta aérea (PPNA) es una variable clave para describir el funcionamiento de los ecosistemas, ya que determina la capacidad que tienen estos para proveer servicios a la sociedad (McNaughton *et al.*, 1989). La PPNA se define como la tasa de producción de biomasa vegetal aérea por unidad de superficie y de tiempo, que condiciona la entrada y acumulación de carbono y energía en los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1986; Chapin *et al.*, 2011). Es por ello central para evaluar la integridad y el nivel de degradación de los ecosistemas (Bai *et al.*, 2013) y sus potenciales efectos sobre el bienestar humano. A nivel global y regional, las diferencias en la PPNA entre sitios se asocian positivamente con la precipitación media anual, con la temperatura media anual y con la evapotranspiración (Sala *et al.*, 1988; Ye *et al.*, 2018). La variabilidad interanual en la PPNA se ve afectada, a su vez, por los modos de variabilidad climática que ocurren a nivel global (Stenseth *et al.*, 2003). Se ha demostrado que el ENOS tiene un efecto significativo sobre la variabilidad interanual en la PPNA (Trenberth, 1997). Este efecto se observa tanto en estepas y pastizales del hemisferio sur (Van Leeuwen *et al.*, 2013a; Irisarri *et al.*, 2021) como del hemisferio norte (Vicente-Serrano y Heredia-Laclaustra, 2004; Chen *et al.*, 2017). El mismo suele estar mediado por la precipitación y la temperatura. Nuestro objetivo es cuantificar los cambios a largo plazo de la PPNA de los pastizales del Río de la Plata (2000-2024) y evaluar la relación entre la PPNA y variaciones interanuales de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), mediado por la precipitación anual, la temperatura media y la evapotranspiración actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las áreas de pastizales se definieron a partir de un mapa de consenso combinando tres fuentes diferentes (Land Cover de la misión de observación terrestre MODIS, ESA WorldCover y MapBiomass Pampa). Se utilizó la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (RFAA) como estimador de la PPNA. Para obtener dicha variable se realizó el producto de la radiación fotosintética incidente (RFA) y la fracción de ésta que es absorbida por la vegetación (fRFA), utilizando datos de la misión de observación terrestre MODIS en ambos casos (Wang, 2024; Myneni *et al.*, 2021). Se obtuvo la precipitación anual a partir del producto CHIRPS (Funk *et al.*, 2015). Por otro lado, la temperatura media y la evapotranspiración actual se obtuvieron a partir de la base de datos terraclimate (Abatzoglou *et al.*, 2018). Esta base de datos provee información con cobertura global desde 1958, con una resolución temporal mensual y una resolución espacial de 4 km. El índice IOS se obtuvo a partir de la administración oceanográfica y atmosférica de los Estados Unidos (NOAA). Las relaciones entre las oscilaciones climáticas, el clima local y la PPNA se analizaron mediante un Modelo de Ecuaciones Estructurales por Partes (“piecewise SEM”; Lefcheck, 2016). Todas las capas de información fueron llevadas a una resolución espacial de 500 m e integradas de julio del primer año a junio del siguiente (considerando la estación de crecimiento característica de los pastizales del Río de la Plata) para el período 2000-2024.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo demostró una alta capacidad explicativa para la variabilidad de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAA; $R^2 = 0,50$). Entre los predictores de RFAA, la evapotranspiración actual fue el más importante ($\beta = 0,623$, $p < 0,001$), seguida por la temperatura media ($\beta = 0,151$, $p < 0,001$), mientras que la precipitación presentó un efecto negativo menor ($\beta = -0,008$, $p < 0,01$), posiblemente asociado a que gran parte de la variabilidad ya se encuentra explicada por la evapotranspiración y la alta correlación entre variables. Con respecto a los determinantes de la evapotranspiración ($R^2 = 0,73$), la precipitación fue la variable predictora dominante ($\beta = 0,817$, $p < 0,001$), con contribuciones menores de la temperatura media ($\beta = 0,066$, $p < 0,001$) y del IOS ($\beta = 0,013$, $p < 0,001$). La temperatura media estuvo determinada principalmente por la precipitación ($\beta = 0,673$, $p < 0,001$) y en menor medida por IOS ($\beta = 0,250$, $p < 0,001$; $R^2 = 0,38$). Finalmente, el Índice de Oscilación Sur ejerció un efecto negativo directo sobre la precipitación ($\beta = -0,396$, $p < 0,001$; $R^2 = 0,16$), evidenciando la influencia de ENOS como modulador climático de la productividad a escala regional. Este modelo permite establecer cuál es el efecto de cada una de las variables sobre la productividad de pastizales templados. Se destaca el impacto de la evapotranspiración actual sobre RFAA, que a su vez mostró un importante efecto de la precipitación. Estos resultados sugieren que la productividad de pastizales está regulada por la disponibilidad hídrica, donde la influencia de ENOS ocurre indirectamente a través de modificaciones en la precipitación.

CONCLUSIONES

Estos resultados preliminares sugieren que la evapotranspiración actual, determinada en gran medida por la precipitación anual, podría tener un rol central en la dinámica de la PPNA de los pastizales templados del Río de la Plata. El impacto de ENOS sobre la productividad resultó indirecto, siendo la precipitación anual la vía de mayor impacto. De este modo, podemos conocer el efecto de ENOS sobre la dinámica de la PPNA en una de las zonas de pastizales más grandes del mundo.

REFERENCIAS

- Abatzoglou, J.T.; Dobrowski, S.Z.; Parks, S.A.; Hegewisch, K.C. 2018. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*. doi:10.1038/sdata.2017.191
- Bai, Z.; Dent, D.; Wu, Y.; de Jong, R. 2013. Land Degradation and Ecosystem Services. En: R. Lal, K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider, J. von Braun (Eds.). *Ecosystem Services and Carbon Sequestration in the Biosphere*. Springer Netherlands. pp. 357-381.
- Chapin, F.S.; Matson, P.A.; Vitousek, P.M. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>
- Chen, M.; Parton, W.J.; Del Grosso, S.J.; Hartman, M.D.; Day, K.A.; Tucker, C.J.; Derner, J.D.; Knapp, A.K.; Smith, W.K.; Ojima, D.S.; Gao, W. 2017. The signature of sea surface temperature anomalies on the dynamics of semiarid grassland productivity. *Ecosphere* 8(12): e02069.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, A.; Hoell, A.; Michaelsen, J. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data* 2(1):150066.
- Irisarri, J.G.N.; Texeira, M.; Oesterheld, M.; Verón, S.R.; Della Nave, F.; Paruelo, J.M. 2021. Discriminating the biophysical signal from human-induced effects on long-term primary production dynamics. The case of Patagonia. *Global Change Biology* 27(18):4381-4391.
- Lefcheck, J.S. 2016. piecewiseSEM: Piecewise structural equation modelling in r for ecology, evolution, and systematics. *Methods in Ecology and Evolution* 7(5):573-579.
- McNaughton, S.J.; Oesterheld, M.; Frank, D.A.; Williams, K.J. 1989. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature* 341(6238):142-144.
- Myneni, R.; Knyazikhin, Y.; Park, T. 2021. MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD15A2H.061>
- Sala, O.E.; Parton, W.J.; Joyce, L.A.; Lauenroth, W.K. 1988. Primary Production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 69(1):40-45.
- Stenseth, N. Chr.; Ottersen, G.; Hurrell, J.W.; Mysterud, A.; Lima, M.; Chan, K.; Yoccoz, N.G.; Ådlandsvik, B. 2003. Review article. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: The North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270(1529):2087-2096.
- Trenberth, K.E. 1997. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorology Society* 78:2771-2778.
- Van Leeuwen, W.J.D.; Hartfield, K.; Miranda, M.; Meza, F.J. 2013. Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. *Remote Sensing* 5(3). <https://doi.org/10.3390/rs5031177>
- Vicente-Serrano, S.M.; Heredia-Laclaustra, A. 2004. NAO influence on NDVI trends in the Iberian Peninsula (1982-2000). *International Journal of Remote Sensing* 25(14):2871-2879.
- Vitousek, P.M.; Ehrlich, P.R.; Ehrlich, A.H.; Matson, P.A. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience* 36(6):368-373.
- Wang, D. 2024. MODIS/Terra+Aqua Photosynthetically Active Radiation Daily/3-Hour L3 Global 0.05Deg CMG V062 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD18C2.062>
- Ye, J.-S.; Pei, J.-Y.; Fang, C. 2018. Under which climate and soil conditions the plant productivity-precipitation relationship is linear or nonlinear? *Science of The Total Environment* 616-617:1174-1180.

DETECCIÓN SATELITAL Y CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA DE ÁREAS AFECTADAS POR HELADAS TARDÍAS (2017-2023)

García Bu Bucogen*, G.^{1,2}; López, C.A.¹; Araneo, D.C.^{1,3}; Viale, M.¹

¹ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Mendoza - Argentina. CP 5500

² Laboratorio de Geografía Física y Geotecnologías, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Campus universitario UnCuyo, Mendoza, Argentina. CP 5500

³ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, Padre Jorge Contreras 1300. Parque General San Martín, Mendoza, Argentina. CP 5500

*Contacto: grethelgbb@gmail.com

Palabras clave: índices espectrales; agricultura de precisión; microtopografía

INTRODUCCIÓN

Las heladas tardías constituyen uno de los principales riesgos meteorológicos para la producción agrícola, debido a los daños que pueden ocasionar sobre cultivos en etapas fenológicas sensibles y a la consecuente reducción del rendimiento y la calidad de la producción (Zhang *et al.*, 2025). La magnitud del impacto suele presentar una marcada variabilidad espacial, incluso dentro de una misma parcela, como resultado de la interacción entre las condiciones atmosféricas y factores locales del terreno que favorecen la acumulación y el drenaje del aire frío (García Bu Bucogen *et al.*, 2026). En este contexto, estudios previos han demostrado la capacidad de las imágenes Sentinel-2 y de distintos índices espectrales para detectar alteraciones fisiológicas y evaluar la recuperación de cultivos afectados por bajas temperaturas (Cogato *et al.*, 2020). El objetivo de este trabajo es analizar la respuesta espectral de cultivos de olivo y ciruelo frente a heladas tardías mediante índices de vegetación derivados de Sentinel-2 e identificar patrones espaciales recurrentes de afectación y su relación con variables topográficas locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a la finca “La Chacarita”, ubicada en Maipú (Mendoza, Argentina), entre los 766 y 774 m s.n.m., cultivada con olivo (*Olea europaea* L.) y ciruelo (*Prunus domestica* L.) (Figura 1). La identificación de heladas tardías se realizó mediante registros de la estación meteorológica automática Russell perteneciente a la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DACC; <http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/agrometeorologia/estaciones.html>) situada a aproximadamente 4 km de la finca. Entre septiembre y diciembre de 2017–2023 se identificaron 11 eventos de heladas.

La respuesta de la vegetación se evaluó mediante imágenes Sentinel-2 nivel 2A (10 m de resolución espacial) procesadas en *Google Earth Engine*. Se calcularon los índices NDVI, NDWI, RECI y GCI (Jones *et al.*, 2024) analizándose sus variaciones temporales antes y después de cada evento de helada. Los índices RECI y GCI fueron seleccionados para los análisis posteriores debido a su mayor sensibilidad a estos eventos. La significancia de los cambios observados se evaluó mediante una prueba t de Student, comparando períodos afectados y no afectados por heladas.

Se generaron mapas de recurrencia de valores negativos de Δ RECI y Δ GCI para identificar las áreas con mayor frecuencia de afectación. Sobre dichas áreas se analizaron la altitud, la pendiente y el Índice de Posición Topográfica (TPI; Calderón *et al.*, 2020), derivados de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución espacial (2,5 cm) obtenido mediante fotogrametría aérea con un dron DJI Mavic Pro Platinum y remuestreado a 10 cm para el análisis topográfico. Para evaluar la relación entre la respuesta de la vegetación y las variables topográficas, los píxeles se agruparon en clases por variable, calculándose el Δ GCI medio para cada clase con fines descriptivos y evaluándose las diferencias entre clases mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los índices espectrales analizados, RECI y GCI presentaron la mayor sensibilidad frente a la ocurrencia de heladas tardías. En ambos casos se observó una disminución de los valores entre aproximadamente 3 y 12 días posteriores a los eventos registrados por la estación Russell (período 2017-2023), evidenciando una respuesta de la vegetación asociada a condiciones de estrés por bajas temperaturas (Figura 2).

La comparación estadística entre los períodos afectados por heladas y la serie completa mostró diferencias significativas para ambos índices. En el caso de RECI, la media de la serie (0,92) disminuyó a 0,67 durante los períodos posteriores a las heladas, obteniéndose diferencias estadísticamente significativas ($t = -6,52$; $gl = 8$; $p < 0,001$). De manera similar, GCI presentó una

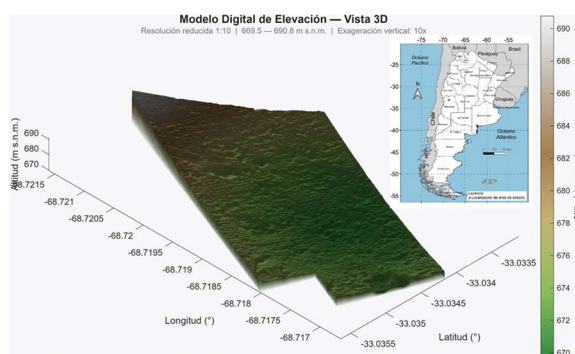


Figura 1. Modelo Digital de Elevación de alta resolución de la finca “La Chacarita”, Maipú (Mendoza) (fotogrametría aérea con dron).

reducción desde una media de 2,18 hasta 1,81, con diferencias también significativas ($t = -5,40$; $gl = 8$; $p < 0,001$). Estos resultados indican que las disminuciones observadas no responden únicamente a la variabilidad natural de las series temporales, sino que reflejan una respuesta consistente de la vegetación frente a las heladas tardías.

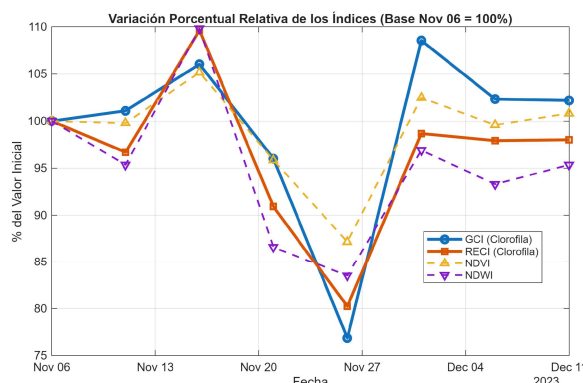


Figura 2. Evolución relativa de los índices espectrales antes y después de la helada tardía del 23 noviembre de 2023.

Los mapas de recurrencia mostraron una distribución espacial heterogénea del daño, con sectores que presentaron una mayor frecuencia de respuestas negativas de ΔGCI y $\Delta RECI$ a lo largo del periodo de estudio. El ΔGCI presentó una relación significativa con la altitud y la pendiente, evidenciando una menor afectación por heladas en sectores de mayor altitud y pendiente (Figura 3). Este comportamiento es consistente con una menor acumulación de aire frío en áreas elevadas y con mayor inclinación, donde el drenaje gravitacional del aire favorece la reducción del riesgo de heladas. En contraste, el TPI no mostró una relación significativa, lo que sugiere que, en esta escala de análisis, la posición topográfica relativa tuvo una influencia limitada sobre la respuesta de la vegetación al daño por heladas, estimada mediante las variaciones de ΔGCI .

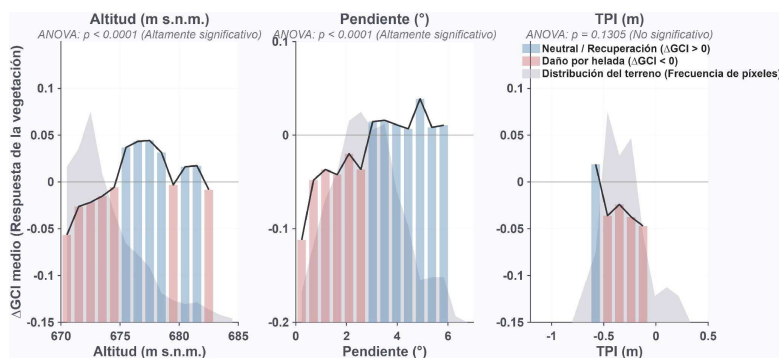


Figura 3. Relación entre la respuesta media de la vegetación (ΔGCI) y las variables topográficas derivadas.

CONCLUSIONES

Los resultados evidenciaron que los índices RECI y GCI son herramientas sensibles para detectar la respuesta de los cultivos frente a heladas tardías mediante imágenes Sentinel-2. Asimismo, la distribución espacial del daño presentó una relación significativa con la altitud y la pendiente, evidenciando una menor afectación en sectores elevados y con mayor inclinación, mientras que el TPI no mostró una influencia significativa. Estos resultados resaltan el potencial de integrar información espectral y topográfica de alta resolución para la delimitación de zonas de riesgo por heladas y el diseño de estrategias de manejo y monitoreo de precisión en sistemas agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Don Carlos López, propietario de la finca “La Chacarita”, por permitir la realización de este estudio y por su constante colaboración.

REFERENCIAS

- Cogato, A.; Meggio, F.; Collins, C.; Marinello, F. 2020. Medium-resolution multispectral data from Sentinel-2 to assess the damage and the recovery time of late frost on vineyards. *Remote Sensing* 12:1896.
- Calderón, H.; Pérez, J.E.; Chow, M.; Reyna, J.B. 2020. Índice de Posición Topográfica (TPI) para identificar áreas inundables y zonificación de especies vegetales en un manglar del Pacífico Sur de Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 9(26): 88–103.
- García Bu Bucogen, G.; Viale, M.; Impagliazzo, F. En prensa. Fine-scale topoclimatic patterns and their implications for high-altitude vineyards. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 52.
- Jones, S.E.; Ayanlade, T.T.; Fallen, B.; Jubery, T.Z.; Singh, A.; Ganapathysubramanian, B.; Sarkar, S.; Singh, A.K. 2024. Multi-sensor and multi-temporal high-throughput phenotyping for monitoring and early detection of water-limiting stress in soybean. *The Plant Phenome Journal* 7: e70009.
- Zhang, Y.; Zhang, X.; Wang, X.; *et al.* 2025. Frost management in agriculture with advanced sensing, modeling, and artificial intelligent technologies: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 231:110027.

IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS PLUVIALES A NIVEL SATELITAL

Gaspari*, F.J.¹; Anselmino, C.B.¹; Giovenale, V.E.¹

¹ Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Diag.113 N° 469 – Tercer Piso. La Plata, 1900, Argentina

*Contacto: cuencas@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: sistema de información geográfica; teledetección; tormentas

INTRODUCCIÓN

Las estimaciones de precipitación derivadas de satélites con alta resolución espacial y temporal diaria a subdiaria se vuelven muy importantes en regiones con una red de medición terrestre limitada (Benítez *et al.*, 2025). Además, estos datos pueden ser utilizados como entrada a modelos hidrológicos distribuidos para la comprensión y evaluación de eventos hidrológicos extremos. La aplicación de estos datos satelitales en estudios hidrológicos y climáticos requiere una estricta evaluación para su uso en sistemas de previsión de eventos extremos (Zubieta Barragán, 2017).

El Portal CHRS desarrollado por el Centro de Hidrometeorología y Teledetección (CHRS) de la Universidad de California, Irvine (UCI), Estados Unidos, es un sistema que utiliza imágenes infrarrojas de cuadrícula de satélites geoestacionarios globales (GOES-8, GOES-10, GMS-5, Metsat-6 y Metsat-7) proporcionadas por CPC y NOAA para generar índices de lluvia de 30 minutos que se agregan a la precipitación acumulada de 6 horas. Los parámetros del modelo se actualizan periódicamente utilizando estimaciones de lluvia de satélites de órbita baja, como TRMM, NOAA-15, -16, -17, DMSP F13, F14 y F15.

El sistema operativo PERSIANN (Estimación de Precipitación a partir de Información obtenida por Teledetección mediante Redes Neuronales Artificiales) utiliza procedimientos de clasificación/aproximación de funciones de redes neuronales para calcular una estimación de la tasa de precipitación proporcionada por satélites geoestacionarios y posteriormente se amplió para incluir el uso de imágenes infrarrojas y visibles diurnas (Ashouri *et al.*, 2015). Una función de entrenamiento adaptativo facilita la actualización de los parámetros de la red siempre que se disponga de estimaciones independientes de la precipitación. Dicha información está disponible en el portal <https://chrsdata.eng.uci.edu/>.

La Estimación de Precipitación a partir de Información obtenida por Teledetección mediante Redes Neuronales Artificiales - Índice Dinámico de Pluviometría Infrarroja en Tiempo Real (PDIR-Now) es un producto satelital de precipitación global en tiempo real de alta resolución (0,04° x 0,04° o 4 km x 4 km) implementado en el sistema global de monitoreo de precipitación satelital en tiempo real del CHRS de la UCI: iRain (<https://irain.eng.uci.edu>). La principal ventaja de PDIR-Now, en comparación con otros conjuntos de datos de precipitación en tiempo real, es su dependencia de imágenes infrarrojas muestreadas de alta frecuencia; en consecuencia, su latencia desde el momento de la precipitación es muy corta (15-60 minutos). Además, considera los errores e incertidumbres derivados del uso de imágenes IR mediante la adopción de diversas técnicas, entre las que destaca el desplazamiento dinámico de las curvas (Tb-R) mediante la climatología pluviométrica (Nguyen *et al.*, 2020). Como expresa Zubieta Barragán (2017) esta información sirve para conocer la distribución de eventos pluviales, porque la precipitación concentrada durante varios días tiene un alto potencial para ocasionar erosión del suelo e inundaciones.

En este sentido, se planteó como objetivo del presente trabajo, identificar eventos pluviales a nivel satelital para conformar una base de datos espacio-temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde al sur de la provincia de Santa Cruz, que cuenta con una zona oeste sobre la cordillera de los Andes, la cual es compartida entre Argentina y Chile, y una zona este con la planicie costera del Mar Argentino.

El producto de CHRS Data Portal de precipitación utilizó el módulo PDIR-Now. Las características generales del PDIR-Now son para un periodo de datos: 1 de marzo de 2000 – Presente, una cobertura entre 60 °S a 60 °N, tomadas en forma diaria, disponibles por FTP: <ftp://persiann.eng.uci.edu/CHRSdata/PDIRNow>. La intensidad y distribución de la precipitación de las nubes clasificadas se entrena inicialmente mediante observaciones de radar terrestre y TRMM.

Estos datos se descargaron a un sistema de información geográfica (SIG) y luego del procesamiento, se identificaron eventos pluviales de tipo erosivo, es decir, mayores a 13,5 mm para conformar una base de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan tres situaciones pluviales correspondientes al: 4 y 6 de abril de 2018 y 7 de febrero de 2024, las cuales han provocado grandes excesos hídricos en la región en estudio, según consultas a medios de comunicación locales.

En la Figura 1 se muestra la distribución del evento del 04/04/2018 el cual se fortalece sobre el extremo sur de la cordillera y en el sector este sobre la costa marítima, alcanzando grandes disturbios climáticos. Esta tormenta se continuó hasta el 06/04/2018, como se muestra en la Figura 2, donde la carga pluvial se fortaleció en el este continental-marítimo. La continuidad de estos eventos extremos propició desastres hídricos de excesos por inundaciones en las localidades costeras, debido a la saturación del suelo superficial y subsuperficial. La tormenta del 07/02/2024 se desarrolló sobre el sector cordillerano, con valores extremos de 75 mm, lo cual, acelerado por la pendiente del terreno, generó procesos erosivos

superficiales de gran magnitud. Este evento se visualiza en la Figura 3. Es importante mencionar que la tormenta se distribuyó en forma homogénea con valores entre 2 y 10 mm, en toda el área en estudio, con precipitaciones puntuales de 35 mm como límite, conformando procesos degradativos locales del ambiente.

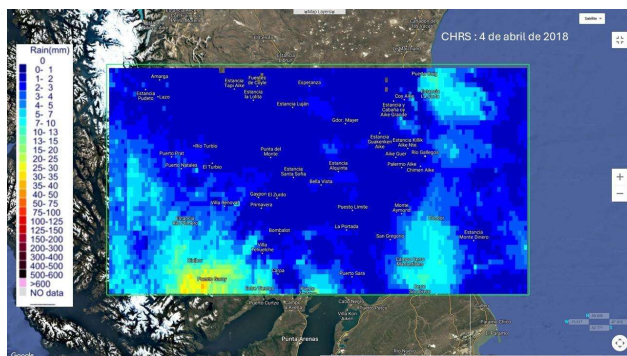


Figura 1. Distribución del evento pluvial del 04/04/2018.

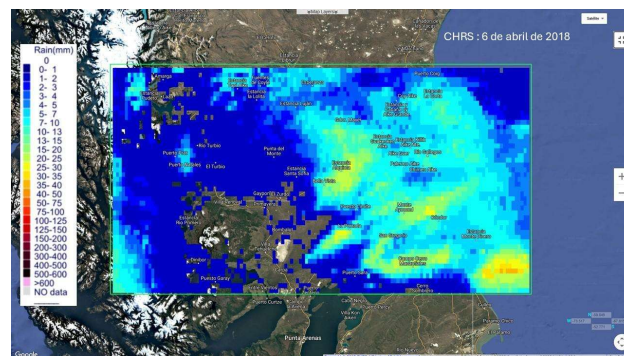


Figura 2. Distribución del evento pluvial del 06/04/2018.

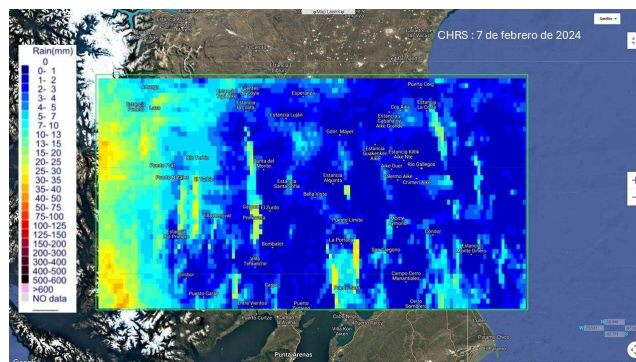


Figura 3. Distribución del evento pluvial del 07/02/2024.

CONCLUSIONES

La corta latencia de PDIR-Now hace que el conjunto de datos sea ideal para aplicaciones hidrológicas en tiempo casi real, como la conformación de una base de datos espaciotemporales, la predicción de inundaciones y la elaboración de mapas de inundaciones. Asimismo, los alentadores resultados de la evaluación del presente estudio indican el potencial del algoritmo PDIR para reconstruir estimaciones históricas de precipitación con alta resolución espaciotemporal.

REFERENCIAS

- Ashouri, H.; Hsu, K.; Sorooshian, S.; Braithwaite, D.K.; Knapp, K.R.; Cecil, L.D.; Nelson, B.R.; Prat, O.P. 2015. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(1):69–83.
- Benítez, V.D.; Muller, G.V.; Doyle, M.E.; Forgioni, F.P.; Lovino, M.A. 2025. Can satellite products recognize extreme precipitation over southeastern South America? *International Journal of Climatology* 45(4):n/a-n/a.
- Nguyen, P.; Ombadi, M.; Afzali Gorooh, V.; Shearer, E.J.; Sadeghi, M.; Sorooshian, S.; Hsu, K.; Bolvin, D.; Ralph, M.F. 2020. PERSIANN Dynamic infrared-rain rate (PDIR-Now): a near-real time, quasi-global satellite precipitation dataset. *Journal of Hydrometeorology* 21(12):2893–2906.
- Zubieta Barragán, R. 2017. Estimación de concentración de lluvia diaria y eventos hidrológicos extremos en cuencas andino-amazónicas empleando precipitación basada en satélites. Tesis doctoral, Universidad La Molina, Lima, Perú.

VALIDACIÓN Y CORRECCIÓN DE ERA5-LAND PARA SERIES CLIMÁTICAS DIARIAS TRANSFERIBLES A ZONAS NO AFORADAS EN LA CUENCA DEL AZUL

Golin*, A.^{1,2}; Mujica, C.^{1,2,3}; Hernández G.^{2,3}; Rodríguez D.^{2,3}; Villanueva, I.^{1,2}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” (IHLLA, UNCPBA-CIC-CONICET)

² Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

³ Centro Regional de Agrometeorología (CRAGM), Facultad de Agronomía, UNICEN. República de Italia 780, Azul (B7300), Buenos Aires, Argentina

*Contacto: aile@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras clave: reanálisis; escalado lineal mensual; transferencia a zonas no aforadas

INTRODUCCIÓN

La modelación hidrológica de cuencas de llanura requiere forzantes climáticos diarios, espacialmente distribuidos y de período extenso. Las redes de observación de la región pampeana son escasas, con registros discontinuos y pocas variables medidas; en particular, la radiación solar casi no se observa de manera sistemática. El reanálisis ERA5-Land (Muñoz-Sabater *et al.*, 2021) ofrece campos continuos desde 1950 con resolución de ~9 km, pero presenta sesgos sistemáticos regionales que deben corregirse con observaciones locales antes de su uso hidrológico (Lenderink *et al.*, 2007; Teutschbein y Seibert, 2012). El objetivo fue validar y corregir las temperaturas máxima y mínima, la humedad relativa, el viento y la radiación de ERA5-Land con estaciones locales de la cuenca del arroyo del Azul (Buenos Aires), para generar series diarias 1998-2025 transferibles a zonas no aforadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos fuentes de observación (Figura 1): cuatro estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN; Azul, Olavarría, Tandil y Las Flores Aero; 1998-2022; temperatura máxima y mínima, humedad relativa y viento) y dos estaciones automáticas de la red del Centro Regional de Agrometeorología (CRAGM) dentro de la cuenca (Chacra Experimental, 2018-2025, y Manantiales de Larreta, 2019-2025), que agregan radiación global. Los registros horarios se agregaron a paso diario (día válido con al menos 20 horas; ventana 00 UTC). Las series pasaron un control de calidad y se usaron solo los períodos consistentes.

De ERA5-Land diario se derivaron las cinco variables: humedad relativa calculada a partir de temperatura y punto de rocío mediante la ecuación de Magnus, viento a 10 m y radiación en MJ m⁻² d⁻¹ y se verificó la alineación temporal contrastando desfases de ± 1 día. La corrección aplicada fue el escalado lineal mensual: aditivo para las temperaturas y multiplicativo para humedad, viento y radiación. Se optó por este método por su robustez con pocas estaciones y registros de longitud dispar: un factor por mes captura el ciclo estacional del sesgo, su componente dominante en la región, sin riesgo de sobreajuste, a diferencia de alternativas más complejas (p. ej., el mapeo de cuantiles) que requieren series largas para estimar la distribución completa (Teutschbein y Seibert, 2012). La validación se realizó en dos niveles: validación cruzada dejando una estación afuera (LOSO) entre las cuatro estaciones del SMN, y prueba independiente (OOS) en las dos automáticas, que no participan del ajuste; la radiación se validó en forma cruzada entre las dos estaciones que la observan. Se emplearon como métricas el coeficiente de eficiencia de Kling-Gupta (KGE; Gupta *et al.*, 2009), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el sesgo. El producto final se obtuvo aplicando los factores de corrección píxel a píxel sobre las grillas diarias 1998-2025 (EPSG:5347); de esas grillas corregidas se puede extraer la serie climática diaria de cualquier zona (incluidas las que carecen de estaciones) como media ponderada de los píxeles que la interceptan.

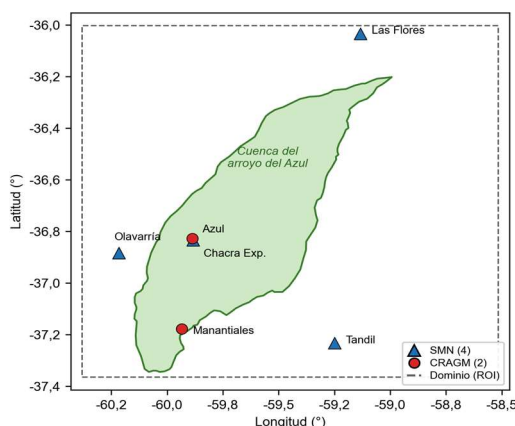


Figura 1. Cuenca del arroyo del Azul, dominio de análisis (ROI) y red de estaciones de observación empleada: cuatro del SMN y dos de la red CRAGM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se detectó desfasaje de ventana (correlación diaria máxima sin corrimiento). ERA5-Land crudo mostró sesgos sistemáticos coherentes entre estaciones: sobreestimación de la temperatura mínima (+1,6 a +2,8 °C), leve subestimación de la máxima y sobreestimación de la radiación (1 a 15 %, máxima en invierno). La corrección mensual mejoró o mantuvo el desempeño de ERA5-Land y, fundamentalmente, mostró transferencia a estaciones no usadas en el ajuste (Tabla 1): en la validación independiente, la temperatura mínima mejoró de 0,75 a 0,90, con una reducción del RMSE de ~2,9 a ~1,8 °C y la práctica eliminación del sesgo cálido (de +2,3 a ~0 °C) y la radiación de 0,90 a 0,94 (RMSE de ~2,6 a ~2,2 MJ m⁻² d⁻¹). Esa transferencia se explica por la coherencia espacial del sesgo: en una llanura sin barreras orográficas los desvíos de ERA5-Land son sistemáticos y varían suavemente, de modo que los factores calibrados en estaciones separadas 50-100 km resultan representativos de los sitios intermedios no observados. El viento fue la variable de menor desempeño: a su alta variabilidad espacial (que reduce la representatividad de las estaciones) se suman errores de fase y de distribución que un factor mensual no corrige. Además, existe una diferencia de altura de medición entre las estaciones agrometeorológicas (2 m) y el estándar de 10 m del SMN y de ERA5-Land, que impidió una evaluación independiente válida; sus series corregidas deben usarse con cautela. El producto final son 28 grillas anuales corregidas (1998-2025), listas como forzantes para la modelación hidrológica.

Tabla 1. KGE diario de ERA5-Land crudo y corregido en los dos niveles de validación (LOSO: estación del SMN excluida del ajuste; OOS: estaciones CRAGM independientes; n/c: no corresponde).

Variable	LOSO crudo	LOSO corregido	OOS crudo	OOS corregido
Temperatura máxima, °C	0,93-0,95	0,97-0,98	0,88	0,91
Temperatura mínima, °C	0,59-0,82	0,84-0,93	0,70-0,81	0,89-0,90
Humedad relativa	0,80-0,87	0,81-0,86	0,83-0,88	0,88
Viento, m s ⁻¹	0,41-0,59	0,46-0,70	n/c	n/c
Radiación, MJ m ⁻² d ⁻¹	n/c	n/c	0,90	0,94

CONCLUSIONES

El escalado lineal mensual, calibrado con estaciones del SMN para temperatura, humedad relativa y viento, y con estaciones CRAGM para radiación, permitió corregir los sesgos sistemáticos de ERA5-Land y transferir espacialmente a sitios no observados, como lo demostró la validación independiente, generando series climáticas diarias 1998-2025 para cualquier zona de la cuenca del Azul, incluidas las no aforadas. La corrección de la radiación mostró una transferencia aceptable en la validación cruzada disponible, aunque convendría ampliarla con más estaciones automáticas a medida que se disponga de registros. Las series resultantes integran el conjunto de forzantes para la modelación hidrológica de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Al SMN y a la red CRAGM por los datos meteorológicos utilizados, y al CONICET y a la UNICEN por el apoyo institucional.

REFERENCIAS

- Gupta, H.V.; Kling, H.; Yilmaz, K.K.; Martinez, G.F. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377:80-91.
- Lenderink, G.; Buishand, A.; van Deursen, W. 2007. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 11:1145-1159.
- Muñoz-Sabater, J.; Dutra, E.; Agustí-Panareda, A.; Albergel, C.; Arduini, G.; *et al.* 2021. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data* 13:4349-4383.
- Teutschbein, C.; Seibert, J. 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology* 456-457:12-29.

MODELADO GEOESTADÍSTICO HÍBRIDO Y PROYECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL ARROYO VILCUNCO, ALUMINÉ

Gonzalez*, D.A.¹; Forquera, J.C.¹; Pueblas, L.¹; Nobile, N.¹; Orrego, L.¹; Roca, J.C.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Cinco Saltos, CP 8303, Argentina

*Contacto: diego.gonzalez@faca.uncoma.edu.ar

Palabras clave: agrometeorología; topografía; simulación

INTRODUCCIÓN

El régimen pluviométrico en Aluminé (Neuquén) está condicionado por la interacción entre la circulación atmosférica de gran escala y la topografía cordillerana. Vientos del oeste transportan aire húmedo desde el Pacífico que, por ascenso orográfico y enfriamiento adiabático, provocan lluvias intensas en altas cumbres y sombra pluvial hacia la estepa oriental. Esto genera complejos gradientes climáticos locales regulados por la altitud y orientación de las laderas (Barros *et al.*, 1983; Pessacg *et al.*, 2020).

Ante el cambio climático global, es indispensable cuantificar la alteración de estos patrones a escala de cuenca. El objetivo de este trabajo fue modelar, mediante geoestadística híbrida, la distribución pluvial espacial en la cuenca del Arroyo Vilcunco (Aluminé) para tres horizontes (pasado, presente y futuro), evaluando cambios en el gradiente orográfico y la disponibilidad hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende la cuenca del Arroyo Vilcunco, ubicada en el departamento Aluminé, Neuquén. Para el análisis multitemporal se utilizaron tres bases de datos espaciales: a) Línea de base histórica (1977-1980), obtenida mediante base de datos de 12 estaciones publicada (Barros *et al.*, 1983); b) Período climatológico actual (1997-2020), procesado a partir de series continuas de 18 estaciones meteorológicas; c) Proyección futura (2041-2060), basada en el modelo global de alta resolución MPI-ESM1-2-HR bajo el escenario de emisiones intermedias SSP2-4.5 (CMIP6). La topografía se caracterizó mediante un Modelo Digital de Elevación (DEM) corregido de 30 metros de resolución espacial del IGN MDE-Ar (IGN, 2026).

Se calculó la precipitación promedio anual en la línea de base histórica y el periodo actual, en cada estación. Para resolver la distribución pluvial en zonas de montaña con baja densidad instrumental, se implementó un modelo híbrido de Regresión-Kriging (RK). Este enfoque descompone la variable en una tendencia determinística regional, calculada mediante Regresión Lineal Múltiple (MLR), y un componente estocástico local derivado del Kriging Ordinario (OK) de los residuos puntuales (Hengl *et al.*, 2007; Manaf *et al.*, 2026). Los predictores espaciales extraídos del DEM fueron la Longitud (X) y Latitud (Y) en coordenadas POSGAR 2007, la Altitud (Z, m.s.n.m.) y la exposición de la ladera (Aspecto, en grados). Para la incorporación lineal del Aspecto, este se transformó trigonométricamente en dos componentes continuos: Northness (coseno Aspecto) y Westness (seno Aspecto). La estructura de regresión determinística se estableció en la ecuación general (1), donde P es la precipitación anual estimada [mm], X e Y corresponden a la posición geográfica [m], Z es la elevación [m], W representa la condición de barlovento [Westness, adimensional] y N representa la orientación norte [Northness, adimensional].

$$P = \beta_0 + \beta_1 \cdot X + \beta_2 \cdot Y + \beta_3 \cdot Z + \beta_4 \cdot W + \beta_5 \cdot N \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos MLR base validaron estadísticamente las hipótesis topoclimáticas de Aluminé, exhibiendo variaciones estructurales significativas entre el periodo antiguo y el actual (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes estimados y estadísticos de ajuste para los modelos de tendencia determinística en los periodos analizados.

Coefficiente	Variable	Modelo antiguo (1977-1980)	Modelo presente (1997-2020)
β_0	Intercepto, mm	3450,25	2980,12
β_1	Longitud, m	-0,0042	-0,0058
β_2	Latitud, m	+0,0011	+0,0008
β_3	Altitud, m	+0,4520	+0,5840
β_4	Westness, adimensional	+120,50	+185,30
β_5	Northness, adimensional	-45,10	-62,40
R ² Adj.	Ajuste Regresión	0,71	0,74
R ² Final	Ajuste Kriging	0,86	0,89

El signo negativo de β_1 en ambos modelos reflejaría matemáticamente el proceso de aridización hacia el este por efecto de la sombra de lluvia de la cordillera. No obstante, el incremento del valor absoluto de este coeficiente en el presente (de -0,0042 a -0,0058) demuestra que el gradiente longitudinal se ha vuelto más pronunciado, indicando un agotamiento más rápido de la humedad pacífica al alejarse de los andes. Asimismo, el aumento en el coeficiente de altitud (β_3 pasó de +0,4520 a +0,5840) evidencia que la precipitación actual se ha vuelto más dependiente de la cota altimétrica, concentrándose fuertemente en las zonas altas. El incremento de β_4 (Westness) constata que las laderas orientadas al oeste (barlovento) retienen un mayor diferencial de humedad en el escenario contemporáneo frente a las de sotavento. El modelo combinado (RK) final logró explicar el 89 % de la variabilidad espacial pluvial actual, con un error cuadrático medio de 41,8 mm. A escala macro-regional, el álgebra de mapas reflejó una pérdida promedio generalizada de humedad de -161,3 mm (-13,5 %) entre el pasado y el presente. Este fenómeno se tradujo espacialmente en una notable contracción geográfica de la isoyeta de 1050 mm que se utilizó como testigo, la cual migró fuertemente hacia las cotas superiores del oeste, reduciendo el área húmeda disponible (Figura 1).

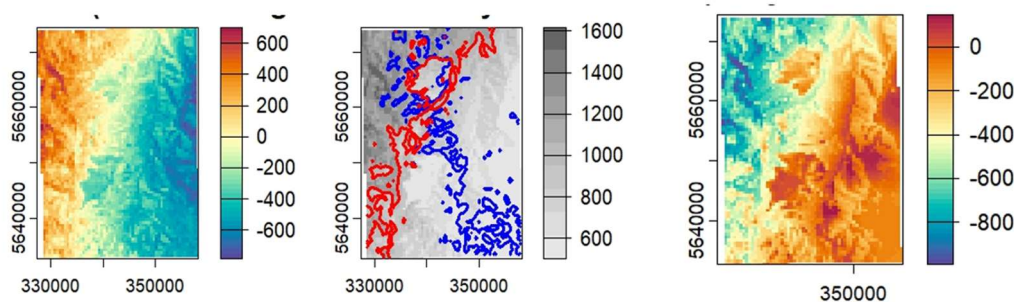


Figura 1. Izquierda: Distribución espacial del cambio neto absoluto (precipitación media anual presente - la histórica) [mm]. Centro: Mapa de desplazamiento de la isoyeta testigo entre los períodos histórico (azul) y presente (roja). Derecha: Mapa tendencia futura (Horizonte 2050 – Actual).

Para el Horizonte 2050, el modelo MPI-ESM1-2-HR estimó una intensificación del déficit hídrico regional de -307,7 mm (-29,3 %). A diferencia de la reducción histórica (dominante en transición y estepa baja), el núcleo de máxima sequía (hasta -994,9 mm) se trasladará directamente sobre las altas cumbres andinas occidentales.

En la cuenca del Arroyo Vilcunco, la degradación pluvial local duplica la tasa regional. La precipitación media cayó de 1051,5 mm (histórica) a 780,7 mm (contemporánea; -270,8 mm) por el retroceso de la isoyeta de 1050 mm fuera de la cuenca media. Para 2050, se proyecta un descenso adicional de -202,1 mm, situando la media en 578,6 mm. Esto afectará las nacientes occidentales, alterando la recarga de acuíferos y el escurrimiento nival, lo que compromete la estabilidad ecológica y el riego en el valle.

CONCLUSIONES

Se constató un proceso continuo de aridización y contracción orográfica de las lluvias en el departamento de Aluminé. El modelo geoestadístico híbrido Regresión-Kriging demostró una alta capacidad de ajuste ($R^2 = 0,89$), validando que los gradientes de longitud, altitud y exposición controlan rigurosamente la distribución del agua en la región. La cuenca del Arroyo Vilcunco evidencia una extrema vulnerabilidad climática, proyectando una pérdida acumulada del 45 % de su oferta hídrica histórica hacia mediados de siglo. Dado que el núcleo del déficit futuro se concentrará directamente sobre las cabeceras de montaña, se prevé una alteración importante en el régimen hidrológico superficial, lo que demanda la incorporación urgente de estos escenarios en la planificación del manejo del agua y estrategias de adaptación local.

REFERENCIAS

- Barros, V.R.; Cordon, V.H.; Moyano, C.L.; Méndez, J.C.; Forquera, J.C.; Pizzio, O. 1983. Distribución de la precipitación en el noroeste de la Patagonia. *Meteorológica* 14:85-96.
- IGN 2026. Modelos Digitales de Elevaciones. Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Defensa Argentina. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion>.
- Hengl, T.; Heuvelink, G. B.; Rossiter, D. G. 2007. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences* 33(10):1301–1315.
- Manaf, M.; Ali, Z.; Scholz, M. 2026. Integrating random forest-based regression kriging for analyzing spatial variability of rainfall in arid and semi-arid regions. *Scientific Reports* 16:10.1038/s41598-026-36074-4.
- Pessacg, N.; Flaherty, S.; Solman, S.; Pascual, M. 2020. Climate change in northern Patagonia: critical decrease in water resources. *Theoretical and Applied Climatology* 140:807–822.

ESTIMACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES MEDIANTE VARIABLES TOPOGRÁFICAS E HIDROMETEOROLÓGICAS PARA ENTRE RÍOS

Melgares*, E.¹; Gabioud, E.A.¹; Ghilini, D.A.^{1,2}; Wingeyer, A.B.^{1,2}

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Ruta Prov. N°11, km 12,5. Oro Verde, E3100, Argentina

² CONICET, Ruta Prov. N°11, km 12,5. Oro Verde, E3100, Argentina

*Contacto: melgares.emmanuel@inta.gob.ar

Palabras clave: teledetección; SIG; anegamientos

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen uno de los fenómenos hidrometeorológicos de mayor impacto sobre los sistemas productivos, la infraestructura y las poblaciones, generando pérdidas económicas, ambientales y sociales. En Argentina, las inundaciones representan uno de los desastres naturales de mayor recurrencia, afectando extensas regiones agrícolas y urbanas, particularmente en las llanuras de baja pendiente del centro y noreste del país (Montealegre Medina *et al.*, 2015). El incremento observado en la frecuencia e intensidad de eventos extremos de precipitación aumenta la exposición a anegamientos (Melgares *et al.*, 2024). La identificación y cuantificación espacial de áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones y su monitoreo resulta fundamental para la planificación territorial, la gestión del riesgo y la toma de decisiones. Las herramientas de geoprocesamiento y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), junto con plataformas de procesamiento en la nube como Google Earth Engine, permiten integrar variables topográficas e hidrometeorológicas para generar cartografía de susceptibilidad de manera rápida, reproducible y con acceso a grandes volúmenes de información geoespacial (Gorelick *et al.*, 2017). Asimismo, estas herramientas ya han sido utilizadas en Argentina para el análisis y monitoreo de cuerpos de agua e inundaciones mediante información satelital (Solana *et al.*, 2023). El objetivo de este trabajo fue elaborar un índice preliminar de susceptibilidad a inundaciones para la provincia de Entre Ríos mediante la integración de variables topográficas e hidrometeorológicas derivadas de sensores remotos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron herramientas de procesamiento geoespacial en Google Earth Engine (GEE) (Gorelick *et al.*, 2017) y análisis cartográfico en QGIS. La delimitación de la Provincia de Entre Ríos se obtuvo a partir de la base administrativa FAO GAUL 2015 (FAO, 2015). Se utilizó el producto MERIT Hydro v1.0.1, utilizando la banda HAND (Height Above Nearest Drainage), que representa la distancia vertical (m) al drenaje más cercano e identifica áreas con mayor predisposición a la acumulación de agua (Yamazaki *et al.*, 2019). Se calculó la pendiente del terreno a partir del Modelo Digital de Elevación Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Farr *et al.*, 2007), con resolución espacial aproximada de 90 m, y se expresó en porcentaje. Se empleó la base de precipitación diaria CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), para el período 1981–2025 (Funk *et al.*, 2015). Para cada año se calculó la precipitación máxima diaria y se calculó el percentil 95 (P95) de dichos máximos, como indicador de la intensidad potencial de eventos extremos. Para cada variable se realizó un análisis exploratorio mediante histogramas de frecuencia, estadísticas descriptivas (mínimo, máximo, media y desvío estándar) y percentiles (10, 20, 40, 60, 80 y 90). Las variables se reclasificaron en una escala ordinal de 0 a 5 y fueron integradas mediante una combinación lineal ponderada con igual peso para construir un Índice de Susceptibilidad a Inundación. Finalmente, el índice se reclasificó en cinco categorías: muy baja (0-1), baja (1-2), media (2-3), alta (3-4) y muy alta susceptibilidad (4-5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En concordancia con el análisis exploratorio realizado mediante histogramas de frecuencia, estadísticas descriptivas y percentiles, las variables mostraron distribuciones sesgadas hacia valores bajos. La distribución de HAND presentó una marcada concentración en valores bajos, con una media de 3,85 m y un percentil 80 de 6,70 m. Esto indica que gran parte de la provincia se encuentra a baja distancia vertical respecto del sistema de drenaje, condición que podría favorecer la susceptibilidad a inundación. La pendiente presentó una media de $1,21^\circ$ ($\approx 2,12\%$) y al igual que HAND, una concentración en valores bajos. El 80 % de la superficie provincial registró pendientes inferiores al $1,80^\circ$ ($\approx 3,15\%$), mientras que únicamente el 1 % superó los $4,05^\circ$ ($\approx 7,08\%$) lo que denota el predominio de relieves suavemente ondulados típicos de Entre Ríos. La precipitación extrema presentó una media provincial de 102,9 mm día⁻¹, con valores comprendidos entre 80,9 y 154,0 mm día⁻¹. El percentil 95 alcanzó 123,7 mm día⁻¹, evidenciando la ocurrencia potencial de eventos de precipitación intensa en gran parte del territorio provincial. Los mapas de las variables utilizadas se presentan en la Figura 1. La precipitación extrema (1.a) mostró un gradiente espacial con mayores valores en el norte y noreste de la provincia y menores hacia el centro-sur, en concordancia con la distribución regional de las precipitaciones. La pendiente (1.b) presentó valores bajos en la mayor parte del territorio y las mayores pendientes se concentraron en el sudoeste, en las barrancas previas al delta entrerriano (Parana, Diamante, y Victoria), y en sectores de la costa del río Uruguay. El mapa HAND (1.c) permitió identificar claramente la red de drenaje provincial con valores mínimos en los cauces y un incremento progresivo hacia las posiciones topográficas más elevadas, en coincidencia con la organización hidrológica de las principales cuencas. Cabe señalar que las variables empleadas presentan diferencias en su resolución espacial, particularmente entre las capas

topográficas (~90 m) y la precipitación derivada de CHIRPS (~5 km), lo que introduce incertidumbre en la representación de la variabilidad espacial del índice a escalas locales.

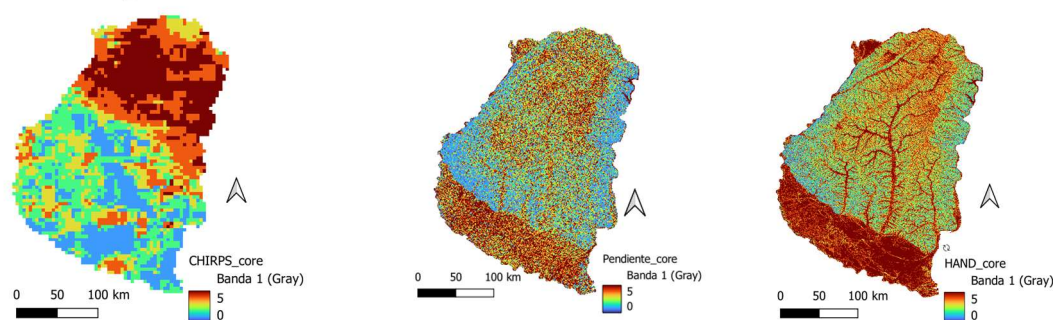


Figura 1. Susceptibilidad asociada a a) eventos extremos de precipitación; b) pendiente del terreno; c) altura respecto al drenaje más cercano. Escala: 0-1 muy baja, 1-2 baja, 2-3 media, 3-4 alta, 4-5, muy alta.

La figura 2 presenta el Índice de Susceptibilidad a Inundación obtenido mediante la integración de las variables HAND, pendiente y precipitación extrema. El mapa resultante conservó la estructura de la red de drenaje representada por HAND, e incorporó los gradientes regionales asociados a la pendiente y a la precipitación. Las áreas de mayor susceptibilidad se concentraron principalmente en sectores próximos a la red de drenaje y en zonas con condiciones topográficas favorables para la acumulación de agua, mientras que las zonas de relieve más ondulado presentaron una susceptibilidad relativamente menor. Dado el carácter preliminar del índice, se asignó igual ponderación a las tres variables consideradas, evitando establecer pesos diferenciales sin una validación previa. En futuros trabajos se propone realizar un análisis de sensibilidad que permita evaluar la influencia de distintas ponderaciones sobre el resultado final.

Este patrón espacial coincide con lo observado por Montealegre Medina *et al.* (2015) en el noroeste bonaerense, donde las mayores categorías de susceptibilidad se localizaron principalmente en sectores próximos a ríos y cuerpos de agua. Asimismo, Solana *et al.* (2023), mediante el análisis multitemporal de inundaciones en una cuenca agrícola de la región pampeana, identificaron una mayor ocurrencia de áreas inundadas en planicies aluviales y sectores asociados a ríos y arroyos. Estos antecedentes respaldan la relevancia de la posición topográfica y la proximidad a la red de drenaje como condicionantes espaciales de la susceptibilidad a inundaciones en ambientes de llanura.

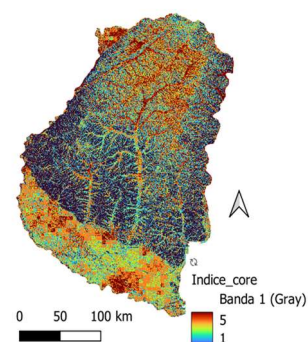


Figura 2. Índice de susceptibilidad a inundación. Escala: 0-1 muy baja, 1-2 baja, 2-3 media, 3-4 alta, 4-5, muy alta.

CONCLUSIONES

La metodología permitió generar un índice preliminar de susceptibilidad a inundación para la provincia de Entre Ríos. Como trabajo futuro, se propone validar el índice mediante su comparación con registros históricos de inundaciones obtenidos a partir de sensores remotos, lo que permitirá evaluar su capacidad para identificar áreas efectivamente afectadas. Asimismo, se propone incorporar información edáfica vinculada al drenaje natural de los suelos y profundizar el uso de herramientas de teledetección para mejorar la representación de los procesos hidrológicos y la precisión del índice.

REFERENCIAS

- Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L.; Seal, D.; Shaffer, S.; Shimada, J.; Umland, J.; Werner, M.; Oskin, M.; Burbank, D.; Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics* 45(2):RG2004.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Global Administrative Unit Layers (GAUL 2015). <https://www.fao.org/geonetwork/>.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations: A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data* 2:150066.
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202:18–27.
- Melgares, E.; Seehaus, M.S.; Gabioud, E.A.; Crespo R.J.; Van Opstal N.V.; Wingeyer A.B. 2024. Comportamiento del régimen de precipitaciones em 90 años para la EEA Paraná. En: XX Reunión Argentina de Agrometeorología, 2024, Chilecito, Argentina.
- Montealegre Medina, F.A.; Mazzucchelli, M.G.; Gaspari, F.J. 2015. Zonificación de la susceptibilidad a la inundación del noroeste bonaerense. En: E-ICES 12, 2015, La Plata, Argentina.
- Solana, M.X.; Romanelli, A.; Quiroz Londoño, O.M. 2023. Multi-temporal flood mapping and farm flood prevention strategies in an agriculturally dominated watershed of Argentina. *Cuadernos del CURIHAM* 29:e191
- Yamazaki, D.; Ikeshima, D.; Sosa, J.; Bates, P.D.; Allen, G.H.; Pavelsky, T.M. 2019. MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. *Water Resources Research* 55(6):5053–5073.

CALIDAD Y CONSISTENCIA DE DATOS DE PRECIPITACIÓN SATELITALES EN PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA

Vargas*, S.M.¹; Vázquez, V.N.²; Visentini, E.³; Arias, J.⁴; Velázquez, N.⁵; Hurtado, R.⁶

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Sede Regional Sur (UNSa), Coronel Vidt 346, San José de Metán

² Facultad Regional Orán (UNSa), Alvarado 750, San Ramón de la Nueva Orán, 4530, Argentina

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Salta

^{4,5} Facultad de Cs. Exactas (UNSa), Av. Bolivia 5150, Salta

⁶ Facultad de Cs. Agrarias (UNJu), Alberdi 47, San Salvador de Jujuy

*Contacto: svargas@sedesur.unsa.edu.ar

Palabras clave: series; variabilidad; validación

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de datos meteorológicos continuos y precisos es fundamental para la planificación agrícola y gestión de recursos naturales. Teniendo en cuenta el reducido número de estaciones meteorológicas existentes, su escasez resulta una limitante frecuente. En este contexto, los productos satelitales constituyen una alternativa viable para la caracterización hidroclimática, aunque requieren validación frente a mediciones de superficie. En sistemas ambientales complejos, como el Noroeste Argentino (NOA), que presenta grandes contrastes físicos, bióticos y humanos, la falta de datos en series continuas genera incertidumbre en el análisis climático y dificulta la adecuada representación de la variabilidad regional de ciertas variables meteorológicas, como, por ejemplo, las precipitaciones (Moreno *et al.*, 2025).

En el presente estudio se validaron los datos de precipitación provenientes de satélite con los de estaciones meteorológicas en localidades de la provincia de Salta, con el objeto de su utilización para la determinación de índices climáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron datos meteorológicos diarios de precipitación de las localidades de Metán (-25° 29' S; -64° 48' O), Salta (-24° 51' S; -65° 29' O) y Orán (-23° 09' S; -64° 19' O), de estaciones convenciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Siguiendo las directrices de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018) y, considerando que el área de estudio se ubica en una región de amplia variabilidad ambiental, asentada sobre un relieve de ambiente serrano en sentido este a oeste, el área buffer a partir de la estación meteorológica se fijó en 30 km a la redonda. Con la plataforma GEE (*Google Earth Engine*), se automatizó la extracción de las series temporales de datos, período 1982 - 2025, mediante un algoritmo en Java Script.

Los datos satelitales de precipitación (mm día⁻¹), provienen del producto *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS v2.0), con una resolución espacial nominal de 0,05° y, temporal diaria. Adicionalmente, debido a la influencia del relieve del NOA, el análisis incorporó el modelo digital de elevaciones global de un segundo de arco NASA SRTM GL1 v3.0 (USGS/SRTMGL1_003), con una resolución espacial de 30 m, utilizado de forma exclusiva para el enmascaramiento y filtrado de la topografía circundante a las estaciones. Se realizó un análisis comparativo utilizando registros de estaciones e información satelital. Debido a la existencia de datos faltantes en los registros diarios de superficie, se compensó con un ajuste mediante el agrupamiento mensual, justificado por la alta variabilidad diaria y la influencia de eventos extremos durante los meses lluviosos. La validación se llevó a cabo mediante el cálculo de la Correlación de Pearson, Error Cuadrático Medio (MSE) y Error Absoluto Medio (MAE). Adicionalmente, para validación diaria de datos satelitales del área buffer vs dato puntual se evaluó el período 2010-2025, para garantizar la continuidad y simultaneidad perfecta con los registros de las estaciones sin requerir técnicas de imputación, mientras que la consistencia climática de largo plazo e interanual se analizó con los acumulados a escala mensual para la serie histórica completa de CHIRPS (1982-2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que la correlación entre datos satelitales y terrestres varía significativamente según el mes. Para las tres localidades, se observó que la correlación es moderada (>0,6) en los meses abril, julio y agosto, mientras que en los meses más lluviosos (diciembre, enero, febrero), los valores van desde 0,2 y 0,5. Los errores (MSE y MAE) son considerablemente más altos en los meses de mayor precipitación (diciembre, enero y febrero), lo que sugiere que el satélite tiende a subestimar o sobreestimar los valores durante eventos de lluvia intensa.

La inclusión de la banda $\pm 1\sigma$, en la Figura 1, permite visualizar el rango típico de variabilidad natural de las precipitaciones observadas. Alrededor del 68 % de los valores se encuentran dentro de $[x-\sigma, x+\sigma]$. Por lo tanto, estas franjas proporcionan una referencia para evaluar si las estimaciones satelitales se encuentran dentro del comportamiento esperado de la variabilidad climática observada, permitiendo identificar meses con alta variabilidad climática, y meses con comportamiento más estable. Para la precipitación diaria (2010-2025), la comparación entre la media y la mediana del satélite en el área buffer y el valor del satélite puntual, revela una correlación significativamente alta ($R>0,9$) (Tabla 1).

El estudio confirma que CHIRPS, es actualmente uno de los productos más robustos para estimar precipitación en zonas de difícil acceso en coincidencia con Ayehu *et al.* (2018); Garay (2018) y Moreno *et al.* (2025). Asimismo, el agrupamiento de las precipitaciones diarias en totales mensuales permite analizar con mayor eficacia los patrones estacionales, planificar recursos hídricos y agrícolas, realizar comparaciones históricas más precisas, tal como lo señalan Gaitán y Biancari (2024).

No obstante, a escala mensual, la validación de datos satelitales presenta limitaciones marcadas en la precipitación en el NOA, especialmente durante el período estival (Hurtado *et al.*, citado por Alabar *et al.*, 2021), donde la alta variabilidad del terreno dificulta una representación adecuada de la realidad de las estaciones de superficie (Joyce *et al.*, 2004; Kidd *et al.*, 2003; Liu, 2016, citado por Moreno *et al.* 2025). Mientras que, en las llanuras, los satélites alcanzan una alta precisión, en zonas de montaña y piedemonte como el NOA, esta cae drásticamente (Benítez *et al.*, 2024; Basualdo *et al.*, 2025).

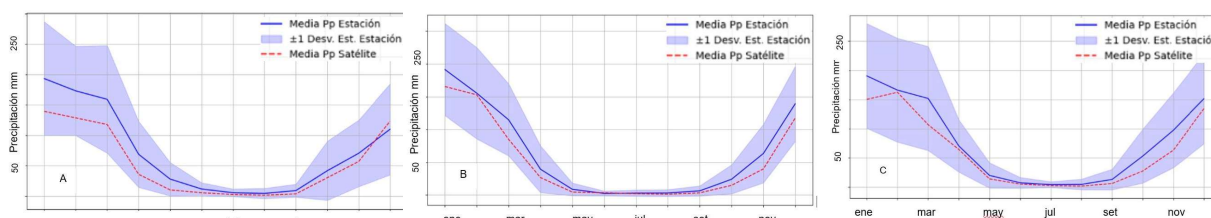


Figura 1. Correlación mensual y errores (MSE y MAE) entre datos de precipitación satelitales y terrestres de las localidades de Metán (A), Salta (B) y Orán (C).

Tabla 1. Estadísticos de Correlación de Pearson y Sesgo Medio [Precipitación, mm día⁻¹] para comparación diaria (2010-2025) entre la media/mediana del satélite en el área buffer y el pixel satelital en las localidades de Metán, Salta y Orán.

Localidad	Correlación Pearson Media-Mediana	Sesgo medio Precipitación, mm día ⁻¹	Correlación Pearson Media-Pixel	Sesgo medio Precipitación, mm día ⁻¹
Metán	0,98	0,20	0,92	0,23
Salta	0,98	0,23	0,94	0,25
Orán	0,99	0,13	0,96	0,22

CONCLUSIONES

Las precipitaciones obtenidas de satélite muestran patrones similares a los observados, pero con magnitudes diferentes debido a la naturaleza de los modelos matemáticos de estimación y a la escasez de estaciones físicas locales necesarias para calibrar dichos modelos. Ante las limitaciones detectadas para representar eventos intensos en regiones subtropicales, es imperativo profundizar en el ajuste de algoritmos y avanzar en el cálculo de un factor de corrección específico para zonas de montaña.

Finalmente, este análisis ratifica que la validación con estaciones de superficie locales es irremplazable, dado que los sesgos de los modelos globales pueden afectar significativamente la planificación agrícola provincial. Asimismo, se destaca que la utilización de un área buffer de 30 km permite acercarnos a una validación más adecuada en terrenos complejos.

REFERENCIAS

- Alabar, F.D.; Solís, J.M.; Valdiviezo Corte, M.B; Hurtado, R.H. 2021. Validación de las precipitaciones estimadas por TRMM y GPM en 6 estaciones de las provincias de Jujuy y Salta (Argentina). *Revista científica de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNJu* 14(2):45-57.
- Ayehu, G.T.; Tadesse, T.; Gessesse, B.; DinKu, T. 2018. Validation of new satellite rainfall products over the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Atmospheric Measurement Techniques* 11:1921-1936.
- Basualdo, A.; Carrasco Galleguillos, F.; Córdoba Fradinger, C. 2025. Validación de estimaciones satelitales de temperatura mínima diaria en el sur de la provincia de Buenos Aires. https://cenamet.org.ar/congrement/wp-content/uploads/2025/11/A4_T136.pdf, Consultado 22/12/2025.
- Benítez, V.D; Forgioni, F.P.; Lovino, M.S.; Sgroi, L.; Doyle, M.; Müller, G.V. 2024. Capability of satellite data to estimate observed precipitation in southeastern South America. *International Journal of Climatology* 44:792-811.
- Garay, D.D. 2021. Análisis comparativo entre datos anuales de precipitación estimada por satélite y observaciones pluviométricas de los Llanos de La Rioja. INTA Digital. La Rioja, Argentina. 13 p.
- Gaitán, J.; Biancari L. 2024. Nueva base de datos de precipitaciones mensuales de la República Argentina (PMRAv1), 2000-2022. *Meteorológica* 49:032.
- Moreno, C.; Rivera Funes, M. Valdiviezo Corte, M. Hurtado, R.; Alabar, F.; Serio, L.; Vilca Ochoa, S. 2025. Evaluación comparativa de estimaciones satelitales y terrestres de precipitación en el Noroeste argentino. *Revista científica de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNJu* 18(2):74-88.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2018. Guía de Prácticas Climatológicas (Vols.OMM-N° 100). Ginebra, Suiza. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027 Consultado 22/12/2021.

Área temática 5

Variabilidad climática - Cambio climático

Adaptación, mitigación y resiliencia

Energías alternativas

ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE TEMPERATURAS EXTREMAS PARA MAÍZ EN ARGENTINA A PARTIR DE SIMULACIONES CLIMÁTICAS

Berman*, A.L.¹; Gattinoni, N.²

¹ Universidad de Buenos Aires (UBA), Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA-CONICET) (IRL 3351 IFAECI/CNRS-IRD-CONICET-UBA). Buenos Aires, Argentina

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, de Los Reseros s/n, Hurlingham, 1686, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: alberman@cima.fcen.uba.ar

Palabras clave: región centro agrícola; temperatura máxima; simulaciones numéricas; proyección futuro extremo

INTRODUCCION

La producción de maíz en la región central de Argentina posee una gran relevancia como uno de los principales cultivos de uso forrajero o como base para la fabricación de productos alimenticios. El análisis de los episodios de estrés térmico alrededor del periodo de floración resulta fundamental debido a su impacto sobre la tasa de crecimiento del maíz. Varios estudios han evaluado el desempeño de modelos climáticos en la representación de las condiciones climáticas de la región, Reboita *et al.* (2024) y Müller *et al.* (2021 y 2025) entre otros, coinciden en que los modelos del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6) reproducen adecuadamente la variabilidad histórica de la temperatura en el centro-este de Argentina. En concordancia con Collazo *et al.* (2022), la evidencia observacional y las simulaciones CMIP6 sugieren una intensificación progresiva de los extremos cálidos en América del Sur. Estos resultados constituyen un punto de partida sólido para avanzar en el análisis de eventos térmicos extremos, con el fin de profundizar el conocimiento sobre los posibles cambios futuros y su posible impacto en la producción. El objetivo de este trabajo es analizar la ocurrencia de temperaturas máximas extremas durante el periodo crítico del cultivo de maíz a partir de simulaciones numéricas climáticas con el fin de evaluar su evolución y tendencia en región central productiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la variable temperatura máxima diaria a 2 m (TasMax) obtenida de la simulación numérica del modelo global MPI-ESM1-2-HR del Instituto de meteorología Max Planck de Alemania, que forma parte del CMIP6 (<https://aims2.llnl.gov/search/cmip6/>). Este modelo ha sido uno de los referentes para la región húmeda del país en la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático-3CNCC (CIMA/CONICET-UBA, 2014) (Barros *et al.*, 2015) y cuenta con una de las mejores resoluciones de punto de grilla ($0.937^\circ \times 0.937^\circ$). Para el análisis se consideraron dos periodos: el histórico (1970-2014) y el escenario futuro extremo (2015-2049) el cual representa un escenario con desarrollo basado en consumo de combustibles fósiles, con la ausencia de nuevas políticas climáticas. La región de estudio es centro-este de Argentina latitud: 28°S a 40°S y longitud: 68°O a 56°O y se indica una subregión para la región central, dado que concentra la mayor producción de maíz del país (Figura 1). Se consideró la cantidad de días con $\text{TasMax} \geq 35^\circ\text{C}$. Este umbral se tomó dado la susceptibilidad del cultivo de maíz al mismo y se seleccionaron dos periodos críticos para el cultivo: del 15 de diciembre de un año al 15 de enero del siguiente año (1P) y del 15 de enero al 25 de febrero (2P). Se asumió que estos periodos eran iguales para las simulaciones a futuro. Se analizó el promedio de días por década para el periodo 1970-2049. Las cuatro primeras décadas (1970-2009) se definieron como periodos de referencia (pasado), mientras que las cuatro décadas siguientes (2010-2049) correspondieron al periodo de proyección a futuro. Las anomalías se calcularon en cada punto de grilla respecto al periodo de referencia y se analizó la significancia estadística mediante t-student con un nivel de significancia del 95 %.

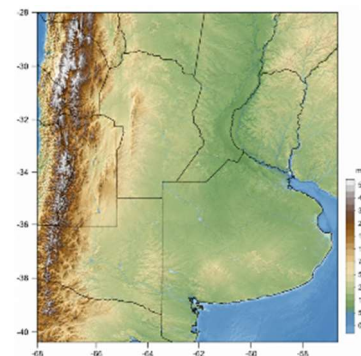


Figura 1: Región de estudio con orografía

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se presenta el promedio anual de casos por década desde 1970 hasta 2049, para ambos periodos críticos 1P y 2P. Se observa una distribución espacial similar en ambos periodos, con la mayor frecuencia de eventos en el sector oeste de la región y una disminución progresiva hacia el este. Asimismo, se identifica un mínimo relativo en la región del noreste, entre Córdoba y San Luis, asociado al efecto topográfico de las sierras. Por otra parte, la costa de la provincia de Buenos Aires, Entre Ríos y sur de Corrientes presentan una menor cantidad de eventos, probablemente asociada a la influencia moderadora del océano. En ambos periodos se evidencia un aumento gradual tanto en la frecuencia como en la extensión espacial (desde oeste a este) de los eventos a lo largo de las décadas. Durante el periodo 1P la frecuencia de valores es sistemáticamente menor que en 2P. Este resultado se explica a partir de que el máximo de radiación solar ocurre en torno al solsticio de diciembre y la inercia térmica del sistema superficie-atmósfera provoca un retraso en la respuesta térmica, favoreciendo durante la segunda mitad del verano la ocurrencia de temperaturas extremas.

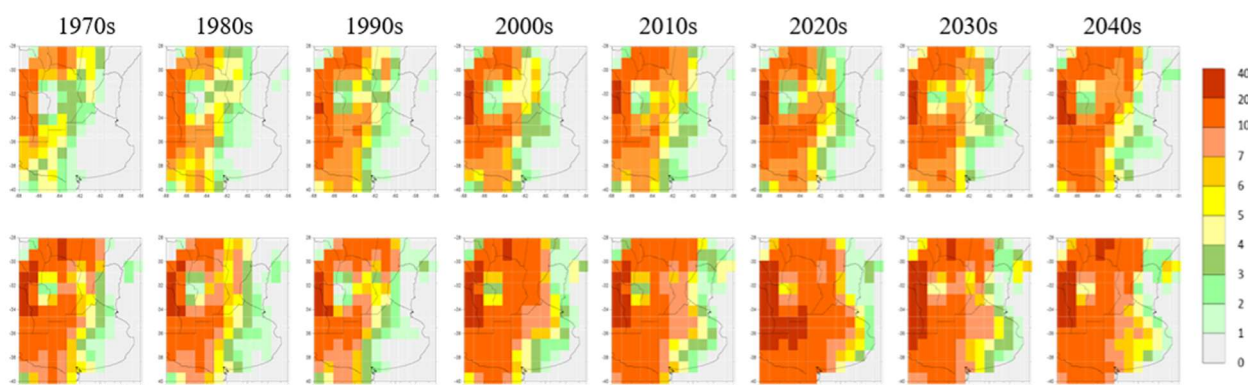


Figura 2: Cantidad promedio de días con $TasMax \geq 35^{\circ}C$, por año para cada década desde 1970 a 2049, para fila superior período 1P (15 diciembre a 15 enero) y fila inferior periodo 2P (15 enero a 25 febrero).

Tomando el periodo de las cuatro primeras décadas como periodos del pasado, mientras que las siguientes cuatro décadas como periodos de proyección futura, se compararon ambos grupos mediante la diferencia entre los grupos. En la Figura 3 se muestra la diferencia (futuro-pasado) para los periodos 1P y 2P. En ambos casos, las diferencias son positivas en todos los puntos de grilla, lo que indica que la frecuencia de eventos de temperatura $\geq 35^{\circ}C$ tendería a incrementarse en la región durante las próximas décadas. El periodo 2P presenta un aumento más marcado en la cantidad de eventos, destacándose especialmente en la región sur de San Luis, La Pampa y oeste de Buenos Aires. Además, el análisis estadístico del test T-Student indica que las diferencia entre ambos periodos son significativa al 95 % en los puntos indicados en la Figura 3. Estos resultados sugieren una intensificación de los eventos de calor extremo en gran parte de la región de estudio, siendo más pronunciada durante el periodo 2P, lo que refuerza la señal de calentamiento proyectada para las próximas décadas.

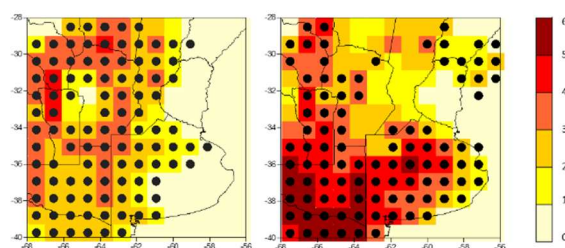


Figura 3: Anomalías (futuro-pasado) de la cantidad de eventos de $TasMax \geq 35^{\circ}C$. Los puntos negros representan diferencias significativas al 95 % Izquierda 1P y derecha 2P.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de la simulación MPI-ESM1-2-HR muestra un aumento progresivo de la cantidad de días con $TasMax \geq 35^{\circ}C$ en la región central de Argentina durante 1970-2049. Si bien, la distribución espacial de los casos se mantiene similar entre los dos periodos críticos del cultivo de maíz analizados se observa una expansión geográfica y un incremento en la cantidad de días cálidos con los años, especialmente en el oeste de la región. Este aumento es mayor en 2P. La diferencia entre pasado y futuro resultó significativa en la mayoría de los puntos de grilla de la región. Estos resultados sugieren la intensificación de los extremos cálidos en las próximas décadas, con posibles implicancias en la producción de maíz. El considerar estos dos periodos permite identificar en qué etapa de la temporada cálida se podrían intensificar los episodios de calor extremo, aportando información útil para la planificación de fecha de siembra y la adopción de estrategias de adaptación frente al cambio climático.

REFERENCIAS

- Collazo, S.; Barrucand, M.; Rusticucci, M. 2022. Evaluation of CMIP6 models in the representation of observed extreme temperature indices trends in South America. *Climatic Change* 172(1):1-21.
- Müller, G.V.; Lovino, M.A.; Sgroi, L.C. 2021. Observed and projected changes in temperature and precipitation in the core crop region of the humid pampa, Argentina. *Climate* 9:40.
- Müller G.V.; Wilhelm, M.S.; Pierrestegui, M.J.; Lovino, M.A. 2025. Historical performance and future climate projections from CMIP6 models in central-eastern Argentina. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science* 75:ES25027. doi:10.1071/ES25027
- Reboita, M.; Ferreira, G.; Ribeiro, J.G.; Ali, S. 2024. Assessment of precipitation and near-surface temperature simulation by CMIP6 models in South America. *Environmental Research: Climate* 3:025011.

TENDENCIA CLIMÁTICA HISTÓRICA Y FUTURA EN LA REGIÓN HÚMEDA DEL ESTE ARGENTINO MEDIANTE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES DEL CMIP6

Blanco*, P.S.¹; Doyle, M.E.¹

¹ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/UBA-CONICET), Intendente Güiraldes 2160, CABA, C1428GA, Argentina

*Contacto: pedro.blanco@cima.fcen.uba.ar

Palabras clave: precipitación; evapotranspiración potencial; series temporales

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática afecta la disponibilidad de recursos hídricos esenciales para la agricultura y la ganadería (Quirolo *et al.*, 2023). En Argentina, los cambios en la precipitación y evapotranspiración han alterado las condiciones ambientales para el desarrollo productivo (Bartolomé *et al.*, 2004). En particular, el este del país se caracteriza por presentar excedentes hídricos durante gran parte del año, aunque la variabilidad climática ha dado lugar a eventos secos y húmedos que generaron impactos significativos sobre la producción agropecuaria regional (Anibalini *et al.*, 2022).

En este contexto, conocer las tendencias históricas de estas variables y proyectar su evolución futura resulta relevante para comprender los cambios en la disponibilidad de agua y contribuir a la planificación de los sistemas productivos. Para ello, los modelos climáticos globales del *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) y los escenarios de *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP) constituyen herramientas clave (Müller *et al.*, 2025). En este trabajo se analizan las tendencias climáticas en la región húmeda del este de Argentina durante el período histórico (1961-2014) y sus proyecciones futuras (2015-2100) utilizando simulaciones del CMIP6.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a la región húmeda ubicada al este de la República Argentina. Para delimitar esta región se utilizaron datos mensuales de precipitación (PRE) y temperatura media (TEM) de la versión 4.09 de *Climatic Research Unit* (CRU) para el período 1961-2020. A partir de la TEM se calculó la evapotranspiración potencial (ETP) a partir del método de Thornthwaite. Posteriormente, se obtuvieron los valores anuales de PRE y ETP, y se calculó el índice de aridez anual (IA) como el cociente entre ambas variables. Con estos datos se construyó el campo medio anual del IA y se delimitó la región mediante la isolínea de valor 1, que representa condiciones de exceso de precipitación respecto a la demanda evaporativa atmosférica. Valores inferiores a 1 indican distintos grados de aridez: hiperárido (0-0,05), árido (0,05-0,2), semiárido (0,2-0,5), subhúmedo seco (0,5-0,65) y subhúmedo húmedo (0,65-1).

El análisis de las tendencias históricas y futuras se realizó a partir de datos mensuales de PRE y TEM, esta última utilizada para calcular la ETP, provenientes de 10 modelos climáticos globales del CMIP6: CMCC-ESM2, ACCESS-ESM1-5, CanESM5, INM-CM4-8, TaiESM1, IPSL-CM6A-LR, MIROC6, NorESM2-MM, MPI-ESM1-2-HR y BCC-CSM2-MR. Se consideró el período histórico 1961-2014 y las proyecciones futuras para 2015-2100 bajo los escenarios SSP1-2.6 (optimista), SSP2-4.5 (intermedio) y SSP5-8.5 (pesimista).

Los datos de los modelos fueron re-muestreados a una resolución espacial de 0,16° mediante la interpolación bilineal simple y fueron validados utilizando como referencia la base de datos CRU. Luego, se aplicó una corrección de sesgo mediante el método de escalamiento de la media mensual para reducir dichos errores en las simulaciones históricas, mejorar su consistencia con las observaciones de referencia y ajustar las proyecciones futuras a las condiciones históricas observadas sin alterar las señales de cambio proyectadas por los modelos (Müller *et al.*, 2025).

Se construyeron series anuales del IA, PRE y ETP promediadas para la región, considerando cada modelo y el ensamble multi-modelo. Sobre estas series, se calcularon tendencias mediante regresión simple para el período histórico (1961-2014), período completo (1961-2100), futuro completo (2015-2100), futuro cercano (2015-2050), futuro intermedio (2051-2080) y futuro lejano (2081-2100). Estas tendencias, estimadas a partir de la pendiente de la recta de ajuste lineal y su significancia estadística se evaluó mediante la prueba t de Student con un nivel de confianza del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial del IA, promediado para el período 1961-2020 a partir de los datos CRU en Argentina, muestra que en el este del país predominan valores iguales o superiores a 1 (Figura 1a). Esta región presenta excesos hídricos a lo largo del año que revelan una disponibilidad de agua superior a la demanda evaporativa de la atmósfera.

Las series anuales del IA, PRE y ETP para el período 1961-2100 muestran una marcada variabilidad interanual y una dispersión entre modelos que aumenta con el tiempo, especialmente en el escenario pesimista (Figura 1b). A escala regional, la evolución del IA se asemeja a la de la PRE, aunque en los escenarios futuros aumenta la influencia de la ETP. En la región predominan condiciones húmedas durante el período histórico, que se mantienen en los escenarios optimista e intermedio hasta 2100. En contraste, el escenario pesimista proyecta una transición hacia condiciones subhúmedas húmedas desde la década de 2060 en adelante, asociada a un aumento más acelerado de la ETP.

Durante el período histórico, el IA disminuye significativamente ($p = 4,3 \times 10^{-4}$) como consecuencia de un incremento más marcado de la ETP respecto al de la PRE (Figura 1c). Para el período 1961-2100, el IA presenta una disminución en todos los escenarios, más intensa en el pesimista. Estas tendencias se asocian a aumentos significativos de la ETP ($p = 3,8 \times 10^{-15}$ en

el optimista, $p = 5,2 \times 10^{-53}$ en el intermedio, $p = 3,6 \times 10^{-69}$ en el pesimista), mientras que la PRE registra incrementos menores, aunque significativos en los escenarios intermedio y pesimista ($p = 2,2 \times 10^{-2}$ para el primero, $p = 4,5 \times 10^{-12}$ para el segundo). Estos resultados son consistentes con estudios previos que documentaron cambios en la disponibilidad hídrica y las condiciones agroclimáticas de Argentina asociados a incrementos de temperatura que superan los cambios en la PRE (Bartolomé *et al.*, 2004; Quirolo *et al.*, 2023; Müller *et al.*, 2025).

En cuanto a las tendencias por subperíodos futuros, en el escenario optimista, el IA pasa de tendencias negativas a positivas, indicando una desaceleración inicial y una posterior recuperación hacia condiciones más húmedas, acompañada por un aumento de la PRE y una desaceleración del incremento de la ETP. En el escenario intermedio, el IA mantiene tendencias negativas cada vez menos intensas, asociadas a una desaceleración del aumento de la ETP y cambios ligeros en la PRE. En contraste, el escenario pesimista exhibe una intensificación progresiva de las tendencias negativas del IA, impulsada por aumentos sostenidos de la ETP. Estos cambios en la intensidad de las tendencias coinciden con proyecciones de un calentamiento más acelerado en el centro-este del país, especialmente bajo el escenario de altas emisión de gases de efecto invernadero (Müller *et al.*, 2025).

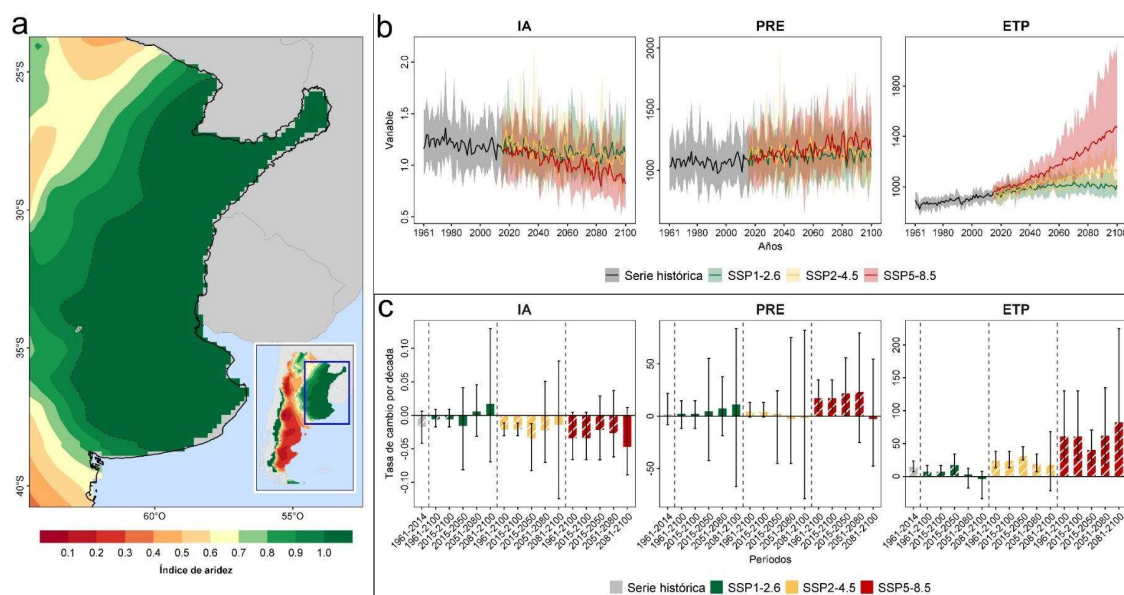


Figura 1. a. Región húmeda del este de Argentina delimitada a partir del campo medio anual del índice de aridez para el período 1961-2020 según la base CRU, b. Series anuales del índice de aridez (IA), precipitación (PRE) y evapotranspiración potencial (ETP) para el período 1961-2100 considerando el ensamble multi-modelo; el sombreado gris representa la dispersión entre modelos para el período histórico (1961-2014), mientras que los sombreados verdes (SSP1-2.6), amarillos (SSP2-4.5) y rojos (SSP5-8.5) por escenario muestran la dispersión para el período futuro (2015-2100), c. Tendencias lineales del IA, PRE y ETP estimadas para el ensamble multi-modelo considerando los distintos periodos y escenarios; las líneas blancas continuas indican tendencias significativas según la prueba t de Student ($\alpha = 0,05$) y las barras de error representan el rango de dispersión entre modelos por período y escenario. La tasa de cambio del IA se expresa en unidades por década, mientras que las de PRE y ETP en mm por década.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que, aunque el este de Argentina mantiene actualmente condiciones húmedas, se proyecta una disminución progresiva del IA asociada a un aumento más acelerado de la ETP respecto de la PRE. Esta señal es más intensa bajo el escenario pesimista, donde se proyecta una transición hacia condiciones progresivamente más secas desde mediados del siglo XXI. Estos cambios podrían reducir la disponibilidad de agua en una región históricamente adaptada a condiciones húmedas, comprometiendo la capacidad de adaptación de las sociedades y poniendo en riesgo la sostenibilidad de los sistemas productivos que sustentan gran parte de la actividad económica del país.

REFERENCIAS

- Anibalini, V.; Dickie, M.J.; Gastaldo, J.; Coronel, A. 2022. Variabilidad climática de la precipitación, temperatura y de sus eventos extremos en el sur de Santa Fe. *Revista Argentina de Agroclimatología (RADA)* 13:23-29.
- Bartolomé, M.; Caputo, M.G.; Celis, A.; Herzer, H.; Rodríguez, C. 2004. El clima y otros factores de riesgo productivo en la pampa húmeda argentina. *Realidad Económica* 202:88-107.
- Quirolo, M.E.; Gesualdo, E.; Pellerano, L.; Roselló, J. 2023. Impacto económico de la variabilidad climática en la producción agropecuaria en la provincia del Chaco. *Revista de Investigación en Modelos Financieros* 1:42-61.
- Müller, G.V.; Wilhelm, M.S.; Pierrestegui, M.J.; Lovino, M.A. 2025. Historical performance and future climate projections from CMIP6 models in central-eastern Argentina. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science* 75:1-16.

EXPANSIÓN FUTURA DE LAS TIERRAS SECAS EN ARGENTINA BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Blanco*, P.S.¹; Doyle, M.E.¹

¹ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/UBA-CONICET), Intendente Güiraldes 2160, CABA, C1428GA, Argentina

*Contacto: pedro.blanco@cima.fcen.uba.ar

Palabras clave: tendencias lineales; clima árido; modelos CMIP6

INTRODUCCIÓN

Las tierras secas se caracterizan por presentar precipitaciones insuficientes para satisfacer la demanda evaporativa atmosférica durante una estación o en gran parte del año. Esta condición las convierte en ambientes particularmente sensibles al cambio climático, ya que pequeñas variaciones en la temperatura o precipitación pueden alterar significativamente la limitada disponibilidad de agua. En las últimas décadas, se documentó una expansión continua de las tierras secas globales y se proyectó que podrían incrementarse entre un 11 y 23 % hacia finales del siglo XXI como consecuencia del aumento de la aridez (Huang *et al.*, 2016).

En Argentina, las tierras secas abarcan más de la mitad del territorio y, aunque su evolución histórica mostró una expansión significativa (Blanco y Doyle, 2025), su comportamiento futuro aún ha sido poco explorado. En este contexto, las simulaciones del *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) constituyen herramientas fundamentales para analizar posibles trayectorias futuras de estas regiones bajo distintos escenarios de cambio climático (Müller *et al.*, 2025). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar la evolución histórica y futura de las tierras secas de Argentina durante el período 1961-2100 mediante modelos climáticos globales del CMIP6.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos mensuales de temperatura media del aire en superficie (TAS) y precipitación (PRE) para el sector continental de la República Argentina durante el período histórico (1961-2014) y las proyecciones futuras (2015-2100). Estos datos se obtuvieron para 10 modelos climáticos globales del CMIP6 (CMCC-ESM2, ACCESS-ESM1-5, CanESM5, INM-CM4-8, TaiESM1, IPSL-CM6A-LR, MIROC6, NorESM2-MM, MPI-ESM1-2-HR y BCC-CSM2-MR) bajo tres escenarios *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Además, se interpolaron a una resolución común de $0,16^\circ \times 0,16^\circ$, y se validaron empleando como referencia los datos de la base grillada del *Climate Research Unit* (CRU). Finalmente, las simulaciones fueron corregidas por medio del escalamiento de la media mensual, permitiendo reducir los sesgos respecto de las observaciones históricas y conservar las señales de cambio climático proyectadas por los modelos en los escenarios futuros (Müller *et al.*, 2025).

A partir de los datos de TAS, se calculó la evapotranspiración potencial (ETP) mediante el método de Thornthwaite y, luego, se estimó el índice de aridez anual (IA) como el cociente entre PRE y ETP. Con base en los valores del IA en el dominio y para el período de estudio, se clasificaron los distintos grados de aridez en climas hiperárido (0-0,05), árido (0,05-0,2), semiárido (0,2-0,5), subhúmedo seco (0,5-0,65), subhúmedo húmedo (0,65-1) y húmedo (>1). De acuerdo con la definición de la UNCCD (2022), se consideraron a las tierras secas como aquellas regiones con clima árido, semiárido y subhúmedo seco. Luego, se computó el porcentaje anual de superficie para cada tipo de tierra seca con respecto al área continental del país (2.791.810 km²). Finalmente, se construyeron series temporales para cada tipo de tierra seca según los distintos modelos y el ensamble multi-modelo. Además, se estimaron tendencias lineales para el período histórico (1961-2014), el futuro completo (2015-2100), el futuro cercano (2015-2050), el futuro intermedio (2051-2080) y el futuro lejano (2081-2100). Estas tendencias se expresaron como tasa de cambio por década y su significancia estadística se evaluó mediante la prueba t de Student con un nivel de confianza del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, las tierras secas totales y sus climas asociados en la Argentina presentan una alta variabilidad interanual y una marcada dispersión entre modelos, especialmente en las proyecciones futuras (Figura 1a). Durante el período histórico, las tierras secas abarcan entre el 50 y 60 % del territorio y muestran una tendencia creciente. En el SSP1-2.6 se proyecta un aumento hasta 2040 y luego una estabilización cercana al 60 % de superficie. En el SSP2-4.5, el incremento continúa hasta el 2080, estabilizándose entre el 60 y 70 % del territorio. En el SSP5-8.5 se observa un aumento continuo, superando el 70 % del área hacia 2060.

La evolución de la superficie ocupada por cada tipo climático muestra comportamientos diferenciados. El clima árido exhibe un incremento progresivo durante el período histórico, superando el 10 % de superficie desde la década de 1990; en el SSP1-2.6 se estabiliza en valores menores al 20 %, mientras que en el SSP5-8.5 supera el 30 % del territorio hacia 2060. En el clima semiárido, los valores fluctúan alrededor del 32 % durante el período histórico y se observan cambios moderados en el futuro. El clima subhúmedo seco oscila alrededor del 13 % de superficie y se mantiene relativamente estable hasta 2040, seguido por una leve disminución hacia finales de siglo.

Las tierras secas y sus climas asociados presentan diferentes ritmos de cambio según el período y escenario (Figura 1b). Durante el período histórico, las tierras secas totales y las tierras áridas muestran incrementos significativos cercanos al 1 %

por década, mientras que los climas semiárido y subhúmedo seco muestran tendencias débiles y no significativas. Para el período futuro completo, las tierras secas totales y las tierras áridas mantienen tendencias positivas y significativas en los tres escenarios, especialmente en el SSP5-8.5, mientras que las tierras semiáridas y subhúmedas secas presentan tendencias negativas, incluso más intensas bajo el SSP5-8.5.

El análisis por subperíodos futuros exhibe cambios en la magnitud y dirección de las tendencias. En las tierras secas totales, el SSP1-2.6 exhibe un cambio de valores positivos a negativos hacia finales del siglo XXI. En los SSP2-4.5 y SSP5-8.5, las tendencias permanecen positivas, aunque con una disminución gradual en su magnitud. En el clima árido se observa un comportamiento similar, mientras que los climas semiárido y subhúmedo seco muestran cambios más moderados. Esta expansión proyectada de las tierras secas y sus variaciones en intensidad, especialmente bajo el escenario SSP5-8.5 y en el centro del país, podría generar impactos en la producción agropecuaria y el consumo de agua en Argentina, ya que el avance de condiciones más secas sobre regiones actualmente productivas podría reducir la disponibilidad hídrica, comprometer el desarrollo de las actividades agropecuarias e incrementar la demanda de agua para riego y abastecimiento, con potenciales repercusiones para la economía nacional (Huang *et al.*, 2016).

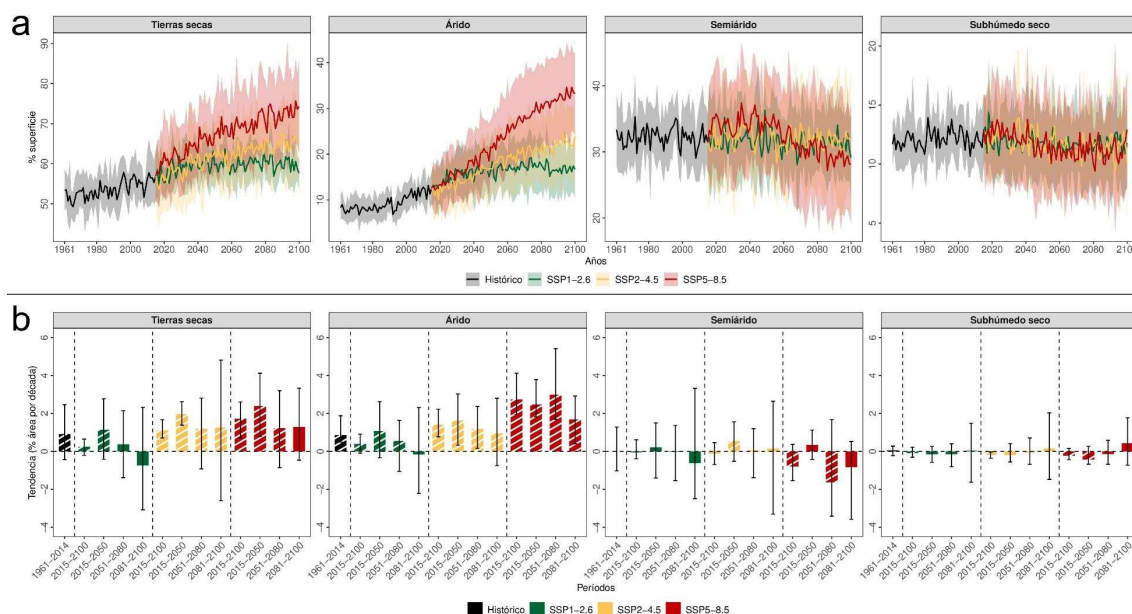


Figura 1. A. Series del porcentaje de superficie del país con tierras secas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas para el período 1961-2100 considerando el ensamble multi-modelo; el sombreado gris representa la dispersión entre modelos para el período histórico (1961-2014), mientras que los sombreados verdes (SSP1-2.6), amarillos (SSP2-4.5) y rojos (SSP5-8.5) por escenario muestran la dispersión para el período futuro (2015-2100). **b.** Tendencias del porcentaje de superficie del país con tierras secas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas estimadas para el ensamble multi-modelo considerando los distintos períodos y escenarios; las líneas blancas continuas indican tendencias significativas según la prueba t de Student ($\alpha = 0,05$) y las barras de error representan el rango de dispersión entre modelos por período y escenario. La tasa de cambio se expresa en porcentaje (%) de área por década.

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian una expansión progresiva de las tierras secas en Argentina durante el siglo XXI, especialmente bajo escenarios de mayores emisiones. En este sentido, los modelos climáticos globales del CMIP6 constituyen herramientas fundamentales para evaluar posibles trayectorias futuras de la aridez y cuantificar las diferencias entre escenarios de cambio climático. Estas proyecciones aportan información relevante para la planificación territorial y la gestión de los recursos hídricos en regiones vulnerables a la expansión de las tierras secas.

REFERENCIAS

- Blanco, P.S.; Doyle, M.E. 2025. Changes in drylands in Argentina during the phases of the Pacific Decadal Oscillation (1961-2022). *Earth Systems and Environment* 1:22.
- Huang, J.; Yu, H.; Guan, X.; Wang, G.; Guo, R. 2016. Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature climate change* 6:166-171.
- Müller, G.V.; Wilhelm, M.S.; Pierrestegui, M.J.; Lovino, M.A. 2025. Historical performance and future climate projections from CMIP6 models in central-eastern Argentina. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science* 75:1-16.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2022. PRAIS4 reporting manual: Annex III - Glossary. En: United Nations (Ed.). PRAIS4 Reporting Manual. UNCCD. Bonn, Alemania. 124 p.

ZONIFICACION VITIVINICOLA FUTURA DE UVA MALBEC EN ARGENTINA EN BASE A LAS SIMULACIONES CORDEX-CORE

Cabré*, M.F.^{1,3,4}; Solman, S.^{2,3,4}; Nuñez, M.^{2,3,4}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires, Argentina

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires. Argentina

³ CONICET-Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina

⁴ CNRS-IRD-CONICET-UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina

*Contacto: cabre@cima.fcen.uba.ar

Palabras clave: índices bioclimáticos; cambio climático; modelos climáticos regionales

INTRODUCCIÓN

El efecto del cambio climático en las regiones vitivinícolas puede ser evaluado a través de estudios de zonificación climática, los cuales consisten en el cálculo de índices bioclimáticos basados en información provista por modelos climáticos regionales (MCRs) y/o modelos climáticos globales (MCGs). Si bien existen numerosos estudios de zonificación climática basados en el uso de modelos climáticos, es deseable que los mismos estén basados en modelos climáticos de la mayor resolución espacial disponible. A su vez, si bien en Argentina muchos estudios están enfocados en la variedad Malbec, ninguno aborda la zonificación vitivinícola de dicha variedad desde la perspectiva del modelado climático. Finalmente, lo anteriormente expuesto motivó el uso de las simulaciones CORDEX-CORE, los MCRs con la mayor resolución espacial disponible en la región, para realizar estudios de zonificación vitivinícola que permitan evaluar el impacto del cambio climático en las zonas de producción de uva Malbec (MGP, por su sigla en inglés) en Argentina. Los resultados aquí presentados forman parte de una investigación que consta de tres etapas. Primero se identificó la actual distribución geográfica observada de las zonas de MGP en Argentina definiendo un índice de zonificación vitivinícola regional, denominado Índice Único Combinado (UCI, por su sigla en inglés), que proporciona información sobre si las condiciones climáticas de una región son aptas o no para la producción de uva Malbec y en el caso de serlo indica dónde ésta es mayor o menor (Solman *et al.*, 2018). Esto permitió identificar la actual zonificación de MGP observada en Argentina, localizada en una franja con orientación noroeste-sudeste comprendida desde La Rioja hasta Río Negro-Chubut. Segundo, se evaluó la capacidad de las simulaciones CORDEX-CORE en representar dicha zonificación (Cabré *et al.*, 2025). Tercero, se evalúa la representación de la futura zonificación de MGP en Argentina obtenida con las simulaciones CORDEX-CORE. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es utilizar las simulaciones CORDEX-CORE para representar la futura zonificación de MGP en Argentina, lo que permitirá evaluar los posibles cambios proyectados en la geografía vitivinícola argentina en un contexto de cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zonificación fue evaluada a través del índice UCI, índice formado por cuatro índices bioclimáticos significativamente relacionados con la producción de uva Malbec en Argentina (Solman *et al.*, 2018): tres índices evaluados durante la estación de crecimiento, temperatura media, precipitación acumulada y amplitud térmica, y uno evaluado durante el mes de maduración, temperatura mínima de marzo. Las variables utilizadas para calcular los índices bioclimáticos fueron la temperatura mínima, media y máxima mensual y precipitación mensual de la base de datos CORDEX-CORE (Gutowski *et al.*, 2016) para Sudamérica, periodo 2006-2100, escenario de altas emisiones RCP85, resolución horizontal de 0,22°, cuatro combinaciones MCRs/MCGs evaluadas, formadas por dos MCRs (REMO; RegCM4.7) y dos MCGs (HadGEM2, NorESM1). Los horizontes temporales seleccionados corresponden a los periodos en los cuales se estima sea alcanzado el nivel de calentamiento global (GWL, por su sigla en inglés) de 1,5 °C y 2 °C con respecto a los niveles preindustriales para el escenario Representative Concentration Pathways RCP8.5 (Nikulin *et al.*, 2018).

El índice UCI identifica los índices bioclimáticos clave y sus intervalos óptimos para la producción de uva Malbec en Argentina. Los valores de UCI se encuentran entre 4 y 12. Un valor de UCI = 4 indica que cada componente pertenece a la categoría de aptitud climática limitante; mientras que un valor de UCI = 12 indica que cada componente pertenece a la categoría de aptitud climática óptima. Un valor de $UCI \leq 3$ indica que al menos uno de los componentes de UCI se encuentra en categoría de no aptitud climática. Este índice debe interpretarse en términos de su valor absoluto: cuanto mayor (menor) sea el valor de UCI, mejores (peores) serán las condiciones climáticas para la MGP, lo que se traduce en mayor (menor) aptitud vitícola. Información sobre metodología de determinación de UCI, sus componentes, rangos y ecuaciones se encuentran en Solman *et al.* (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evalúa la representación espacial del valor medio de UCI modelado por las simulaciones CORDEX-CORE (Figura 1). La actual zonificación de MGP modelada en Argentina se localiza en una franja con orientación noroeste-sudeste comprendida desde La Rioja hasta Río Negro-Chubut. En líneas generales, la futura zonificación de MGP es similar a la actual en forma y ubicación. Independientemente del MCR y nivel de calentamiento global evaluado se proyecta un desplazamiento de la actual región de MGP hacia mayores latitudes (en dirección sudoeste y sureste) y hacia mayores altitudes (en dirección oeste, sobre laderas montañosas). Dichos desplazamientos deben interpretarse como aumento y/o disminución en el nivel de aptitud vitivinícola (no se muestra, se describe a continuación). Ambos MCRs proyectan aumento de aptitud vitivinícola en el oeste, centro y sur de Mendoza, Neuquén, centro-este de Río Negro y este de Chubut en su margen atlántico (superando los 44° S) y en el centro-oeste de las provincias de La Rioja y Catamarca. Por otra parte, ambos MCRs proyectan disminución de aptitud vitivinícola en el centro de Argentina, este de Mendoza y en el este de las provincias de San Juan, La Rioja, este de Catamarca. Respecto de los niveles de aptitud vitivinícola puede mencionarse que ambos MCRs proyectan (a) disminución/aumento de las áreas afectadas por aptitud vitivinícola alta (AVA) en Mendoza y San Juan/Río Negro y sur de Buenos Aires, siendo los cambios proyectados mayores para GWL2.0 que para GWL1.5; (b) aumento de las áreas afectadas por aptitud vitivinícola media (AVM) en el sureste de Mendoza en su límite con La Pampa y en la provincia de Chubut, siendo los cambios proyectados similares para ambos escenarios tanto en ubicación como extensión geográfica; (c) disminución/aumento de las áreas afectadas por aptitud vitivinícola baja (AVB) en su rama norte/sur.

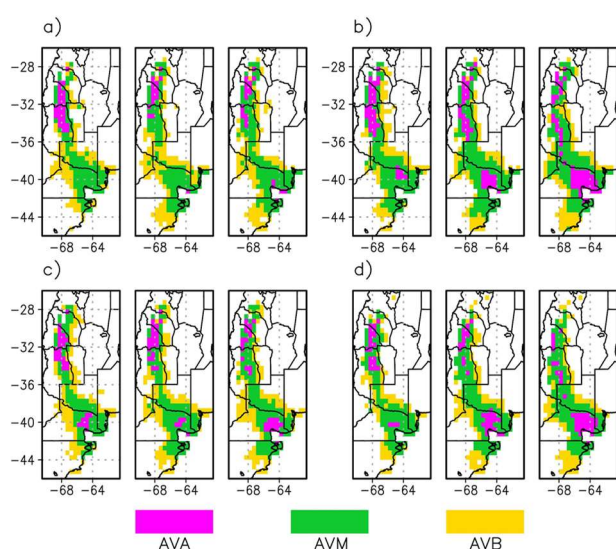


Figura 1. Distribución espacial modelada del valor medio de UCI presente, futuro GWL1.5 y futuro GWL2.0 (primera, segunda y tercera columna) para las combinaciones MCR/MCG de las simulaciones CORDEX-CORE: **a.** REMO/HadGEM2, **b.** REMO/NorESM1, **c.** RegCM4.7/HadGEM2, **d.** RegCM4.7/NorESM1. De acuerdo con Solman *et al.* (2018) los colores sombreados representan diferentes niveles de aptitud vitivinícola: alta ($9 < \text{UCI} \leq 12$; AVA; fucsia); media ($6 < \text{UCI} \leq 9$; AVM; verde); baja ($3 < \text{UCI} \leq 6$; AVB; amarillo); nula ($\text{UCI} \leq 3$; blanca). Unidades: UCI [Adimensional]

CONCLUSIONES

Los resultados permiten concluir que, independientemente del MCR y nivel de calentamiento global evaluado, se proyecta un significativo desplazamiento de las actuales regiones de producción vitivinícola hacia mayores latitudes (en dirección sudoeste y sureste) y hacia mayores altitudes (en dirección oeste, sobre laderas montañosas). Estos desplazamientos geográficos estarían asociados a aumento y/o disminución de aptitud climática de las actuales regiones de producción de uva Malbec y a aumento de aptitud climática en regiones que actualmente no tienen potencial vitivinícola. Lo que pone de manifiesto desafíos y oportunidades que dependen de la región, escenario y nivel de calentamiento global evaluado. Información que podría ser de utilidad en estudios de impacto y adaptación al cambio climático para el sector vitícola.

REFERENCIAS

- Cabré M.F.; Solman S.A.; Nuñez M. 2025. Malbec viticultural zoning studies in Argentina based on the UCI bioclimatic index and bias-corrected CORDEX-CORE simulations. *Agrociencia* 29(NE2): e1487.
- Gutowski, W.J.; Giorgi F.; Timbal B.; Frigon A.; Jacob D.; Kang H.-S.; Krishnan R.; Lee B.; Lennard C.; Nikulin G.; O'Rourke E., Rixen M.; Solman S.; Stephenson T.; Tangang, F. 2016. WCRP Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX): A Diagnostic MIP for CMIP6. *Geoscientific Model Development* 9(11): 4087–4095.
- Nikulin, G.; Lennard, C.; Dosio, A.; Kjellström, E.; Chen, Y.; Hänsler, A.; Kupiainen, M.; Laprise, R.; Mariotti, L.; Maule, E.; Meijgaard, E.; Panitz, H.; Scinocca J.; Somot S. 2018. The effects of 1.5 and 2.0 degrees of global warming on Africa in the CORDEX ensemble. *Environmental Research Letters* 13(6): 065003, JRC110664.
- Solman S.; Cabré M.F.; González M.H.; Núñez M. 2018. Bioclimatic zoning of Argentinean Malbec grape productivity regions by means of a Unique Combined Index. *Climate Research*:185-199.

CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA DOS EXTREMOS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO NA MICRORREGIÃO BRAGANTINA, AMAZÔNIA ORIENTAL

Carvalho*, T.S.¹; Mota, A.O.N.¹; Chagas, I.B.C.¹; Navarro, L.M.²; Fernandes, G.S.T.¹

¹ Universidade Federal Rural Da Amazonia (UFRA), Capanema Pará, Brasil

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de ciência e Tecnologia Sorocaba, São Paulo, Brasil

*Contato: thaisscarvalho5005@gmail.com

INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um fenômeno que pode ocorrer excedendo as proporções de um evento regular causando danos consideráveis a sociedade e ao meio ambiente, nessa condição é considerada um evento extremo (Zanetti, 2024). Na agricultura essa desregulação está associada alteração do ciclo fenológico das plantas, distribuição e incidência de pragas e doenças e alteração na necessidade hídrica das culturas, causando perdas de áreas cultiváveis e redução da produtividade em áreas já cultivadas (Barba, 2025).

As variações climáticas locais na Amazônia podem ocorrer em detrimento de fenômenos naturais como já é muito bem documentado a influência do El Niño e La Niña sob eventos de cheias e secas na região (Nobre *et al.*, 2007). O El Niño está relacionado ao aumento da temperatura anormal nas águas do pacífico o que pode acarretar a região amazônica incidências de secas, já o La Niña provoca o resfriamento dessas águas trazendo o efeito oposto ocasionando grandes excedentes de chuvas (Barba, 2025).

Tendo isso em vista, o seguinte trabalho tem por objetivo analisar dados pontuais de precipitação que apontam a ocorrência de eventos extremos no município de Tracuateua, Pará, localizado da região da Amazônia Oriental.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Tracuateua (1,06° S; 46,86° O; 24,68 m s.n.m) no estado do Pará, região Bragantina, pertencente a Amazônia Oriental. Os dados foram obtidos através de uma estação meteorológica convencional pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, <https://portal.inmet.gov.br/>). Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica diários coletados em um período de 52 anos entre os anos de 1973 e 2025.

Os dados foram organizados em uma planilha eletrônica, onde obteve-se uma média climatológica mensal considerando os 52 anos. A média foi calculada agrupando os dados diários mensalmente, o que permitiu cálculos de desvio mensal em torno da média, durante todo o período analisado. Com os desvios mensais, elaborou-se gráficos utilizando o software R 4.5.1.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise da precipitação compreendidos entre janeiro de 1973 a dezembro de 2025 evidenciou que a ocorrência de eventos extremos de chuva não foi incomum na região. A Figura 1 se trata de um histograma construindo usando um esquema de cores, onde valores acima da média apresentam coloração mais intensa em azul e se comportam em curva crescente, enquanto a coloração mais esverdeada em curva decrescente indica precipitação abaixo da média.

É possível observar que o comportamento anômalo das chuvas que superaram a média tem apresentado menor força na última década (Figura 1), onde o excedente de chuva se aproxima de 400 mm mês⁻¹, enquanto entre os anos de 1973 e 1990, houve períodos atípicos registrando anomalias próximas a + 550 mm mês⁻¹. Entretanto, os extremos relacionados a escassez têm apresentado certa estabilidade chegando próximo a -350 mm mês⁻¹ na maioria dos meses em que esse déficit é apontado.

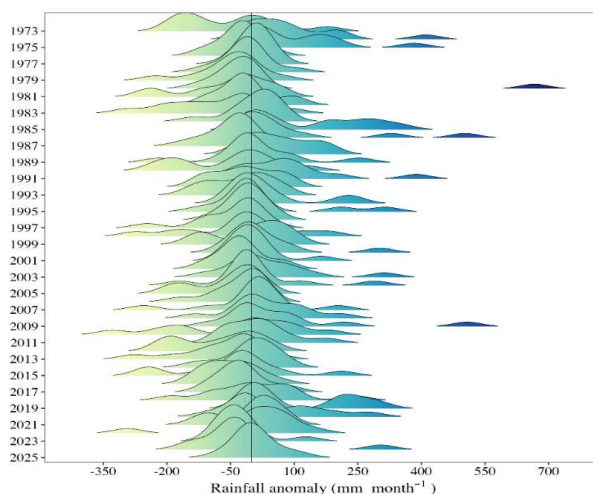


Figura 1. Comportamento das chuvas em torno da média de precipitação anual de 1973 a 2025.

Como os eventos de anomalia foram mais expressivos, na Tabela 1 pode-se observar as anomalias com maior excedente pluviométrico observadas no período estudado, com destaques para março de 1980 que registrou 1051,5 mm de chuva, quase três vezes o valor esperado e maio de 2009 com desvio de 507,5 mm acima da média.

Tabela 1. Anomalias positivas de chuva mensal registrados pela estação meteorológica de Tracuetea - PA entre 1973 e 2025.

Ano	Mês	Chuva mensal, mm	Média climatológica, mm	Desvio, mm
1974	Março	871,2	460,4	410,8
1980	Fevereiro	1051,5	385,3	666,2
1985	Janeiro	624	271,8	352,2
1986	Março	789,3	328,8	328,9
1991	Janeiro	660,2	388,4	388,4
2009	Maio	849,7	341,8	507,9

É possível notar através desses dados que boa parte destes fenômenos anômalos ocorreram dentro do primeiro trimestre do ano, início da safra de diversas culturas, período caracterizado por grande incidência de radiação solar, especialmente no mês de janeiro. Fenômenos meteorológicos como a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e episódios de La Niña do El Niño Oscilação Sul (ENOS) podem ter favorecido a ocorrência desses extremos (Loureiro *et al.*, 2014).

CONCLUSÃO

O mapeamento de eventos extremos na microrregião Bragantina permitiu identificar tendências de períodos anômalos, promovendo assim a visualização de riscos no comportamento hidrológico na região, favorecendo o planejamento sobre o uso dos recursos climáticos e produção agrícola. Trabalhos futuros são necessários para fortalecimento e compressão de estudos desta natureza na Amazônia.

REFERÊNCIAS

- Barba, F.N. 2025. Influência do El Niño e La Niña na cobertura vegetal do sul do Amazonas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Brasil.
- Loureiro, R.S.; Saraiva, J.M.; Saraiva, I.; Senna, R.C.; Fredó, A.S. 2014. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29:83–94.
- Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Salazar, L. 2007. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura* 59:37–41.
- Zanetti, B. 2024. Eventos meteorológicos extremos e desastres naturais decorrentes de tempestades severas na Região Geográfica Imediata de Chapecó/SC.

VARIABILIDADE E EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM PERCENTIS

Chagas*, C.I.B.¹; Borges, A.B.C.¹; Souza, E.V.¹; Almeida, I.R.¹; Fernandes, G.S.T.¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capanema-PA, Brasil

*Contato: claraingridy48@gmail.com

Palavras-chave: climatologia; sazonalidade; dinâmica atmosférica

INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos principais controladores da dinâmica ambiental na Amazônia, influenciando o ciclo hidrológico, a agricultura e a ocorrência de eventos extremos. Estudos recentes evidenciam a importância da análise desses eventos devido aos seus impactos ambientais e agrícolas na Amazônia Oriental (Nery *et al.*, 2025). Na região amazônica, esses padrões estão relacionados à atuação do fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS) (Fisch *et al.*, 1998), além do Dipolo do Atlântico e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que influenciam diretamente a distribuição das precipitações na Amazônia.

A identificação de extremos por meio de índices baseados em percentis é amplamente utilizada na climatologia, permitindo a padronização da análise e a comparação entre diferentes regiões (Zhang *et al.*, 2011; Nery *et al.*, 2025).

Diante disso, este estudo analisa a ocorrência e a distribuição de extremos pluviométricos em Capanema-PA, com base em dados observados entre junho de 2024 e dezembro de 2025, buscando caracterizar os padrões temporais de ocorrência dos eventos extremos de precipitação durante o período de monitoramento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Capanema, Pará. Os dados meteorológicos foram obtidos por meio de uma estação meteorológica automática Davis Vantage Pro2, pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), *campus* Capanema, localizada nas coordenadas 1,19° S e 47,16° O, com altitude aproximada de 24 m.

Foram utilizados dados de precipitação entre junho de 2024 e dezembro de 2025, em resolução diária e horária. Os dados passaram por verificação de consistência e foram convertidos de resolução horária para totais diários. Os eventos extremos foram classificados por meio dos percentis 10 (P10) e 90 (P90), considerando eventos de baixa precipitação aqueles inferiores ao P10 e eventos intensos aqueles superiores ao P90. Os percentis foram calculados exclusivamente com base na série observacional analisada.

A análise envolveu a quantificação da frequência dos eventos extremos e sua distribuição mensal e sazonal, adotando-se o período chuvoso (janeiro a junho) e o período seco (julho a dezembro), conforme Moraes *et al.* (2005). Os gráficos foram elaborados no software SigmaPlot version 11.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados pluviométricos referentes ao período de junho de 2024 a dezembro de 2025 evidenciou padrões consistentes na ocorrência de eventos extremos de precipitação no município de Capanema-PA. A Figura 1 apresenta a distribuição mensal dos eventos pluviométricos classificados com base nos percentis P10 e P90, evidenciando maior frequência de eventos de precipitação intensa ao longo do período analisado.

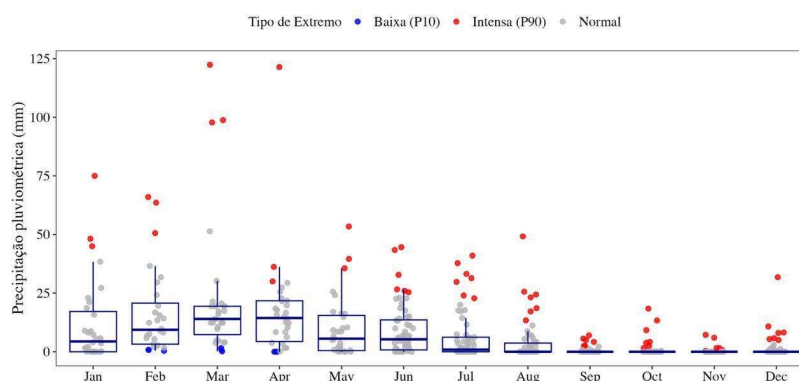


Figura 1. Distribuição mensal dos eventos pluviométricos com base nos percentis em Capanema-Pa.

Foram identificados 53 eventos acima do percentil 90 (P90) e 9 eventos abaixo do percentil 10 (P10). Ressalta-se que esses percentis foram calculados exclusivamente com base na série observacional compreendida entre junho de 2024 e dezembro de 2025, representando apenas o comportamento da precipitação durante o período analisado.

Observou-se maior ocorrência de eventos intensos durante o período chuvoso, com registros também em meses de transição entre as estações, indicando que episódios de precipitação elevada podem ocorrer fora do intervalo de maior pluviosidade climatológica. Em contrapartida, os eventos de baixa precipitação ocorreram com menor frequência e concentraram-se em períodos específicos da série observacional.

Os resultados indicam que os eventos extremos observados foram predominantemente compostos por precipitações intensas, refletindo o regime pluviométrico característico da região amazônica. Em relação à distribuição horária da precipitação, verificou-se maior concentração das chuvas entre 14 h e 18 h. Além disso, os maiores acumulados pluviométricos concentraram-se durante o período chuvoso, evidenciando a sazonalidade da precipitação na região (Figura 2).

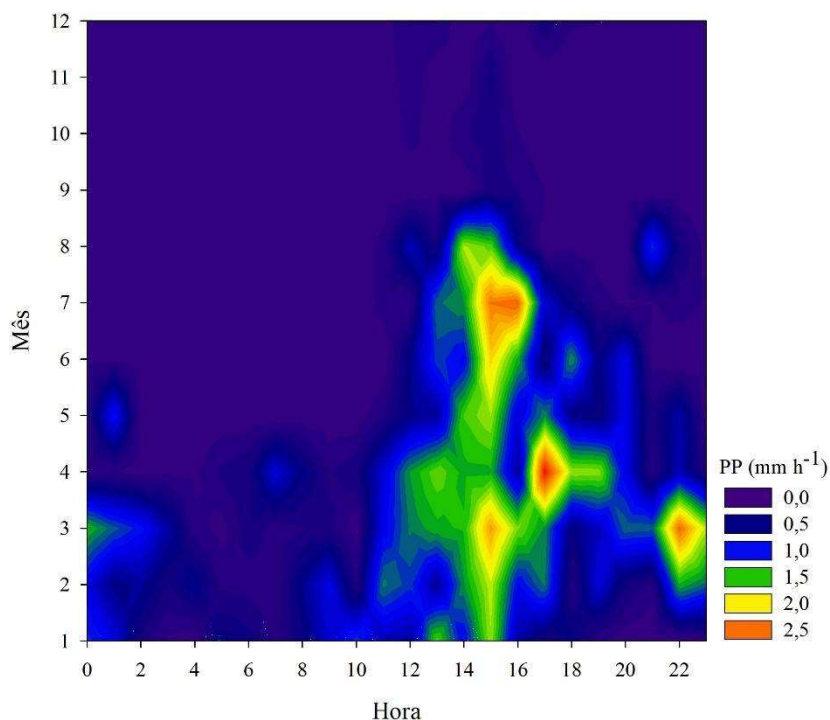


Figura 2. Distribuição temporal da intensidade da precipitação (mm h^{-1}) em função da hora do dia e dos meses do ano.

CONCLUSÕES

A análise dos extremos pluviométricos em Capanema-PA evidenciou a predominância de eventos intensos associados ao regime climático amazônico e forte variabilidade temporal. A utilização de percentis mostrou-se eficiente para identificar e caracterizar a distribuição temporal dos eventos extremos observados. Os resultados fornecem informações relevantes para estudos hidrometeorológicos locais e podem subsidiar futuras investigações baseadas em séries históricas mais extensas.

REFERÊNCIAS

- Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, 28(2):101–126.
- Moraes, B.C.; Costa, J.M.N.; Costa, A.C.L.; COSTA, M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, Manaus 35(2):199–210.
- Nery, M.K.M.; Fernandes, G.S.T.; Pinto, J.V.D.N.; Rua, M.L.; Santos, M.G.M.; Ribeiro, L.R.T.; Navarro, L.M.; Souza, P.J.O.P.; Rolim, G.S. 2025. The application of machine learning to model the impacts of extreme climatic events on the productivity of dwarf green coconut trees in the eastern Amazon. *AgriEngineering* 7(2):33.
- Zhang, X.; Alexander, L.; Hegerl, G.C.; Jones, P.; Klein Tank, A.M.G.; Peterson, T.C.; Trewin, B.; Zwiers, F.W. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change* 2 (6):851–87.

TENDENCIA DE CALOR EXTREMO Y OLAS DE CALOR ENTRE 1970 Y 2024 EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA, ARGENTINA

de la Casa*, A.¹; Ovando, G.¹; Díaz, G.¹; Clemente, J.¹; Díaz, P.¹; Soler, F.¹; Torterolo, K.¹; Bustos Revol, S.¹; Caramello, N.¹

¹ Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA-UNC). Córdoba (CP 5000), Argentina

*Contacto: delacasa@agro.unc.edu.ar

Palabras clave: amenaza; temperatura máxima; Mann-Kendall; Pilar Observatorio

INTRODUCCIÓN

El calor en exceso constituye una contingencia meteorológica que se puede presentar tanto a través de pulsos muy intensos, conocidos por golpes de calor (GC), como por su manifestación prolongada en las denominadas olas de calor (OC), cuando el periodo con temperaturas elevadas tiene persistencia. Entre las repercusiones negativas del calor extremo sobre la sociedad y los ecosistemas, el nexo entre las olas de calor, la salud y la seguridad alimentaria merece atención especial (Rahman *et al.*, 2024). Si bien no existe un consenso general en su definición, ola de calor se considera en esencia a un período de calor extremo que se prolonga en el tiempo (Bunting *et al.*, 2024). Los riesgos de estos eventos no han sido valorados exhaustivamente en la producción agrícola de Córdoba, Argentina. Supeditado al calentamiento global, se especula que el riesgo de estrés por calor tendrá en el futuro mayor incidencia en la producción agrícola, no solo por el incremento de la frecuencia de eventos, sino también por la manifestación de registros que superen en mayor medida los límites de tolerancia de los cultivos (Deihimfard *et al.*, 2022).

Este trabajo tuvo como objetivo cuantificar la ocurrencia de calor extremo a partir de distintos niveles de Temperatura máxima diaria (Tx) y de su continuidad temporal para representar los eventos de OC y evaluar la variación temporal que experimentaron tanto GC como OC en la región central de la provincia de Córdoba, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los valores extremos de temperatura del centro de la provincia de Córdoba se representaron a partir de los registros de temperatura máxima diaria de la estación Pilar Observatorio (PO) (31° 40' S; 63° 53' O; 338 m s.n.m.), perteneciente a la red oficial de superficie del SMN. La evaluación del calor extremo (GC) se efectuó entre 1970 y 2024 mediante el cálculo de la frecuencia de días al año (ordenado de manera hidrológica) con $T_x \geq$ a 32 °C, 33 °C, 34 °C, 35 °C, 36 °C, 37 °C, 38 °C, 39 °C y 40 °C. Por su parte, las OC se computaron contabilizando cada año los eventos que corresponden a tres días consecutivos o más con $T_x \geq$ a las mismas temperaturas indicadas anteriormente.

No existe un criterio único en la bibliografía para establecer OC (Bunting *et al.*, 2024), si bien en la definición es usual emplear no sólo Tx sino también los valores de temperatura mínima (Tn). Particularmente enfocado en la producción agrícola y para poner de relieve condiciones térmicas que pueden ser potencialmente perjudiciales vinculadas con la temperatura vital máxima de crecimiento, el cómputo de OC en este trabajo hizo hincapié en la utilización sólo de valores de Tx. Además, mientras valores de Tx de 32 °C y 33 °C son relativamente frecuentes en PO durante el verano, temperaturas diarias extremas de 40 °C resultan en cambio eventos muy atípicos, y menos aún que ocurran de una manera persistente. De esta forma, a fin de analizar la disminución que experimentan GC y OC a medida que se incrementa el valor de Tx se utilizó el rango térmico entre 32 °C y 40 °C.

Por su parte, la existencia de tendencia en las series de tiempo de GC y OC se evaluó utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (MK). Un valor positivo de Z_{MK} indica una tendencia creciente, mientras que uno negativo indica una tendencia decreciente. Para comprobar si existen tendencias monótonas crecientes o decrecientes con un nivel de significancia p, se rechaza la hipótesis nula si el valor absoluto de Z es mayor que $Z_{1-p/2}$, donde $Z_{1-p/2}$ corresponde a la distribución normal estándar. En este trabajo se empleó un nivel de significancia de $p < 0,05$. El valor de la pendiente, Q, se calculó a partir de todas las pendientes considerando un par de datos, según la siguiente ecuación, donde x_i y x_k son los datos correspondientes a los tiempos i y k ($i > k$), respectivamente.

$$Q_i = \frac{x_i - x_k}{j - k}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Si la serie temporal tiene n valores, la cantidad de pendientes a estimar $n(n-1)/2$, y la mediana de los valores de Q_i constituye el estimador de Sen. Mayores detalles sobre el particular consultar en de la Casa *et al.* (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 presenta para cada año entre 1970 y 2024, por un lado, la frecuencia de días con $T_x \geq$ a valores entre 32 y 40 °C y, por el otro, las OC que se registraron en PO. De esto se desprende la marcada variabilidad interanual que presentan los eventos de calor extremo en la región. Mientras que los días con Tx elevadas fueron muy escasos y no se registró ninguna OC en 1980-1981 y 1981-1982, en 2022-2023 se contabilizó un máximo absoluto de 83 días con $T_x \geq 32$ °C, en tanto se presentaron 13 OC de distinta intensidad y duración en 1971-1972 y 1988-1989 para el mismo umbral de 32 °C. El análisis de correlación entre GC y OC para igual valor de Tx produce coeficientes elevados (entre 0,73 y 0,92), que ponen de manifiesto la ocurrencia agrupada del calor extremo en la región. La frecuencia de casos de calor extremo (eventos tanto

aislados como agrupados) ordenadas de menor (32 °C) a mayor (40 °C) presenta una reducción aproximadamente exponencial. De esta forma, el número de OC por año tiende a ser menor a medida que T_x aumenta, incrementando notablemente la ausencia de eventos cuando se consideran tres días consecutivos o más por encima de 35 o 36 °C. Si bien se presenta como un caso aislado, es digno de destacar que en 2021-2022 ocurrió una OC de 5 días sucesivos con $T_x \geq 40$ °C, el caso de mayor intensidad más extenso en toda la serie.

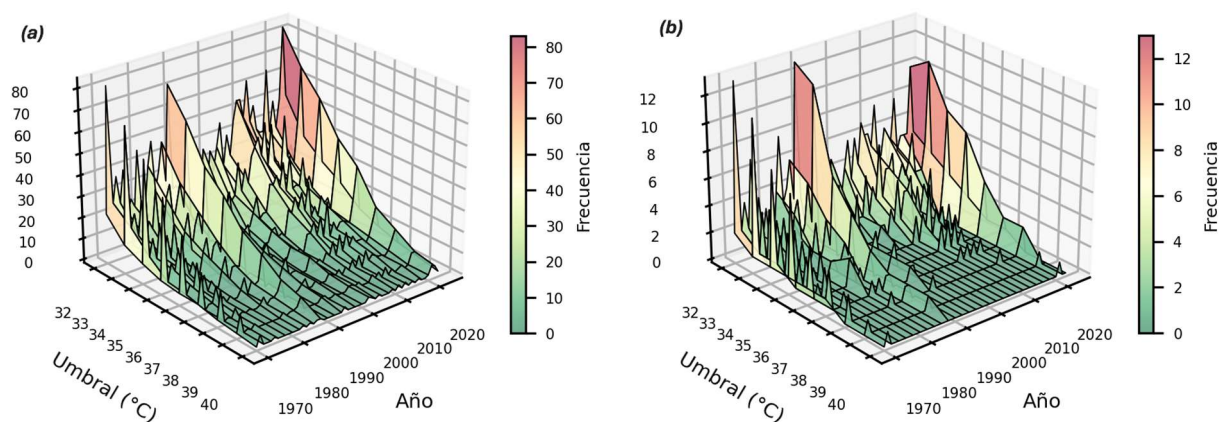


Figura 1. (a) Frecuencia anual de días con $T_x \geq$ a los niveles térmicos señalados y (b) Olas de calor para 3 días sucesivos o más con $T_x \geq$ a los niveles térmicos indicados anteriormente entre 1970 y 2024 en Pilar, Córdoba.

La prueba de MK en la Tabla 1 sostiene la existencia de una tendencia creciente en la cantidad de días al año con $T_x \geq$ para todos los niveles térmicos considerados, si bien el valor de la pendiente (Q) disminuye notablemente a medida que T_x aumenta de 32 °C a 40 °C. Para los casos agrupados el incremento sólo resulta significativo cuando las OC consideran tres días consecutivos o más para $T_x \geq 32$ °C y 33 °C. Las OC más intensas ($T_x \geq 35$ °C) constituyen eventos atípicos que invalidan el análisis de tendencia.

Tabla 1. Estadísticos de Mann-Kendall para evaluar la tendencia de los Días al año con $T_x \geq$ a los niveles térmicos indicados y de las Olas de calor anuales con tres días sucesivos o más de $T_x \geq$ al nivel térmico indicado en Pilar, Córdoba. S es el estadístico de MK, Z su valor estandarizado, p la probabilidad y Q la pendiente de Sen. En rojo los casos significativos ($p < 0,05$).

	Días al año con $T_x \geq$, °C									Olas de calor al año (3 días o más con $T_x \geq$, °C)								
	32	33	34	35	36	37	38	39	40	32	33	34	35	36	37	38	39	40
S	434	434	370	378	332	361	339	249	237	398	357	164	81	-31	35	20	-19	-2
z	3,23	3,23	2,76	2,82	2,48	2,71	2,59	2,00	2,09	2,99	2,70	1,27	0,65	-0,27	0,32	0,23	-0,34	-0,02
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,10	0,26	0,39	0,37	0,41	0,37	0,49
Q	0,42	0,33	0,24	0,18	0,11	0,08	0,04	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Si bien el periodo completo presenta tendencias crecientes de la frecuencia anual de días para todos los umbrales de T_x , acompañando la manifestación del calentamiento global en el territorio central de Córdoba, una observación con más detalle de la información que presenta la Figura 1 parece indicar la merma acentuada del calor extremo hacia finales del siglo pasado y su fuerte incremento posterior. Esta hipótesis se debería explorar por medio de procedimientos que determinen la existencia de puntos de quiebre en las series de tiempo y los expliquen a partir de información complementaria, tanto de estaciones vecinas como de otras variables meteorológicas relacionadas físicamente.

CONCLUSIONES

El centro de la provincia de Córdoba presenta una tendencia creciente en la manifestación de temperaturas extremas entre 1970 y 2024, tanto en forma aislada (GC) como agrupada (OC). Resta por analizar si el comportamiento de la tendencia es monótonico o, por el contrario, si en las series de temperaturas extremas existe algún punto de quiebre.

REFERENCIAS

- Bunting, E.L.; Tolmanov, V.; Keellings, D. 2024. What is a heat wave: A survey and literature synthesis of heat wave definitions across the United States. *PLOS Clim* 3(9):e0000468.
- Deihimfard, R.; Rahimi-Moghaddam, S.; Azizi, K.; Haghighat, M. 2022. Increased heat stress risk for maize in arid-based climates as affected by climate change: threats and solutions. *International Journal of Biometeorology* 66:1365–1378.
- de la Casa, A.; Ovando, G.; Díaz, G. 2018. Secular variation of rainfall regime in the central region of Argentina. *Atmospheric Research* 213:196–210.
- Rahman, M.A.; Afridi, S.; Hossain, M.B.; Rana, M.; Al Masum, A.; Rahman, M.M.; Al-Maruf, A. 2024. Nexus between heat wave, food security and human health (HFH): Developing a framework for livelihood resilience in Bangladesh. *Environmental Challenges* 14:100802.

ÁREAS HOMOGÉNEAS DE RENDIMIENTO DE MAÍZ Y SU ASOCIACIÓN CON LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL SUR DE SANTA FE

Dickie*, M.J.^{1,2}; Martín, B.³; Coronel, A.⁴

¹ Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Cs Agrarias. Universidad Nacional de Rosario (UNR) Zavalla 2125, Argentina

² Agencia de Extensión, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Cañada de Gómez, Santa Fe

³ Cátedra de Forrajes FCA-UNR

⁴ Asesora privada

*Contacto: mdickie@unr.edu.ar

Palabras clave: producción; eventos extremos; regionalización

INTRODUCCIÓN

Las condiciones de temperatura y disponibilidad hídrica constituyen factores determinantes de la producción de maíz (*Zea mays* L.). En la región central de Argentina se han observado cambios en los patrones climáticos, caracterizados por un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos de temperatura y precipitación (Müller *et al.*, 2021). Debido a que el sur de Santa Fe concentra una importante superficie destinada a la producción de maíz bajo condiciones de secano, resulta relevante identificar patrones espaciales de rendimiento y su relación con la variabilidad climática. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue identificar regiones homogéneas de rendimiento de maíz en el sur de Santa Fe y evaluar su asociación con la variabilidad climática interanual mediante el análisis de series observadas y ajustadas por tendencia tecnológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La región en estudio comprende los departamentos (D) San Martín, San Jerónimo, Belgrano, Iriondo, Caseros, San Lorenzo, Rosario, Constitución y General López, ubicados en el sur de Santa Fe, Argentina.

Los datos de rendimientos (R) observados de maíz corresponden a la Secretaría de Estimaciones Agrícolas de la SAGyP, para las campañas agrícolas comprendidas entre 1969/1970 y 2023/2024. Se calcularon los valores promedios R para cada D y los coeficientes de correlación de Pearson entre ellos.

Con el fin de aislar la variabilidad atribuible al clima, en cada serie departamental de R se filtró el efecto de los factores de manejo del cultivo (mejoras genéticas, fertilización, prácticas de labranza) mediante el ajuste de una tendencia lineal por mínimos cuadrados. La diferencia entre el R observado y la tendencia estimada (Dickie y Coronel, 2018) definió la serie de R ajustados, asociados a la variabilidad climática interanual.

Para la delimitación de las zonas homogéneas en cuanto a R y a la respuesta de los R a la variabilidad climática, se realizó el análisis multivariado de conglomerados método de Ward o de mínima varianza (Ward, 1963), donde se define a la distancia entre dos grupos como la suma de las sumas de cuadrados del ANAVA entre los dos grupos considerando todas las variables (Di Renzo, 2009). Este procedimiento permitió obtener grupos con mínima variabilidad interna, caracterizados por una mayor homogeneidad y compacidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El R promedio regional fue de 5.870 kg ha⁻¹, registrándose los valores más altos en General López (6.664 kg ha⁻¹) y los más bajos en San Jerónimo (5.359 kg ha⁻¹).

La Figura 1 muestra la evolución temporal de los R de maíz (kg ha⁻¹) en los nueve D analizados durante el período 1969-2024. Todos los D presentaron una tendencia lineal positiva del R, con un incremento promedio de 119,5 kg ha⁻¹ año⁻¹. El D General López registró la mayor tasa de incremento, alcanzando 145 kg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que San Jerónimo presentó el menor aumento, con 108 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Las correlaciones interdepartamentales de los R fueron elevadas y significativas, con coeficientes de Pearson (r) que oscilaron entre 0,90 y 0,99 (p < 0,05). Los valores más altos se registraron entre San Lorenzo y Rosario (r = 0,99), mientras que General López mantuvo asociaciones superiores a 0,90 incluso con los D San Martín y San Jerónimo. Esta marcada sincronía espacial demuestra que las fluctuaciones interanuales del R ocurren simultáneamente en toda el área, respondiendo a factores climáticos de escala regional.

Con el fin de cuantificar las fluctuaciones del R, se realizó un análisis de conglomerados mediante el método de Ward, el cual permitió identificar tres áreas homogéneas. Una integrada por el D General López; otra conformada por San Jerónimo y San Martín; y un tercer grupo compuesto por el resto de los D (Figura 2).

Estos resultados reflejan el efecto conjunto de la variabilidad climática y de las prácticas de manejo sobre la dinámica del R. Por ello, para analizar la variabilidad climática interanual, se obtuvieron los R ajustados, se realizaron análisis de correlación, resultando todos significativos al 5 %, y se aplicó nuevamente el análisis de conglomerados, método de Ward (Figura 2). En este caso, se identificaron dos regiones homogéneas: una integrada por los D del norte (San Martín, San Jerónimo, Iriondo y Belgrano) y otra conformada por los cinco D restantes.

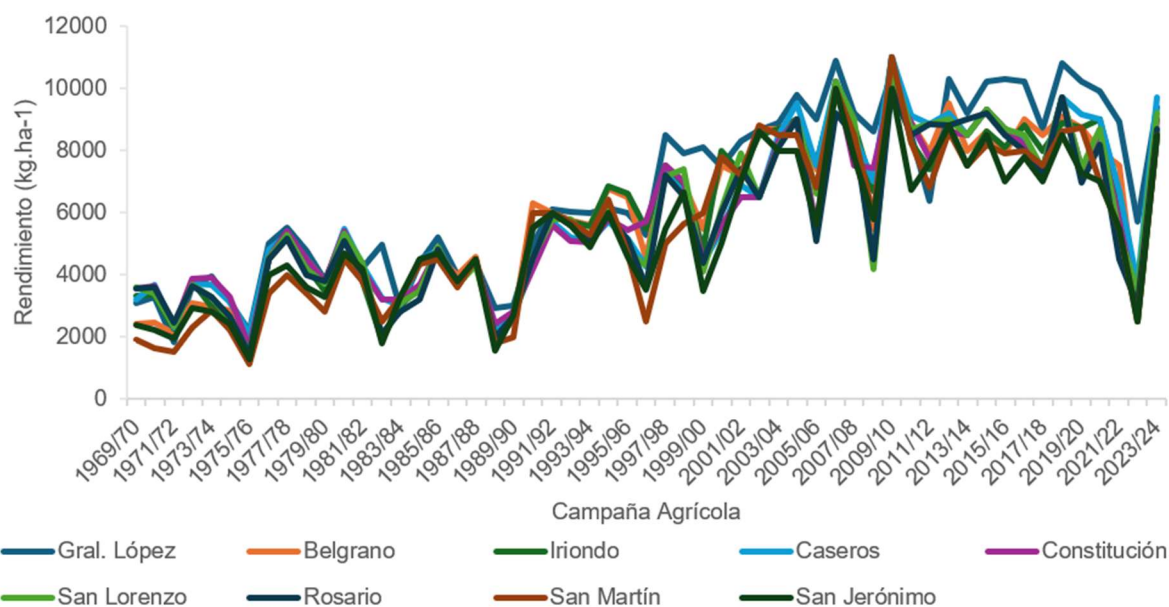


Figura 1. Evolución temporal de los rendimientos de maíz (kg ha^{-1}) en nueve departamentos del sur de Santa Fe durante el período 1969-2024.

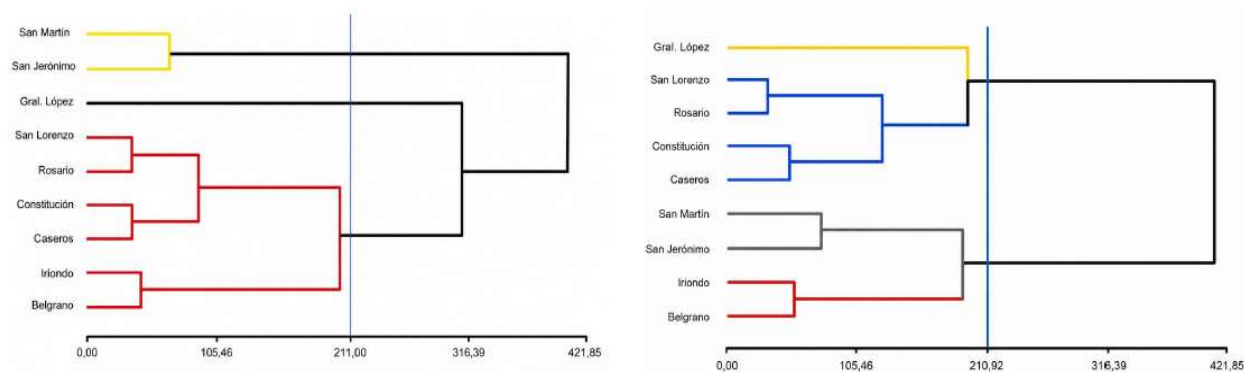


Figura 2. Análisis multivariado de Conglomerados Ward de rendimientos observados (izquierda) y rendimientos ajustados de maíz (derecha).

CONCLUSIONES

Los resultados evidenciaron una marcada uniformidad espacial de las fluctuaciones interanuales del rendimiento de maíz en el sur de Santa Fe, reflejada en los elevados coeficientes de correlación observados entre departamentos. Sin embargo, al reducir el efecto de los cambios tecnológicos y de manejo mediante el ajuste lineal de las series de rendimiento, se identificaron patrones regionales diferenciados, definiéndose dos áreas homogéneas asociadas a la variabilidad climática interanual. Estos resultados sugieren que la respuesta productiva del cultivo frente a las fluctuaciones climáticas no es uniforme en toda la región de estudio y resaltan la importancia de diferenciar los efectos derivados del manejo y del progreso tecnológico de aquellos atribuibles a factores ambientales en los análisis regionales de productividad agrícola.

REFERENCIAS

- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. W. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> (versión libre).
- Dickie, M., Coronel, A. 2018. Relación estadística entre los rendimientos de maíz y la ocurrencia de deficiencias hídricas en el Depto. Rosario. Ciencias Agronómicas 31:017–024.
- Müller, G.V., Lovino, A.M., Sgroi, L.C. 2021. Observed and projected changes in temperature and precipitation in the core crop region of the humid pampa, Argentina. Climate 9:1–24.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). Estimaciones agrícolas. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones>, Consultada 01/03/2023
- Ward, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58(301):236–244.

RIESGO DE EXPOSICIÓN A ALTAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DE PAPA EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS PASADOS Y RECIENTES

Erbetta*, E.¹; Pintos, D.O.²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, RN 226 km 60,5; Balcarce, CP 7620, Argentina

² Responsable División Agro, Cinco Hispanos, Triunvirato 1250; Ramos Mejía (B1704IGB), Argentina

*Contacto: elisaerbeta@mdp.edu.ar

Palabras clave: adaptación al cambio climático; fecha de plantación; estrés térmico

INTRODUCCIÓN

La exposición a altas temperaturas constituye uno de los principales factores limitantes para la productividad y calidad del cultivo de papa. Temperaturas mayores a 25 °C pueden reducir la eficiencia fotosintética y acelerar el desarrollo fenológico, mientras que temperaturas mayores a 30 °C (día)/20 °C (noche) puede afectar procesos como la iniciación y crecimiento de tubérculos, y por ende reducir el rendimiento (Levy y Veilleux, 2007; Struik, 2007; Momčilović, 2019). El cambio climático ha modificado los patrones de temperatura en numerosas regiones agrícolas (IPCC, 2021) alterando la exposición del cultivo a eventos de altas temperaturas. En este contexto, la fecha de plantación tradicionalmente considerada como óptima (15-oct en Balcarce) podría no ser la más adecuada para minimizar este riesgo. El objetivo de este trabajo es comparar la exposición del cultivo a altas temperaturas en escenarios climáticos pasados y recientes con el fin de generar información que contribuya a la definición de estrategias de adaptación, como el ajuste de la fecha de plantación (Singh *et al.*, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se generaron escenarios agrícolas para la localidad de Balcarce (lat -37,75; lon -58,25) combinando ocho fechas de plantación (1-sep; 15-sep; 1-oct; 15-oct; 1-nov; 15-nov; 1-dic; 15-dic) y dos series climáticas (1970-2000 y 2000-2025). Las estaciones de crecimiento (EC: periodo transcurrido entre la plantación y madurez fisiológica) en cada escenario fueron simuladas para el cultivar Atlantic mediante un modelo de desarrollo del cultivo basado en el concepto de tiempo térmico, donde la tasa de desarrollo se estimó mediante una función triangular definida por temperaturas cardinales (Streck *et al.*, 2007). Para cada EC, se determinó el número de días con temperaturas máximas (Tmax): i) >25 °C durante el subperíodo emergencia-madurez fisiológica (E-M); ii) >30 °C durante el subperíodo inicio de tuberización-inicio de senescencia (IT-IS); y iii) >30°C durante el subperíodo inicio de senescencia-madurez (IS-M). Las diferencias en la mediana del número de días con temperaturas supraóptimas entre fechas de plantación y entre series climáticas se evaluaron mediante pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis y Mann-Whitney, respectivamente). Se calculó el porcentaje de cada subperíodo con temperaturas supraóptimas considerando la duración en días de cada subperíodo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La exposición del cultivo a temperaturas supraóptimas varió en función del subperíodo fenológico, la fecha de plantación y la serie climática considerada (Figura 1). Durante el subperíodo E-M (Figura 1a), la mediana del número de días con Tmax >25 °C fue mayor en las fechas de plantación 15-oct, 1-nov y 15-nov, disminuyendo hacia fechas más tempranas y tardías en ambas series climáticas. En todas las fechas de plantación, la mediana del número de días con temperaturas supraóptimas fue significativamente mayor en la serie 2000-2025 respecto de 1970-2000. En consecuencia, también se observó un incremento en la proporción del subperíodo con temperaturas supraóptimas en la serie reciente. Este aumento se explicó tanto por un mayor número de días con estas condiciones como por una reducción en la duración del subperíodo, particularmente en fechas tempranas de plantación. Este resultado sugiere que el calentamiento reciente no sólo incrementa la frecuencia de temperaturas elevadas, sino que también acelera el desarrollo fenológico del cultivo, reduciendo la duración de ciertos subperíodos del ciclo (particularmente los subperíodos plantación-emergencia y emergencia-inicio de tuberización, datos no mostrados).

En el subperíodo IT-IS (Figura 1b), la mediana del número de días con Tmax >30 °C se incrementó en las fechas intermedias de plantación, particularmente en la serie climática más reciente. Asimismo, se registró un aumento en el número de días con temperaturas supraóptimas en la serie 2000-2025, acompañado por una mayor variabilidad interanual en comparación con la serie 1970-2000. El incremento en la proporción del subperíodo IT-IS con Tmax >30 °C observado en la serie climática reciente se debió principalmente al aumento en el número de días con estas condiciones, dado que la duración del subperíodo no presentó cambios significativos entre series climáticas. En contraste, en el subperíodo IS-M la mediana del número de días con Tmax >30 °C disminuyó progresivamente con el retraso de la fecha de plantación en ambas series climáticas. Un incremento en esta variable en la serie climática reciente se observó únicamente en las fechas de plantación comprendidas entre 1-sep y 1-nov. De manera consistente, el aumento en la proporción del subperíodo con temperaturas supraóptimas se registró sólo en las primeras fechas de plantación y estuvo asociado a un mayor número de días con Tmax >30 °C, sin cambios significativos en la duración del subperíodo (Figura 1c).

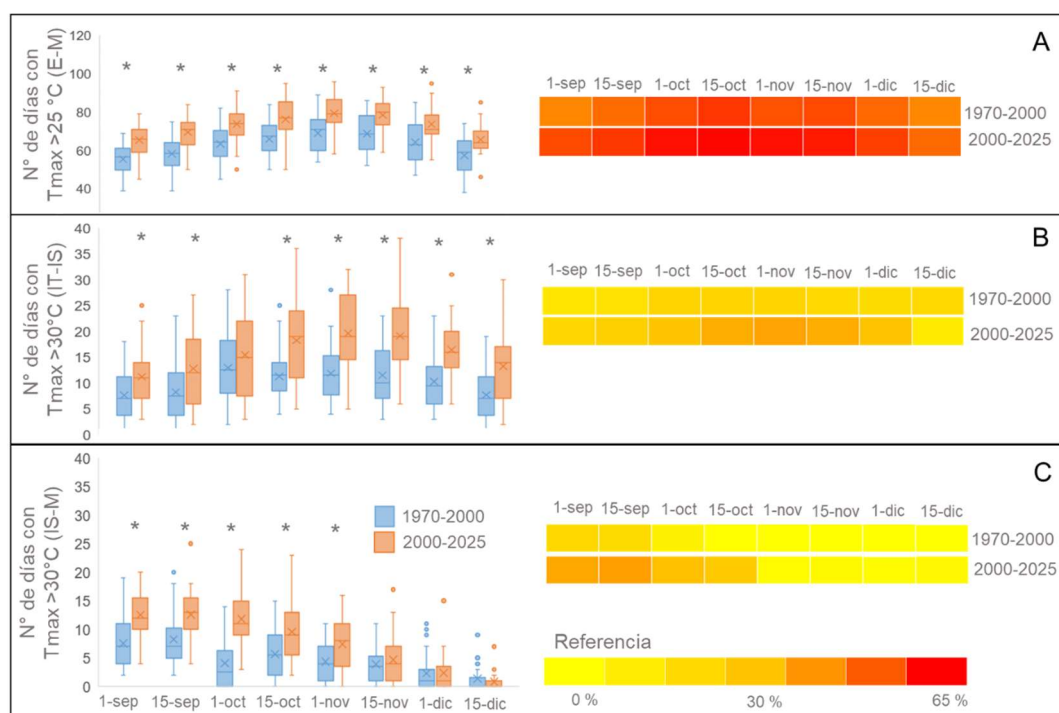


Figura 1. Variabilidad interanual en el número de días con temperaturas supraóptimas (paneles izquierdos) y en el porcentaje del subperíodo con temperaturas supraóptimas (paneles derechos) para distintas fechas de plantación en las series climáticas 1970–2000 y 2000–2025. **A.** $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ durante el subperíodo E-M, **b.** $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ durante el subperíodo IT-IS, **c.** $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ durante el subperíodo IS-M. El asterisco (*) indica diferencias significativas en la mediana del número de días con temperaturas supraóptimas entre series climáticas para cada fecha de plantación (Mann-Whitney; $\alpha = 0,05$).

CONCLUSIONES

La elección de la fecha de plantación puede modificar el nivel de riesgo térmico al que se expone el cultivo durante su desarrollo. Un adelantamiento moderado de la plantación (2–4 semanas) respecto de la referencia tradicional del 15-oct permitiría que el subperíodo IT–IS ocurra bajo condiciones térmicas más favorables, reduciendo la probabilidad de eventos de calor extremo. Asimismo, estudios previos muestran una disminución en la ocurrencia de heladas tempranas en la serie climática reciente en comparación con el período 1970–2000. En conjunto, estos resultados sugieren que la ventana de plantación podría adelantarse, mitigando los efectos del calentamiento sobre la productividad del cultivo sin incrementar significativamente el riesgo de bajas temperaturas. No obstante, este desplazamiento podría aumentar la exposición a altas temperaturas durante el subperíodo IS–M, lo que, si bien tendría menor impacto sobre el número de tubérculos, podría afectar el llenado y comprometer atributos de calidad en cultivos destinados a la producción industrial.

REFERENCIAS

- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 3949 p.
- Momčilović, I. 2019. Effects of heat stress on potato productivity and nutritive quality. *Hrana i ishrana* 60(2):43–48.
- Levy, D.; Veilleux, R.E. 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. *American Journal of Potato Research* 84(6):487–506.
- Streck, N.A.; de Paula, F.L.M.; Bisognin, D.A.; Heldwein, A.B.; Dellai, J. 2007. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agricultural and Forest Meteorology* 142(1):1–11.
- Struik, P. 2007. Responses of the potato plant to temperature. In: Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C. (Eds.). *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 367–393.
- Singh, B.; Kukreja, S.; Goutam, U. 2020. Impact of heat stress on potato (*Solanum tuberosum* L.): Present scenario and future opportunities. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 95(4):407–424.

RIESGO DE HELADAS EN EL CULTIVO DE PAPA EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS PASADOS Y RECIENTES

Erbetta*, E.¹; Pintos, D.O.²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, RN 226 km 60,5; Balcarce, (7620), Argentina

² Responsable División Agro, Cinco Hispanos, Triunvirato 1250; Ramos Mejía (B1704IGB), Argentina

*Contacto: elisaerbetta@mdp.edu.ar

Palabras clave: cambio climático; temperaturas subóptimas; fecha de plantación

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de clima templado cuyo crecimiento y desarrollo están fuertemente regulados por la temperatura. Entre los riesgos climáticos que afectan su producción, las heladas (temperatura < 3 °C) constituyen uno de los factores más limitantes, debido a la elevada sensibilidad de los tejidos aéreos, particularmente en estadios tempranos posteriores a la emergencia. La ocurrencia de heladas durante el ciclo puede afectar el establecimiento del cultivo y limitar la duración efectiva de la estación de crecimiento, reduciendo el rendimiento (Chang *et al.*, 2014). Los cambios recientes en el régimen térmico debidos al cambio climático (Brendel *et al.*, 2025) podrían haber modificado el riesgo de ocurrencia de bajas temperaturas durante el ciclo del cultivo. En particular, una eventual disminución del riesgo de heladas permitiría evaluar la factibilidad de adelantar la fecha de plantación. Esta estrategia podría, además de extender la duración del ciclo, ampliar la ventana de plantación, con potenciales beneficios para la organización de las labores y cosecha escalonada (Franke *et al.*, 2013). El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en el riesgo de exposición del cultivo a bajas temperaturas entre un período climático histórico y uno reciente, y analizar sus implicancias para la definición de la fecha de plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se generaron escenarios agrícolas para la localidad de Balcarce (lat -37,75; lon -58,25) combinando ocho fechas de plantación (1-sep; 15-sep; 1-oct; 15-oct; 1-nov; 15-nov; 1-dic; 15-dic) y dos series climáticas (1970-2000 y 2000-2025). Las estaciones de crecimiento (EC: periodo transcurrido entre la plantación y madurez fisiológica) en cada escenario fueron simuladas para el cultivar Atlantic mediante un modelo de desarrollo del cultivo basado en el concepto de tiempo térmico, donde la tasa de desarrollo se estimó mediante una función triangular definida por temperaturas cardinales (Streck *et al.*, 2007). Para cada EC, se determinó el número de días con heladas agrometeorológicas (HA) en estadios de desarrollo tempranos (posteriores a la emergencia) y tardíos (cerca de la madurez). Las diferencias en la mediana del número de días con HA entre fechas de plantación y entre series climáticas se evaluaron mediante pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis y Mann-Whitney, respectivamente). El nivel de riesgo de exposición a HA se calculó para cada escenario mediante la frecuencia relativa de EC con al menos una HA entre emergencia y el 31/12, y entre el 1/1 y madurez fisiológica (estadios tardíos). Se establecieron cuatro categorías de riesgo de acuerdo con la frecuencia relativa de ocurrencia: bajo (0-0,25), moderado a bajo (0,26-0,50), moderado a alto (0,51-0,75) y alto (0,76-1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de días con HA en estadios de desarrollo tempranos (Figura 1a) disminuyó con el retraso de la fecha de plantación en ambas series climáticas ($p < 0,0001$). Sin embargo, el número de días con HA fue menor en la serie climática más reciente para las fechas de plantación 1-sep, 15-sep, 1-oct y 15-oct. El número de días con HA en estadios de desarrollo tardíos (Figura 1b) aumentó con el retraso en la fecha de plantación en ambas series climáticas ($p < 0,0001$), observándose un mayor número de eventos de HA en la fecha 15-dic. No se observaron diferencias significativas entre series climáticas en ninguna de las fechas de plantación evaluadas para el número de días con HA en estadios tardíos de desarrollo.

El riesgo de heladas en estadios tempranos de desarrollo (Figura 2a) en la serie climática 1970-2000 fue alto en las fechas de plantación 1-sep, 15-sep y 1-oct, moderado-alto en la fecha 15-oct, moderado-bajo en la fecha 1-nov y bajo en las fechas 15-nov, 1-dic y 15-dic. La serie climática 2000-2025 presentó menor riesgo de ocurrencia de heladas en comparación con la serie predecesora, con excepción de la fecha de plantación temprana (1-sep). Cabe destacar que el riesgo de exposición a heladas correspondiente a la fecha tradicional de plantación (15-oct) en la serie climática histórica fue similar al de la fecha 1-oct en la serie climática reciente (Figura 2).

El riesgo de heladas en estadios tardíos de desarrollo (Figura 2b) en la serie climática 1970-2000 fue bajo en las fechas de plantación transcurridas entre el 1-sep y 1-nov, incrementándose el riesgo a bajo-moderado en las fechas 15-nov y 1-dic, y a moderado-alto para la fecha tardía (15-dic). En la serie 2000-2025 se observó una reducción considerable del riesgo, siendo bajo en las fechas comprendidas entre el 1-sep y 1-dic, y moderado-bajo en la fecha 15-dic.

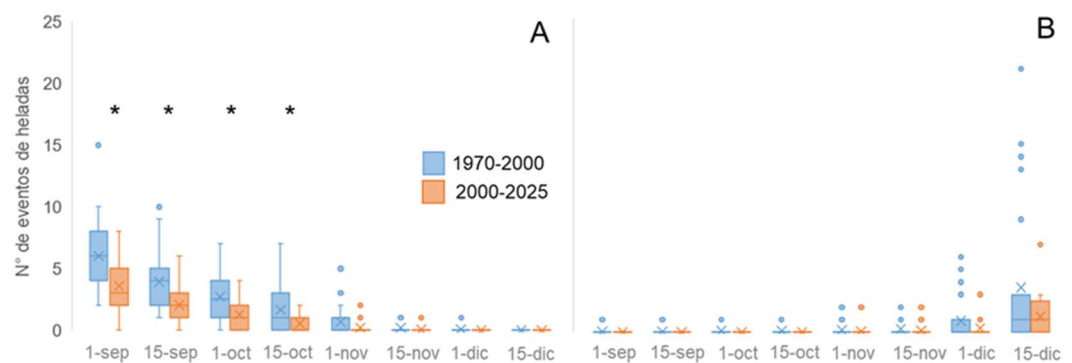


Figura 1. Variabilidad interanual en el número de eventos de heladas para cada fecha de plantación, correspondiente a las series climáticas 1970-2000 y 2000-2025. **a.** heladas posteriores a emergencia, **b.** heladas cercanas a madurez. *Indica diferencias significativas en la mediana del número de HA entre series climáticas para cada fecha de plantación (Mann-Whitney; $\alpha = 0,05$).

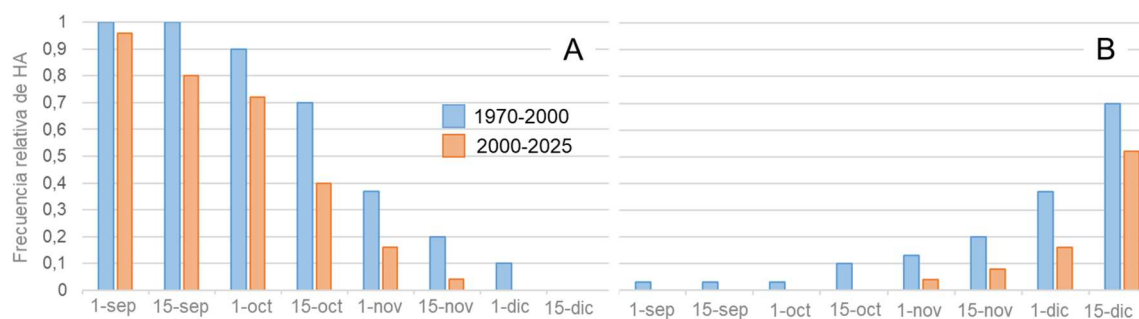


Figura 2. Frecuencia relativa de HA para cada fecha de plantación, correspondiente a las series climáticas 1970-2000 y 2000-2025. **a.** heladas posteriores a emergencia, **b.** heladas cercanas a madurez.

CONCLUSIONES

La fecha de plantación continúa siendo un factor clave en la exposición del cultivo de papa a HA. Mientras que las fechas de plantación tempranas presentan mayor riesgo de heladas en estadios iniciales, el retraso de la plantación incrementa la probabilidad de ocurrencia de heladas hacia el final del ciclo. Sin embargo, la serie climática más reciente mostró una reducción en la ocurrencia de heladas tempranas respecto del período 1970–2000. Estos resultados sugieren que la ventana de plantación podría adelantarse 15 días (1-oct) con respecto de la referencia tradicional del 15-oct sin incrementar los riesgos de daño por heladas.

REFERENCIAS

- Brendel, A.; Ferrelli, F.; Piccolo, M. 2025. Climate change scenarios and the increasing severity of thermal extremes in the pampas region. *Environmental Earth Science* 84: 10.1007/s12665-025-12264-7.
- Chang, D.C.; Sohn, H.B.; Cho, J.H.; Im, J.S.; Jin, Y.I.; Do, G.; Kim, S.; Cho, H.; Lee, Y.B. 2014. Freezing and frost damage of potato plants: a case study on growth recovery, yield response, and quality changes. *Potato Research* 57(2):99-110.
- Franke, A.C.; Haverkort, A.J.; Steyn, J.M. 2013. Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 2. Assessing risks and opportunities of adaptation strategies. *Potato Research* 56(1):51-66.
- Streck, N.A.; de Paula, F.L.M.; Bisognin, D.A.; Heldwein, A.B.; Dellai, J. 2007. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agricultural and Forest Meteorology* 142(1):1-11.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS CLIMÁTICOS E PROJEÇÕES FUTURAS PARA A REGIÃO BRAGANTINA, AMAZÔNIA ORIENTAL

Fernandes*, G.S.T.¹; Souza, E.V.¹; Navarro, L.M.²; Carvalho, T.S.¹; Mota, A.O.N.¹; Soares, A.G.M.¹; Almeida, I.R.¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capanema-PA, Brasil

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de ciência e Tecnologia, Sorocaba

*Contato: gabriel.fernandes@ufra.edu.br

Palavras-chave: validação; mudanças climáticas; resiliência climática

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas figuram entre os maiores desafios da atualidade, devido aos seus impactos abrangentes sobre os sistemas naturais e socioeconômicos, especialmente no setor agrícola. O aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como secas e enchentes, aliado às alterações nos padrões de temperatura e precipitação, tem afetado significativamente a produção de alimentos em diferentes regiões do mundo (Yang *et al.*, 2024). Além de influenciar a produtividade agrícola, essas mudanças provocam alterações nos ecossistemas, na biodiversidade, na disponibilidade de recursos hídricos e na qualidade dos solos. Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de estratégias de adaptação e práticas de manejo mais resilientes, capazes de mitigar os impactos das mudanças climáticas sobre os sistemas produtivos (Bibi e Rahman, 2023).

A Amazônia desempenha papel fundamental na regulação climática regional e global. Entretanto, apesar da crescente quantidade de pesquisas voltadas à compreensão dos impactos das mudanças climáticas na região amazônica, ainda existem lacunas significativas em estudos de escala local e regional, especialmente na Microrregião Bragantina, localizada no nordeste do estado do Pará. Essa região apresenta características ambientais, climáticas e socioeconômicas particulares, além de elevada relevância para a produção agropecuária regional.

Contudo, avaliações sobre o desempenho de modelos climáticos e projeções de cenários futuros para a Microrregião Bragantina permanecem limitadas, dificultando a elaboração de estratégias de adaptação e o planejamento de ações voltadas à mitigação dos impactos das mudanças climáticas sobre os sistemas produtivos e os recursos naturais locais. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de modelos climáticos do CMIP6 na representação das condições climáticas históricas da Microrregião Bragantina, Amazônia Oriental, e analisar as projeções futuras de variáveis meteorológicas sob diferentes cenários de mudanças climáticas

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo abrange a microrregião Bragantina, localizada na região nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental, Brasil, a qual é composta por 13 municípios que, juntos, abrangem uma área territorial de 8.77,451 km². A região integra, segundo classificação climática de Köppen, o clima tropical de monção (Am) que é caracterizada por temperaturas e umidade relativa elevadas (Alvares *et al.*, 2013). Os dados utilizados foram relativos à precipitação pluviométrica. Os dados históricos foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação meteorológica localizada no município de Tracuateua (01° 04' 26" S; 46° 54' 17" O), abrangendo o período de 1991 a 2014, em escala diária e mensal.

Foram utilizados modelos climáticos globais da sexta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6). As simulações históricas dos modelos foram comparadas com dados observacionais da região. O desempenho dos modelos foi avaliado por meio do coeficiente de correlação (R), coeficiente de determinação (R²), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), permitindo quantificar o grau de associação, a capacidade explicativa, os erros de estimativa e a eficiência das simulações em relação aos dados observados.

Com base nos resultados obtidos, foram selecionados os cinco modelos com melhor desempenho para compor um ensemble multimodelo, visando reduzir as incertezas inerentes às projeções individuais e aumentar a robustez das estimativas climáticas futuras. O ensemble foi utilizado para analisar as projeções da precipitação pluviométrica em cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5. Os dados provenientes dos cenários climáticos futuros foram agrupados em normais climatológicas e comparados a dados históricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que os modelos climáticos do CMIP6 selecionados apresentaram desempenho satisfatório na representação das condições climáticas da Microrregião Bragantina. Os coeficientes de correlação (R) variaram entre 0,80 e 0,82, evidenciando forte associação entre os dados simulados e observados. De forma semelhante, os valores de R², compreendidos entre 0,64 e 0,67, indicam que os modelos foram capazes de explicar aproximadamente 64 % a 67 % da variabilidade observada, demonstrando boa capacidade de reprodução dos padrões climáticos da região. Os valores positivos de NSE, variando de 0,64 a 0,66, reforçam a adequação dos modelos, uma vez que valores superiores a 0,50 são geralmente considerados satisfatórios para aplicações climáticas e hidrológicas (Moriassi *et al.*, 2017).

Tabela 1. Modelos climáticos do CMIP6 com melhor desempenho para precipitação pluviométrica na região Bragantina, Amazônia Oriental.

Modelo	R	R ²	RMSE	NSE
BCC-CSM2-MR	0,82	0,67	109,17	0,66
CNRM-CM6-1	0,81	0,66	110,27	0,66
IPSL-CM6A-LR	0,81	0,65	111,31	0,65
GISS-E2-1-G	0,81	0,65	112,09	0,65
CESM2-WACCM	0,80	0,64	113,03	0,64

Entretanto, apesar do desempenho satisfatório observado na validação, os modelos climáticos apresentam limitações inerentes à representação de processos atmosféricos, de modo que as diferenças entre os dados simulados e observados devem ser consideradas na interpretação e na aplicação das projeções climáticas. Nesse sentido, ao analisar as normais climatológicas obtidas a partir dos dados históricos e projetados para cenários climáticos futuros, observa-se um padrão sazonal bem definido da precipitação, com maior concentração de chuvas entre os meses de fevereiro a maio e redução expressiva no período de agosto a novembro, caracterizando uma estação seca bem-marcada.

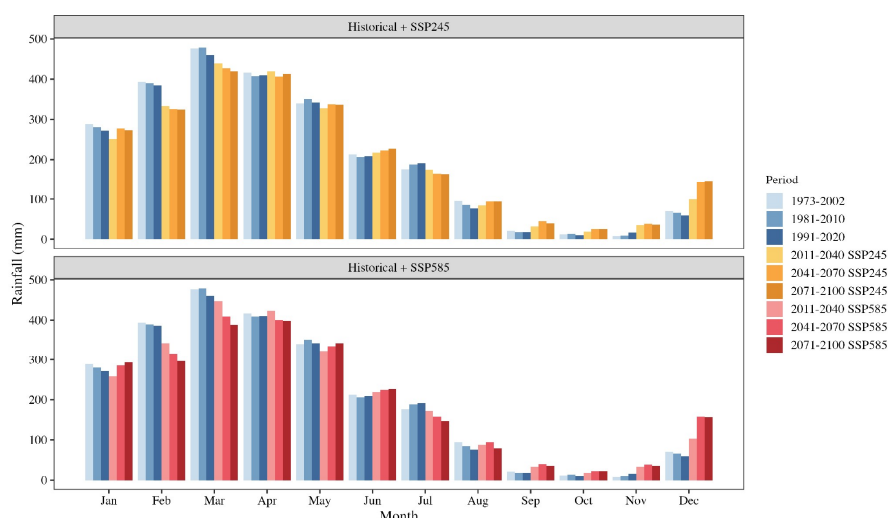


Figura 1. Normais climatológicas mensais históricas e projetadas em diferentes cenários climáticos futuros para a região Bragantina, Amazônia Oriental.

Em comparação com o período histórico, as projeções sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 sugerem alterações na distribuição mensal das chuvas, com tendência de redução em alguns meses do período chuvoso e aumento relativo da variabilidade interanual, especialmente sob o cenário mais pessimista (SSP5-8.5). Em ambos os cenários futuros, observa-se também a possibilidade de leves aumentos em determinados meses do período seco, o que pode impactar diretamente a disponibilidade hídrica e a dinâmica agrícola regional.

CONCLUSÕES

Os modelos climáticos do CMIP6 apresentaram bom desempenho na representação do clima da região. As análises indicam manutenção do padrão sazonal de precipitação, porém com possíveis alterações na distribuição das chuvas e intensificação da variabilidade sob cenários futuros, especialmente no SSP5-8.5. Esses resultados reforçam a existência de sinais consistentes de mudanças climáticas na região e destacam a importância de estudos e estratégias de adaptação.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.D.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift* 22(6):711-728.
- Bibi, F.; Rahman, A. 2023. An overview of climate change impacts on agriculture and their mitigation strategies. *Agriculture* 13(8):1508.
- Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* 50(3):885-900.
- Yang, Y.; Tilman, D.; Jin, Z.; Smith, P.; Barrett, C.B.; Burney, J.; D'Odorico, P.; Fantke, P.; Fargione, J.; Finlay, J.; Rulli, M.C.; Sloat, L.; van Groenigen, K.J.; West, P.; Ziska, L.; Michalak, A.; Lobell, D.; Clark, M. 2024. Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science* 385:10.1126/science.adn3747.

EVENTOS COMPUESTOS BAJO CONDICIONES ENSO EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA

Iacovone*, M.F.^{1,2}; Pántano, V.C.^{1,2}; Penalba, O.C.^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas, Godoy Cruz 2290, CABA, C1425FQB, Argentina

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - UBA, Intendente Güiraldes 2160, CABA, C1428EGA, Argentina

*Contacto: fiacovone@at.fcen.uba.ar

Palabras clave: días secos; extremos cálidos; variabilidad climática

INTRODUCCIÓN

Los eventos extremos compuestos se definen como la ocurrencia simultánea de dos o más eventos climáticos (como por ejemplo olas de calor acompañadas de exceso de precipitación), cuyo impacto combinado resulta más severo que si ocurrieran por separado (Seneviratne *et al.*, 2012). La región de interés, sudeste de Sudamérica (SESA), presenta características climáticas que resultan vulnerables a los impactos de los extremos compuestos sobre el medio ambiente, la salud de la población y los sectores hidrológico y agrícola, entre otros (Collazo *et al.*, 2023). Por ejemplo, el mes de enero, representa un período crítico para los principales cultivos de la región (soja y maíz) que se encuentran en etapa de floración y formación de granos.

Por otro lado, en las últimas décadas se ha avanzado en el estudio para identificar los patrones de circulación que influyen sobre los eventos extremos individuales tanto de precipitación como de temperatura, así como también en los eventos compuestos de estas variables en el SESA (Lopez-Ramirez *et al.*, 2026, entre otros). Uno de los forzantes más importantes para estas variables en verano es El Niño - Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés).

A partir de lo expuesto, este trabajo tiene como objetivo estudiar la relación entre los eventos extremos compuestos de precipitación y temperatura, y el ENSO, en el SESA, durante el mes de enero para el período 1980-2023.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue llevado a cabo utilizando datos horarios de precipitación y temperatura, provenientes del reanálisis ERA5, para el mes de enero, durante el período 1980-2023 en el SESA (12.5°S-40°S, 42.5°O-68°O), con una resolución espacial de 0,25° de latitud x 0,25° de longitud. A partir de los datos diarios de precipitación se calculó el número de días húmedos (WD, donde la precipitación es superior a 1 mm). Con los datos de temperatura se obtuvo la temperatura máxima diaria (Tmax) y el porcentaje mensual de días en los que Tmax supera el percentil 90 (TX90p, representativo de los días cálidos).

Inicialmente se calcularon los campos medios de WD y Tmax. Posteriormente, se determinaron los terciles primero y segundo (P33 y P66, respectivamente) de WD y TX90p.

Por otro lado, se consideró la serie temporal para el período 1980-2023 del índice RONI (NOAA, 2026), representativo del ENSO. Las fases cálidas (frías) se definen cuando el índice presenta valores superiores (inferiores) a 0,5 °C (-0,5 °C).

Con ello, se calculó la probabilidad de ocurrencia conjunta (Ecuación 1) de condiciones extremas secas y cálidas, condicionada a cada fase del ENSO, como:

$$P = (WD < P33 \text{ \& } TX90p > P66 / ENSO) \quad (1)$$

Finalmente, se calcularon los *composites* de las anomalías de WD y TX90p para cada fase del ENSO.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta el campo medio de WD mostrando que los máximos valores, entre 25 y 30 días húmedos, se observan al norte de la región de estudio, principalmente debido a la precipitación asociada a la actividad monzónica propia del verano. En cambio, en latitudes medias, los días húmedos comienzan a disminuir, con valores cercanos a los 8 días. En cuanto a Tmax los valores más altos (bajos), cercanos a los 35 °C, se encuentran en el centro-norte de Argentina y Paraguay (zona cordillera norte y sureste de Brasil).

Luego, al analizar la probabilidad de ocurrencia conjunta de condiciones secas y cálidas bajo la influencia de las distintas fases del ENSO (Figura 2) se observa que en años El Niño la probabilidad varía entre 10 % - 15 % en la región pampeana, Uruguay y sur de Brasil. En cambio, al noroeste del SESA se observa un incremento marcado, cercano al 40 %. Por otro lado, durante la fase La Niña se encuentran valores mayores al 20 % en casi toda la región. Particularmente en Córdoba, San Luis y al oeste de Buenos Aires los valores de probabilidad conjunta superan el 40 %. Por último, para los eventos Neutros se observa una probabilidad alta (>40 %) concentrada sobre el norte de Argentina, Paraguay, este de Bolivia y sur de Brasil, mientras que el resto de la región muestra valores más bajos.

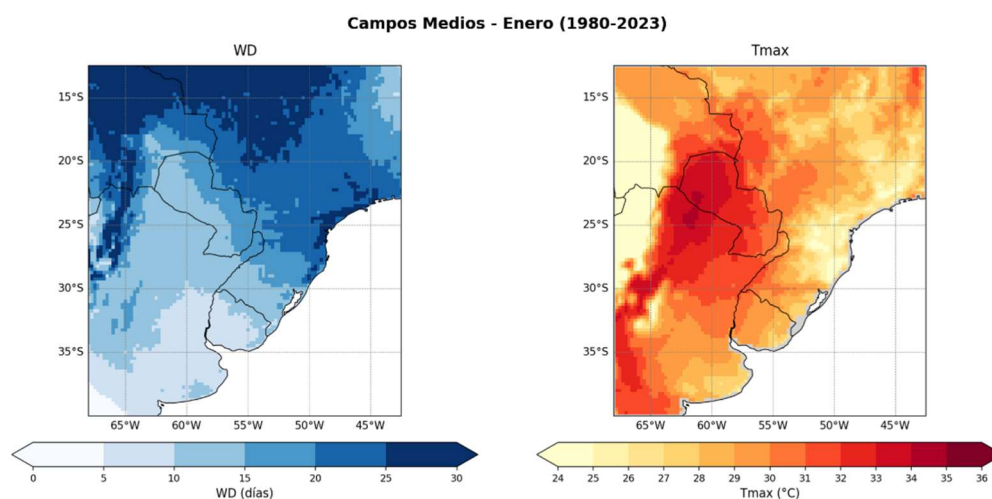


Figura 1. Campos medios de días húmedos (izquierda) y temperatura máxima diaria (derecha) en enero.

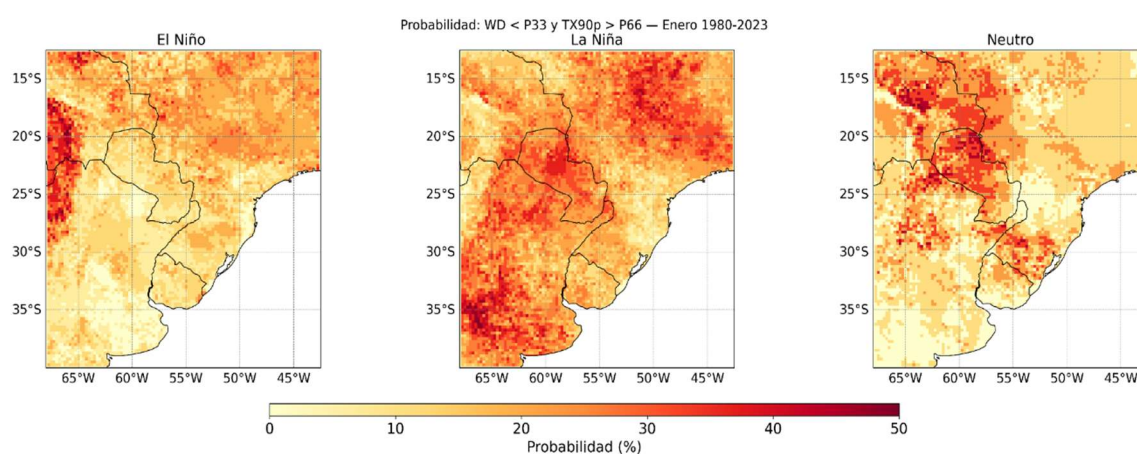


Figura 2. Probabilidad de ocurrencia conjunta de WD y TX90p, durante eventos El Niño (izquierda), La Niña (centro) y Neutro (derecha).

CONCLUSIONES

Con el fin de proporcionar información útil a los servicios climáticos regionales, es importante evaluar la señal de diferentes forzantes climáticos asociados con los eventos extremos compuestos. Este trabajo se focalizó en el análisis de la relación entre los extremos compuestos de precipitación y temperatura con el ENSO, en enero para el periodo 1980-2023. Se encontró que el centro-este de Argentina y Uruguay es vulnerable a las condiciones secas y cálidas durante la fase La Niña, en cambio en años El Niño la señal es opuesta. Por otro lado, durante eventos Neutros, si bien se esperaba encontrar condiciones normales, el comportamiento de la atmósfera queda sujeto a la propia variabilidad del sistema climático.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo del proyecto UBACyT 20920250100437BA.

REFERENCIAS

- Collazo, S.; Barrucand, M.; Rusticucci, M. 2023. Hot and dry compound events in South America: present climate and future projections, and their association with the Pacific Ocean. *Natural Hazards* 119(1):299-323.
- Lopez-Ramirez, A.; Barrucand, M.; Collazo, S. 2026. Characterizing dry and humid heatwaves in Southern South America: regional trends and large-scale climate drivers. *Climate Dynamics* 64(2):43.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2026. Relative Oceanic Niño Index (RONI). Climate Prediction Center. Retrieved June 25, 2026, from https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso/roni/.
- Seneviratne, S.; Nicholls, N.; Easterling, D.; Goodess, C.; Kanae, S.; Kossin, J.; *et al.* 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. En: Field, C.B.; Barros, V.; Stocker, T.F.; *et al.* (Eds) *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press. 109–230 p.

CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS DE ALTA INTENSIDAD EN AZUL MEDIANTE REGISTROS HISTÓRICOS Y AUTOMÁTICOS

Laddaga*, J.¹; Elguezabal, M.C. ¹; Aguas, L.¹; Hernandez, G.¹

¹ Núcleo de Estudios en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático (NAACCE) – Centro Regional de Agrometeorología (CRAGM), Facultad de Agronomía, UNICEN, Azul, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: jeladdaga@azul.faa.unicen.edu.ar

Palabras clave: precipitación extrema; variabilidad estacional; resolución subhoraria; pluviografía; región pampeana

INTRODUCCIÓN

La variabilidad estacional de la precipitación intensa constituye una dimensión crítica para la planificación agrícola e hidrológica en la región pampeana. Penalba y Robledo (2010) documentaron, en la Cuenca del Plata, aumentos en la frecuencia de lluvias extremas diarias más marcados en verano, otoño y primavera, con tendencias negativas en invierno. Sin embargo, existe escasa información acerca de la variabilidad estacional de la precipitación intensa a resolución subhoraria, escala en la que los impactos hidrológicos son más directos. La estación Cerro del Águila (Partido de Azul, Buenos Aires) cuenta con registros pluviográficos 2003–2017, digitalizados mediante la metodología PluvioRSMNArg (Flores, 2025), y datos de estación automática 2019–2026 en el mismo sitio. El objetivo de este trabajo es caracterizar la variabilidad estacional de eventos de precipitación intensa a resolución de 10 minutos y describir las diferencias entre ambos períodos, reconociendo las diferencias instrumentales como una limitación metodológica explícita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos series de precipitación de la estación Cerro del Águila: registros pluviográficos digitalizados 2003–2017 (resolución 5 min; Flores, 2025), contrastados frente al pluviómetro diario del CRAGM ($r = 0,69$; Elguezabal *et al.*, 2025); y datos de estación automática iMetos 3.3 (Pessl Instruments, CRAGM-FAA-UNICEN) correspondientes al período enero 2019 – abril 2026 (resolución 10 min). Ambas series se estandarizaron a resolución de 10 minutos. La serie de fajas presenta 391 gaps superiores a 2 horas, con faltantes mayores en 2006, 2015 y 2016; el análisis estacional se realizó sobre los 15 años del período calendario. Los eventos se identificaron con criterio de separación de 6 horas sin lluvia y umbral mínimo de 1 mm acumulado, asignando estación según el mes de inicio: verano (dic–feb), otoño (mar–may), invierno (jun–ago) y primavera (sep–nov). Los eventos extremos se definieron como aquellos con $I_{\max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$ (p95 del período de fajas), umbral aplicado a ambos períodos. Las diferencias en $I_{\max}$ entre períodos se evaluaron mediante el test de Mann-Whitney U (Mann y Whitney, 1947); las diferencias en proporciones de extremos mediante el test exacto de Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución estacional fue similar en ambos períodos, con mayor frecuencia en verano y otoño. El análisis de $I_{\max}$ reveló diferencias significativas en verano ($p = 0,003$), otoño ($p = 0,005$) e invierno ($p = 0,026$), sin diferencias en primavera ($p = 0,81$; Figura 1). En verano y otoño la $I_{\max}$ fue superior en el período automático; en invierno la relación se invirtió (mediana: $1,8 \rightarrow 1,0 \text{ mm}/10 \text{ min}$), patrón compatible con el predominio de precipitación convectiva en meses cálidos y estratiforme en invierno documentado para la Pampa Húmeda (Sarochar *et al.*, 2005). La proporción de eventos extremos fue significativamente mayor en el período automático ($7,5 \rightarrow 16,8 \%$; $p = 0,010$), otoño ($7,4 \rightarrow 16,1 \%$; $p = 0,037$) y primavera ($2,8 \rightarrow 10,2 \%$; $p = 0,010$), con frecuencias anuales entre 3,8 y 5,1 veces superiores (Tabla 1; Figura 2). En primavera la $I_{\max}$ mediana no difirió entre períodos, pero la cola superior fue más elevada en la serie automática, con mayor representación de los eventos más intensos. Las mayores diferencias de magnitud entre períodos se observaron en los extremos de otoño: pp total mediana de 12,2 a 47,6 mm ($p < 0,001$) e I60 de 8,2 a 26,9 mm h⁻¹ ($p < 0,001$), aunque los extremos del período de fajas se concentran próximos al umbral ($I_{\max}$ mediana = $6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$), por lo que parte de la diferencia podría reflejar subestimación instrumental en los registros históricos. En verano, la mayor $I_{\max}$ registrada en el período automático, sin diferencias significativas en la precipitación total, es coherente con el carácter convectivo breve predominante en los meses cálidos (Sarochar *et al.*, 2005). El patrón de otoño podría vincularse a MCS nocturnos favorecidos por el SALLJ (Salio *et al.*, 2007), de mayor organización y duración.

Tabla 1. Ocurrencia de eventos extremos ($I_{\max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$) por estación y período. Test exacto de Fisher para proporciones. ns: no significativo; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Estación	Ext/Total Fajas	Ext/Total Auto	Frec. anual Fajas	Frec. anual Auto	Fisher p
Verano	14/187 (7,5 %)	25/149 (16,8 %)	0,93 año ⁻¹	3,57 año ⁻¹	0,010 **
Otoño	10/136 (7,4 %)	22/137 (16,1 %)	0,67 año ⁻¹	3,14 año ⁻¹	0,037 *
Invierno	4/89 (4,5 %)	8/79 (10,1 %)	0,27 año ⁻¹	1,14 año ⁻¹	0,230 ns
Primavera	5/178 (2,8 %)	12/118 (10,2%)	0,33 año ⁻¹	1,71 año ⁻¹	0,010 *

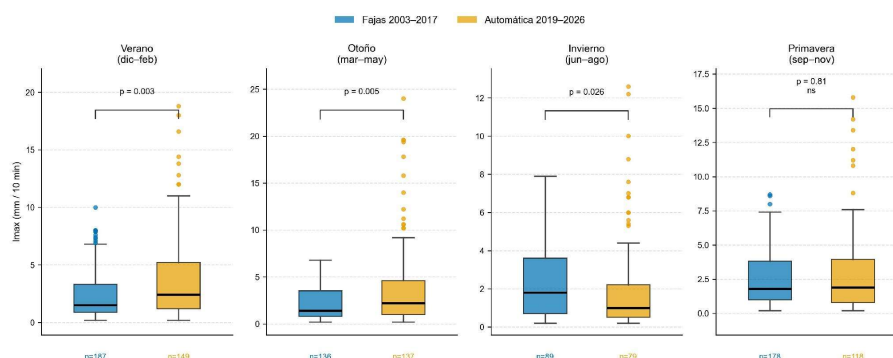


Figura 1. Intensidad máxima en 10 min (I_{max}) de todos los eventos por estación. Cada panel muestra la distribución mediante boxplot para el período de fajas (azul) y automática (naranja). Significancia Mann-Whitney U: $p < 0,01$ (**), $p < 0,05$ (*), no significativo (ns).

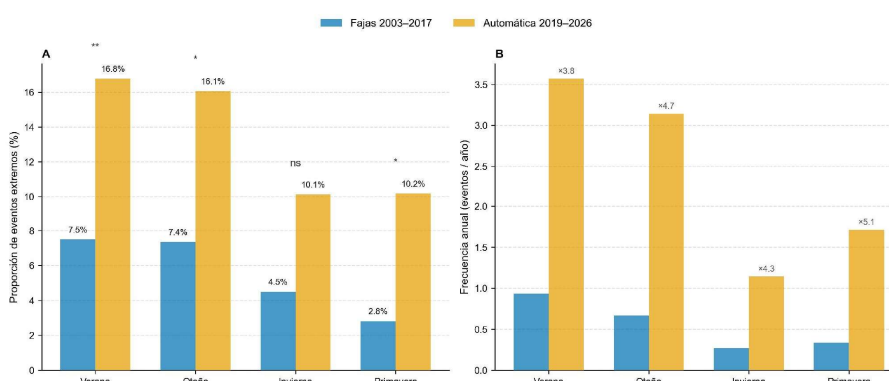


Figura 2. Panel A: proporción de eventos extremos ($I_{max} \geq 6,5 \text{ mm } 10 \text{ min}^{-1}$) sobre el total de eventos por estación y período (test exacto de Fisher: ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ns: no significativo). Panel B: frecuencia anual de eventos extremos; números sobre barras = ratio automática/fajas.

Las diferencias observadas pueden asociarse tanto a variabilidad climática interanual como a diferencias instrumentales; con la información disponible no es posible discriminar ambas contribuciones. La compatibilidad con los patrones de Penalba y Robledo (2010) resulta coherente, aunque la diferencia de escala impide una comparación directa.

CONCLUSIONES

Los eventos de precipitación intensa mostraron una marcada variabilidad estacional en ambas series. La serie automática presentó mayores valores de I_{max} en verano y otoño y una mayor proporción de eventos extremos en verano, otoño y primavera, mientras que en invierno la mediana de I_{max} fue menor. Las mayores diferencias en magnitud acumulada se observaron en otoño.

Estos resultados permiten caracterizar el comportamiento de los eventos en cada conjunto de datos, pero no atribuir las diferencias observadas a cambios temporales en el régimen de precipitación, debido a las diferencias instrumentales y metodológicas entre las series. La digitalización de los registros pluviográficos históricos constituye un aporte valioso para el estudio de precipitaciones intensas a alta resolución temporal y para la gestión del riesgo hídrico.

Este trabajo complementa el análisis global presentado en Elguezal *et al.* (2025) aportando la dimensión estacional.

REFERENCIAS

- Elguezal, M.C.; Aguas, L.; Hernandez, G.; Randazo, L. 2025. Construcción de curvas IDF a partir de datos pluviográficos en el Partido de Azul, Buenos Aires (2003–2017). En: CONGREMET XV, 2025, La Plata, Argentina.
- Flores, K. 2025. Generación y Procesamiento de Datos Pluviográficos en el SMN: desarrollo de método de digitalización. Nota Técnica SMN 2025-194.
- Mann, H.B.; Whitney, D.R. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics* 18:50–60.
- Penalba, O.C.; Robledo, F.A. 2010. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. *Climatic Change* 98(3):531–550.
- Pessl Instruments. 2024. iMetos 3.3. <<https://metosargentina.com.ar/i-metos-3-3/>>, consultado 01/06/2026.
- Salio, P.; Nicolini, M.; Zipser, E.J. 2007. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. *Monthly Weather Review* 135:1290–1309.
- Sarochar, R.H.; Ciappesoni, H.H.; Ruiz, N.E. 2005. Precipitaciones convectivas y estratiformes en la Pampa Húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas. *Meteorológica* 30(1-2):77-88.

RESPUESTA DE LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS DE CHAMICAL, LA RIOJA, A LAS FASES DEL ENSO

Luna Toledo*, E.¹; Montilla, P.²; Valdez, J.¹; Juárez, O.³; Martínez del Pezzo, A.⁴

¹ IASO, Universidad Nacional de Chilecito, 9 de julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina

² Departamento de Ciencias Básicas y Tecnológicas. Universidad Nacional de Chilecito, 9 de julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina

³ IAMRA, Universidad Nacional de Chilecito, 9 de julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina

⁴ IISCD, Universidad Nacional de Chilecito, 9 de julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina

*Contacto: etoledo@undec.edu.ar

Palabras clave: oni; anomalías; región semiárida

INTRODUCCIÓN

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) constituye el principal modo de variabilidad climática interanual del sistema océano-atmósfera y está asociado con anomalías de la temperatura superficial del mar en el océano Pacífico tropical y cambios en la circulación atmosférica de gran escala (Wang *et al.*, 2017). El Niño y la Oscilación del Sur representan las componentes oceánica y atmosférica, respectivamente, de un mismo fenómeno acoplado, cuyas perturbaciones pueden influir sobre el clima de regiones alejadas mediante mecanismos de teleconexión (Trenberth, 1997). El monitoreo de las fases de ENSO se realiza mediante diversos índices basados en las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial tropical. Entre ellos se encuentra el Índice Oceánico de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI), definido como la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 (5°N-5°S y 170°W-120°W), calculada mediante promedios móviles trimestrales. La región de Chamical, en la provincia de La Rioja, Argentina, se caracteriza por presentar una elevada variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones, con un marcado gradiente pluviométrico y una fuerte concentración estacional de las lluvias, registrándose aproximadamente el 80 % de las precipitaciones entre los meses de noviembre y marzo (Luna Toledo, 2023). Asimismo, las precipitaciones suelen ocurrir en forma de eventos de alta intensidad y baja frecuencia, frecuentemente asociados a chaparrones aislados y de extensión espacial reducida (Karlín, 2012). Estas características convierten a la región en un área de particular interés para analizar la posible influencia de la variabilidad climática interanual sobre la ocurrencia de eventos extremos de precipitación. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue analizar la relación entre las diferentes fases de ENSO y el comportamiento de las precipitaciones en la localidad de Chamical, provincia de La Rioja, evaluando tanto la precipitación acumulada a escala trimestral como la ocurrencia, frecuencia e intensidad de los eventos extremos diarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros diarios de precipitación correspondientes al período 1989-2023 de la estación meteorológica CHAMICAL AERO (30°21' S; 66°18' O), perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y la serie temporal del Oceanic Niño Index (ONI), obtenida del Climate Prediction Center (CPC-NOAA). El ONI se define como la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 del océano Pacífico ecuatorial (5°N-5°S y 170°W-120°W), calculada mediante un promedio móvil de tres meses de las anomalías de temperatura superficial del mar respecto de un período climatológico de referencia. Las fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña) se establecen cuando el ONI alcanza valores $\geq +0,5$ °C o $\leq -0,5$ °C, respectivamente, durante al menos cinco trimestres móviles consecutivos; los valores comprendidos entre -0,5 °C y +0,5 °C se consideran condiciones neutrales (CPC, 2026). La precipitación se analizó en escalas trimestral y diaria mediante el software RStudio (R Core Team, 2025). La relación entre el ONI y la precipitación trimestral se evaluó mediante coeficiente de correlación de Pearson, correlaciones cruzadas con desfases de uno y dos trimestres y modelos de regresión lineal simple. Los trimestres extremos se definieron a partir de los percentiles 10 y 90 de la distribución de precipitaciones acumuladas, identificando períodos secos y húmedos, respectivamente. Para la escala diaria, se consideraron eventos extremos aquellas precipitaciones iguales o superiores al percentil 90 de la distribución de precipitaciones diarias. Finalmente, las diferencias en la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos entre las distintas fases de ENSO se evaluaron mediante una prueba de independencia de Chi-cuadrado. A escala diaria, la proporción de eventos extremos de precipitación alcanzó el 14,4 % durante la fase Niña, superando los valores observados durante las fases Niño (9,5 %) y Neutral (7,6 %) (Tabla 1). Asimismo, la precipitación media de los eventos extremos fue mayor durante las fases activas de ENSO, con valores de 39,0 mm y 39,9 mm en las fases Niña y Niño, respectivamente, frente a 34,9 mm en condiciones neutrales. Del mismo modo, los máximos diarios de precipitación fueron considerablemente superiores durante las fases activas, alcanzando 335 mm en años Niña y 294 mm en años Niño, mientras que en condiciones neutrales el máximo diario registrado fue de 145 mm. La prueba de independencia de Chi-cuadrado confirmó que la distribución de los eventos extremos de precipitación depende significativamente de la fase ENSO ($X^2 = 16,08$; gl = 2; $p < 0,001$). En conjunto, los resultados indican que el efecto de ENSO sobre las precipitaciones en el departamento de Chamical no se manifiesta mediante cambios sistemáticos en los acumulados trimestrales, sino a través de cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación trimestral acumulada no mostró una relación lineal significativa con el índice ONI. El coeficiente de correlación de Pearson fue prácticamente nulo ($r = 0,01$) y se mantuvo bajo al incorporar desfases de uno ($r = 0,03$) y dos trimestres ($r = 0,05$), indicando la ausencia de una respuesta retardada de las precipitaciones frente a las diferentes fases de ENSO. De manera consistente, el modelo de regresión lineal presentó un coeficiente de determinación cercano a cero ($R^2 \approx 0$; $p = 0,916$), evidenciando que las variaciones del ONI no explican la variabilidad de la precipitación trimestral en Chamental. Al analizar las precipitaciones según las diferentes fases de ENSO, se observaron mayores precipitaciones medias durante las fases activas (anomalías superiores a $+0,5$ °C o iguales o inferiores a $-0,5$ °C) respecto de las condiciones neutrales. Los acumulados trimestrales promedios fueron de 81 mm en fase Neutral, 131 mm en fase Niña y 148 mm en fase Niño. Sin embargo, la elevada dispersión de los datos, particularmente durante la fase El Niño, impidió identificar una relación lineal simple entre las fases de ENSO y la precipitación acumulada. El análisis de los trimestres extremos mostró un comportamiento diferente. Durante la fase Niña se registró una mayor frecuencia de trimestres húmedos (13) respecto de los secos (8), mientras que en la fase Niño también predominaron los trimestres húmedos (9) sobre los secos (5). Por el contrario, las condiciones neutrales presentaron una mayor frecuencia de trimestres secos (15). Estos resultados sugieren que, para la región de estudio, las fases activas de ENSO favorecen una mayor frecuencia de trimestres extremadamente húmedos, mientras que las condiciones neutrales se asocian con una mayor probabilidad de trimestres secos. A escala diaria, la proporción de eventos extremos de precipitación alcanzó el 14,4 % durante la fase Niña, superando los valores observados durante las fases Niño (9,5 %) y Neutral (7,6 %). Asimismo, la precipitación media de los eventos extremos fue mayor durante las fases activas de ENSO, con valores de 39,0 mm y 39,9 mm en las fases Niña y Niño, respectivamente, frente a 34,9 mm en condiciones neutrales. Del mismo modo, los máximos diarios de precipitación fueron considerablemente superiores durante las fases activas, alcanzando 335 mm en años Niña y 294 mm en años Niño, mientras que en condiciones neutrales el máximo diario registrado fue de 145 mm. La prueba de independencia de Chi-cuadrado confirmó que la distribución de los eventos extremos de precipitación depende significativamente de la fase ENSO ($X^2 = 16,08$; $gl = 2$; $p < 0,001$). Los resultados indican que el efecto de ENSO sobre las precipitaciones en el departamento de Chamental no se manifiesta mediante cambios sistemáticos en los acumulados trimestrales, sino a través de cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación. Estos hallazgos son consistentes con lo informado por Karlin (2012) para el Chaco Árido argentino, quienes señalaron que la influencia de ENSO no siempre se refleja en relaciones lineales significativas con la precipitación, sino en anomalías climáticas asociadas a sus diferentes fases. Asimismo, concuerdan con estudios que muestran que la señal de ENSO se manifiesta con mayor claridad en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas que en la precipitación acumulada, aunque la magnitud y el sentido de la respuesta dependen de las características climáticas de cada región (Kenyon y Hegerl, 2010; Alizadeh-Choobari *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que no existe una relación lineal significativa entre el ONI y la precipitación trimestral en Chamental. Sin embargo, las fases activas de ENSO modifican la ocurrencia de los eventos extremos de precipitación, incrementando su frecuencia e intensidad, particularmente durante las fases La Niña. En contraste, las condiciones neutrales se asociaron con una mayor frecuencia de períodos secos. Estos resultados sugieren que la influencia de ENSO en la región no se manifiesta mediante cambios sistemáticos en la precipitación acumulada, sino principalmente a través de la modulación del riesgo de ocurrencia de eventos de precipitación extremos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por la Convocatoria FICYT 2024 de la Universidad Nacional de Chilecito.

REFERENCIAS

- Alizadeh, O.; Mousavizadeh, M. 2025. Impact of ENSO on extreme precipitation in Southwest Asia. *Global and Planetary Change* 244:104645.
- Climate Prediction Center (CPC). 2026. Oceanic Niño Index (ONI). https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Consultado 05/08/2026.
- Karlin, M.S. 2012. Cambios temporales del clima en la subregión del Chaco Árido. *Multequina* 21:3-16.
- Kenyon, J.; Hegerl, G.C. 2010. Influence of Modes of Climate Variability on Global Precipitation Extremes. *Journal of Climate* 23: 6248-6262.
- Luna Toledo, E. 2023. Evapotranspiración y fracción evaporativa en dos regiones productivas de La Rioja (Argentina). Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Trenberth, K.E. 1997. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 2771–2777.
- Wang, C.; Deser, C.; Yu, J.Y.; DiNezio, P.; Clement, A. 2017. El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A review. En: Glynn, P.W.; Manzello, D.P.; Enochs, I.C. (Eds.). *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp. 85–106.

PROYECCIÓN DE HELADAS METEOROLÓGICAS BAJO EL ESCENARIO DE EMISIONES MODERADAS EN EL OESTE DE LA REGIÓN PAMPEANA DE ARGENTINA

Mendez*, M.^{1,2}; Vergara, G.¹; Casagrande, G.¹

¹ Facultad de Agronomía, UNLPam, Ruta Nacional 35 km 334, Santa Rosa, La Pampa, CP: 6300, Argentina

² Instituto de ciencias de la tierra y ambientales de La Pampa (UNLPam-CONICET)

*Contacto: marianomendez@hotmail.com

Palabras clave: CMIP5; temperatura mínima; clima

INTRODUCCIÓN

Las heladas meteorológicas (descenso térmico igual o inferior a 0 °C medido en abrigo meteorológico) constituyen uno de los principales peligros agrícolas (Papagiannaki *et al.*, 2014). Es por esto por lo que, los distintos índices bioclimáticos de heladas (número medio de días con heladas, fechas medias de primera última helada, entre otros) deben ser estudiados en el contexto de cambio climático (Xia *et al.*, 2013; Charalampopoulos *et al.*, 2022). La evolución futura de los índices bioclimáticos de heladas se estudia a través de las proyecciones de los modelos climáticos previamente validados en la región de estudio. En el oeste de la región pampeana (ORP) se encontró que los modelos CNRM (National Centre for Meteorological Research, Francia) y CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research, Australia) del “Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)” son los que mejor describen el régimen meteorológico de heladas (Mendez *et al.*, 2025). Considerando estos antecedentes es que, el objetivo del presente trabajo es, analizar la evolución futura de distintos índices bioclimáticos de heladas en el oeste de la región pampeana Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo se utilizaron los registros de temperaturas mínimas diarias de los modelos CNRM y CSIRO del “Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)” y de la estación agrometeorológica “Ing. Agr. Juan Carlos Lasalle” ubicada en la Facultad de Agronomía de la UNLPam (36°37'S, 64°17'O y 165 msnm) (Figura 1). En esta área fue previamente evaluada la habilidad de los modelos para simular el régimen meteorológico de heladas pasado (Mendez *et al.*, 2025). Las simulaciones de los modelos fueron extraídas de la publicación de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2014), de la Base de Datos Climáticos de la 3CN (Tercera Comunicación Nacional, http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3c_inicio.php). Para estos modelos se descargaron las proyecciones en el futuro cercano (2015-2039) y en el futuro lejano (2075-2100) para el escenario de emisiones moderadas (RCP4.5). A partir de los registros de temperaturas mínimas (observados y simulados) se determinaron los siguientes índices bioclimáticos de heladas: 1- fechas medias de primera y última helada (FMPH y FMUH) y sus respectivos desvíos, 2- fecha extrema de primera y última helada (FEPH y FEUH), 3- periodo medio libre de heladas (PMLH) 4- periodo mínimo y máximo libre de heladas (PMinLH y PMaxLH) y 5- número medio de heladas al año (NMHA) y su desvío. Los valores medios se compararon a través de ANOVA y prueba de diferencia de medias LSD (Least significant difference), y las tendencias de los índices bioclimáticos se evaluaron a través de regresiones lineales simples utilizando el programa INFOTAT.



Figura 1. Ubicación de la estación agrometeorológica Ing. Agr. Juan Carlos Lasalle, Santa Rosa, La Pampa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el escenario de emisiones moderadas (RCP4.5) los modelos CNRM y CSIRO no mostraron tendencia al adelantamiento o retraso en las fechas media de primera y última helada (FMPH y FMUH) tanto en el futuro cercano (2015-2039) como en el futuro lejano (2075-2100) (Figura 2). La FMPH simulada por los modelos CNRM y CSIRO para el futuro cercano y lejano no se diferenciaron de la FMPH observada y simulada por cada modelo en el periodo 1977-2010 (Tabla 1). La FMUH simulada por los modelos CNRM y CSIRO en el futuro cercano no se diferenciaron de la FMUH observada y simulada por cada modelo en el periodo 1977-2010. Sin embargo, las proyecciones de ambos modelos muestran un adelantamiento significativo de la FMUH en el futuro lejano respecto de la FMUH observada y simulada en el periodo 1977-2010 (Tabla 1). Si bien, la variabilidad (desvío estándar) de las FMPH y FMUH no se pueden comparar estadísticamente, no se observa un aumento o disminución marcada y consistente en la variabilidad proyectada por cada modelo en el futuro cercano y lejano respecto de la variabilidad simulada por cada modelo para el periodo 1977-2010 (Tabla 1). El modelo CNRM proyecta un aumento del periodo medio libre de heladas (PMLH) de 15 y 22 días en el futuro cercano y lejano respectivamente respecto del periodo 1977-2010. Por su parte, el modelo CSIRO proyecta un aumento del PMLH de 12 y 30 días en el futuro cercano y lejano respectivamente respecto del periodo 1977-2010. Los dos modelos utilizados proyectan una reducción en el número medio de heladas al año (NMHA), tanto en el futuro cercano como en el futuro lejano. Estas reducciones en el NMHA fueron proyectadas por el modelo CNRM en 6 y 11 días con heladas para el futuro cercano y lejano respectivamente; y el modelo

CSIRO proyecto reducciones de 5 y 14 días. Ambos modelos proyectan para el futuro lejano una reducción en la variabilidad (desvío estándar) en el NMHA.

Tabla 1. Índices de heladas proyectados en el escenario de emisiones moderadas (4.5) en el futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099) por los modelos CSIRO y CNRM.

	Período 1977-2010			Período 2015-2039		Período 2075 -2099	
	Observados	CNRM	CSIRO	CNRM 4,5	CSIRO 4,5	CNRM 4,5	CSIRO 4,5
<i>Primera helada</i>							
Fecha media	01-may a A	26-abr a	27-abr A	06-may a	06-may A	04-may a	06-may A
Desvío estándar	21	26	22	19	25	24	21
Fecha extrema	15-mar	27-feb	4-mar	05-abr	17-mar	31-mar	24-mar
<i>Última helada</i>							
Fecha media	26-sep a A	20-sep a	26-sep A	15-sep ab	22-sep A	06-sep b	04-sep B
Desvío estándar	20	19	16	24	18	18	13
Fecha extrema	14-nov	23-oct	05-nov	31-oct	27-oct	01-oct	30-sep
<i>Periodo libre de heladas</i>							
Medio	218 a A	218 a	214 A	233 ab	226 A	240 b	244 b
Máximo	282	291	258	314	285	309	302
Mínimo	165	152	144	163	174	203	195
Nº medio heladas año ⁻¹	40 a A	30 b	27 B	24 c	22 C	19 c	13 D
Desvío Nº medio heladas año ⁻¹	13	12	8	11	6	7	5

Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas $p < 0,05$ (LSD). Letras minúsculas (mayúsculas) corresponde al análisis estadístico entre los índices bioclimáticos observados y los simulados por el modelo CNRM (CSIRO) en diferentes periodos

CONCLUSIONES

Las proyecciones de los modelos CNRM y CSIRO (validados para el oeste de la región pampeana) muestran que no se espera un cambio en la fecha media de primera helada y de su variabilidad en el escenario de emisiones intermedias (RCP4.5), tanto en el futuro cercano como en el futuro lejano. Estos mismos modelos y para el mismo escenario proyectan un adelantamiento en la FMUH. El adelantamiento es mayor en el futuro lejano que en futuro cercano. También se espera un alargamiento en el periodo libre de heladas, que será mayor en el futuro lejano. Ambos modelos proyectan una reducción en el número medio de días con heladas, que será mayor en la medida que vamos desde el futuro cercano al futuro lejano. Este estudio es uno de los primeros en evaluar el impacto del cambio climático sobre los principales índices bioclimáticos de heladas en el ORP y la Argentina. Los resultados de este estudio deben ser confirmados con las proyecciones CMPI6 (previamente validados) para esta y otras regiones de la Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Facultad de Agronomía de la UNLPam e Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP).

REFERENCIAS

- Charalampopoulos, I.; Droulia, F. 2022. Frost conditions due to climate change in south-eastern Europe via a high-spatiotemporal-resolution dataset. *Atmosphere* 13:1407.
- Méndez, M.; Casagrande, G.; Vergara, G. 2025. Habilidad de los modelos climáticos para simular las heladas meteorológicas ocurridas en Santa Rosa La Pampa, Argentina. *Semiárida* 35(2):79-87.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2014. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. "Cambio Climático en Argentina, Tendencias y Proyecciones" (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). Buenos Aires, Argentina. http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3c_inicio.php
- Papagiannaki, K.; Lagouvardos, K.; Kotroni, V.; Papagiannakis, G. 2014. Agricultural Losses Related to Frost Events: Use of the 850 hPa level temperature as an explanatory variable of the damage cost. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14:2375–2386.
- Xia, J.; Yan, Z.; Wu, P. 2013. Multidecadal variability in local growing season during 1901–2009. *Climate Dynamics* 41:295–305.

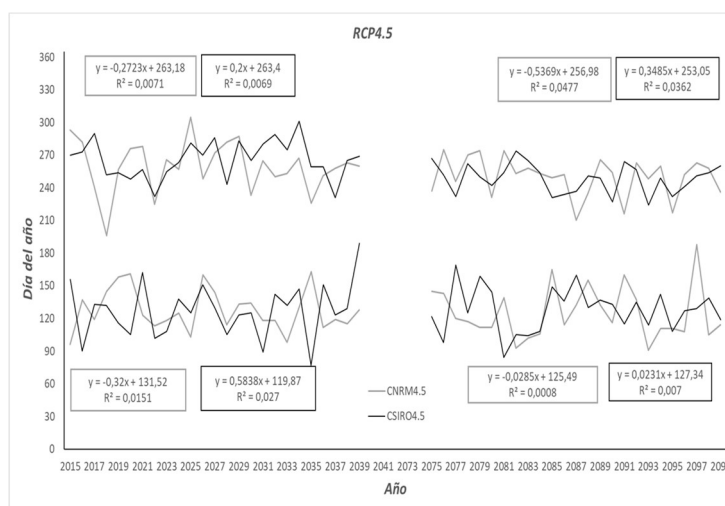


Figura 2. Fechas de primera helada de otoño y última helada de primavera en el futuro cercano (2015-2039) y lejano (2075-2099) en el escenario de emisiones moderadas (RCP 4.5). *tendencia altamente significativa $p < 0,05$. Ninguna serie mostro tendencia significativa, por lo cual en la gráfica no se muestra ninguna línea de tendencia.

IMPACTO DE LOS EXTREMOS COMPUESTOS EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ PARA LAS DISTINTAS FASES DEL ENSO

Pántano*, V.C.^{1,2}; Iacovone, M.F.^{1,2}; Penalba, O.C.^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas, Godoy Cruz 2290, CABA, C1425FQB, Argentina

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - UBA, Intendente Güiraldes 2160, CABA, C1428EGA, Argentina

*Contacto: vanesapantano@gmail.com

Palabras clave: días húmedos; TX90p; Junín

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han logrado grandes avances en el área de la predicción estacional y subestacional (Meehl *et al.*, 2021), contribuyendo a la toma de decisiones en una escala temporal adecuada para la actividad agrícola, en particular, de la producción de maíz. Sin embargo, la predicción de eventos extremos sigue resultando un desafío pendiente que presenta una mayor complejidad por la singularidad de su ocurrencia y la baja cantidad de casos de estudio. Adicionalmente, en los últimos años se ha dado mayor atención a la ocurrencia de eventos extremos compuestos debido a que amplifican el impacto en la producción (Miralles *et al.*, 2019). En particular, debido a la fuerte interacción suelo-atmósfera, las altas temperaturas favorecen una mayor demanda evaporativa que, junto con bajas precipitaciones, pueden resultar en una disminución del rendimiento del maíz debido al estrés térmico-hídrico.

Estas variables están moduladas a escala interanual principalmente por El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). El ENSO presenta una señal clara en el noreste de Argentina, mientras que en la zona núcleo de producción del maíz presenta mayor variabilidad. Esto representa una limitación para la toma de decisiones. A su vez, la influencia de este forzante, muy estudiada a escala estacional, presenta un cambio de señal entre diciembre y enero que ha sido indicado por algunos autores (Grimm *et al.*, 2007; Pántano *et al.*, 2022), pero poco abordado en términos de eventos extremos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar la ocurrencia de extremos compuestos de baja precipitación y altas temperaturas máximas, bajo distintas fases del ENSO, y su impacto en el rendimiento del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron datos de temperatura y precipitación horaria del reanálisis ERA5 – ECMWF (Hersbach *et al.*, 2020) para el período 1980-2023 en la región del Sudeste de Sudamérica (SESA); datos de rendimiento de maíz de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (<https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/>) para el mismo período y el índice *Relative Oceanic Niño Index* (RONI) del *Climate Prediction Center* (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso/roni/).

A partir de los datos de reanálisis se calcularon los índices que se detallan en la Tabla 1: TX90p, PP y WD. Para cada uno de ellos se estimaron los percentiles 33,33 y 66,66 para clasificar la serie por terciles. Seguidamente se filtró la tendencia lineal a los valores de rendimiento a fin de facilitar el análisis de las anomalías.

A modo de ejemplo, en este resumen se muestran los resultados correspondientes al departamento de Junín de la Provincia de Buenos Aires, para el mes de enero. El departamento se eligió considerando que está ubicado en la zona núcleo productiva del cultivo de maíz mientras que el mes de enero fue analizado a fin de profundizar en la posibilidad de un cambio de señal con respecto a los resultados conocidos para el trimestre de verano.

Se consideraron los extremos compuestos como aquellos en los que los valores de WD y PP se ubicaron en el primer tercil y TX90p en el tercer tercil. Para el índice RONI se identificaron los años de fase El Niño o La Niña severos, como aquellos en los que el índice supera 1 desvío estándar, siguiendo a Santoso *et al.* (2017).

Tabla 1. Índices utilizados, definición y unidades.

Índice	Definición	Unidades
TX90P	Porcentaje de días del mes en los que la temperatura máxima diaria supera el percentil 90	%
PP	Precipitación acumulada del mes	mm
WD	Cantidad de días húmedos (precipitación diaria >1mm) en el mes	días
Rendimiento	Rendimiento del maíz en el departamento de Junín	kg ha ⁻¹
RONI	Relative Oceanic Niño Index: Promedio móvil de 3 meses de las anomalías de temperatura de superficie del mar en la región Niño 3.4 (5°N–5°S, 120°–170°W) al que se le sustrae el promedio global de la TSM tropical (20°N–20°S)	°C

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran cada una de las series analizadas y se indican los años en los que se identificaron extremos compuestos. Es interesante observar que todos ellos corresponden a fase La Niña, pero no todos categorizan como un evento La Niña severo. En todos los casos se observa una disminución en el rendimiento, entre los que se destaca el impacto del extremo compuesto del año 2023. Se comparan también la serie de precipitación de enero con el mes anterior a fin de identificar si hay algún cambio de señal relevante. Sin embargo, las dos series presentan cierta coherencia en los casos analizados. Vale la pena destacar, también, que en años de El Niño extremo tanto PP, WD como TX90p presentan gran

variabilidad prevaleciendo valores bajos. Este comportamiento confirma los resultados de trabajos previos en los que se destaca que la mayor precipitación observada a escala trimestral en los composites de años El Niño no necesariamente se observa en eventos individuales, a escala mensual (especialmente en enero) y, particularmente, en todos los sectores del SESA.

Para los 5 eventos seleccionados en el análisis anterior, se presentan los campos de anomalías de precipitación y TX90p para el mes de enero (Figura 2). En cuanto a TX90p, se destaca la recurrencia de días cálidos en los años 1989 y 2012 en la Provincia de Buenos Aires y la extensión de la región afectada en 2023, sobre todo con altos valores en el noreste del país. Las anomalías de PP presentan, en general, un comportamiento bimodal, con valores negativos hacia el sur y positivos hacia el noreste, variando las regiones para cada caso.

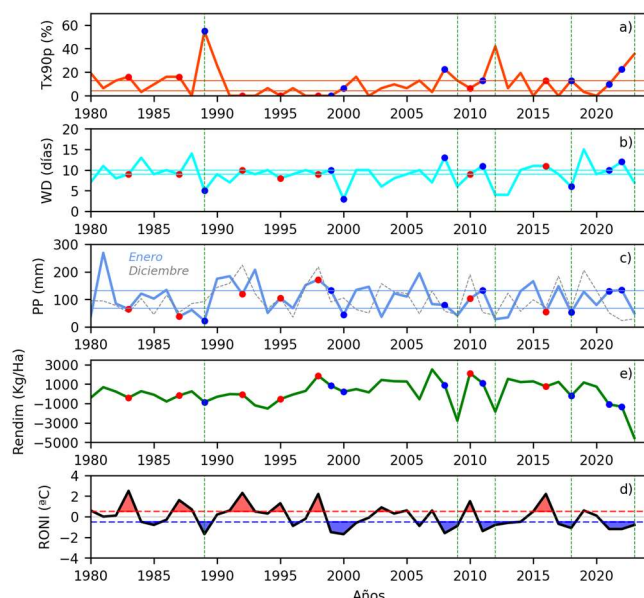


Figura 1. Series de: a) TX90p, %; b) WD, días; c) PP, mm; d) Rendimiento, kg ha⁻¹ y e) RONI, °C; para el mes de enero en Junín (Provincia de Buenos Aires), período 1980-2023. En puntos se indican los eventos de El Niño severo (rojo) y La Niña severa (azul). En líneas verticales se identifican los casos de extremo compuesto.

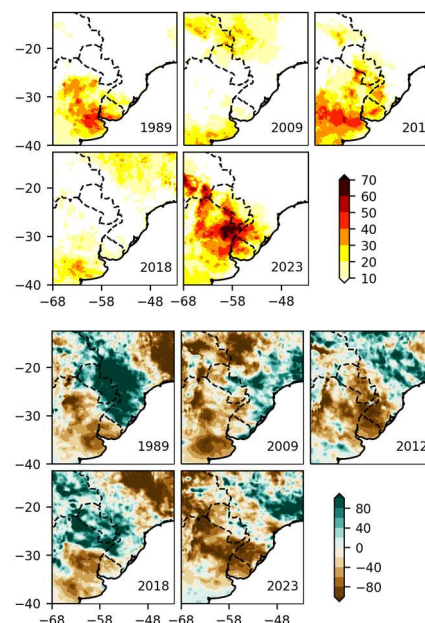


Figura 2. TX90p, °C (arriba) y anomalía de PP, mm (abajo) para el mes de enero en los años de ocurrencia de eventos compuestos identificados para Junín.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra que los extremos compuestos de altas temperaturas máximas y bajas precipitaciones y días húmedos se asocian a disminuciones en el rendimiento del maíz en Junín, destacándose el impacto del año 2023. Para la predicción y toma de decisiones, es importante tener en cuenta que todos ellos ocurrieron durante eventos La Niña, si bien no todos categorizaron como ENSO severo. Por el contrario, durante los eventos El Niño severo, tanto las variables meteorológicas analizadas como la respuesta en el rendimiento presentan gran variabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de los proyectos UBACyT 20920250100437BA y UNLP I+D SG003.

REFERENCIAS

- Grimm, A.M.; Pal, J.S.; Giorgi, F. 2007. Connection between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in South America: role of soil moisture, surface temperature, and topography in eastern Brazil. *Journal of Climate* 20:5929–5945.
- Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P.; Dahlgren, P.; Horányi, A.; Muñoz-Sabater, J.; Nicolas, J.; Radu, R.; Schepers, D.; Simmons, A.; Soci, C.; Dee, D.; Thépaut, J.-N. 2020. The ERA5 Global Reanalysis: achieving a detailed record of the climate and weather for the past 70 years. In: EGU General Assembly 2020, Online, 2020, EGU2020-10375. doi.org
- Meehl, G.A.; Richter, J.H.; Teng, H.; Capotondi, A.; Cobb, K.; Doblas-Reyes, F.; *et al.* 2021. Initialized Earth System prediction from subseasonal to decadal timescales. *Nature Reviews Earth and Environment* 2(5):340–357.
- Miralles, D.G.; Gentile, P.; Seneviratne, S.; Teuling, A.J. 2019. Land-atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1436: 19–35.
- Pántano, V.C.; Holzman, M.E.; Penalba, O.C.; Rivas, R. 2022. ENSO signal on subseasonal precipitation distribution and soil moisture response in the Argentine Pampas. *Pure and Applied Geophysics* 179(2):879–896.
- Santoso, A.; McPhaden, M.J.; Cai, W. 2017. The defining characteristics of ENSO extremes and the strong 2015/2016 El Niño. *Reviews of Geophysics* 55(4):1079–1129.

CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS EN LA PLATA MEDIANTE CURVAS MAGNITUD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Pinto*, L.¹; Sanchez, S.I.^{1,2,3}; Vahnovan, V.¹

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, B1900, Argentina

² Grupo de Investigación en Clima, Variabilidad y Extremos (CLAVE), UNLP, La Plata, B1900, Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1425, Argentina

*Contacto: lpinto@fcaglp.unlp.edu.ar

Palabras clave: SPEI; período de retorno

INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los fenómenos climáticos más complejos, con impactos directos sobre la sociedad y el ambiente (Wilhite, 1993). Se caracteriza por períodos prolongados de condiciones anormalmente secas que generan desequilibrios hidrológicos significativos y representan una de las mayores amenazas económicas a escala global (OMM, 1992). Debido a su complejidad, no existe una metodología única para su cuantificación (Keyantash y Dracup, 2002). Entre los distintos índices desarrollados, el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI; Vicente-Serrano *et al.*, 2010) ha demostrado ser uno de los más adecuados para aplicaciones ecológicas, hidrológicas y agrícolas (Vicente-Serrano *et al.*, 2012). En las últimas décadas, el cambio climático ha incrementado la frecuencia de eventos extremos; sin embargo, aún persisten incertidumbres sobre las variaciones en la recurrencia e intensidad de las sequías (Alencar y Paton, 2025). En este contexto, el presente trabajo analiza el índice SPEI3 en la ciudad de La Plata, a partir de datos de la estación La Plata AERO, y evalúa los cambios en la relación Magnitud-Duración-Frecuencia (MDF).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se basó en registros diarios de temperatura mínima, máxima y precipitación correspondientes a la estación La Plata AERO, provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se evaluó la completitud de las series temporales y se excluyeron aquellos meses que presentaban más del 10 % de datos faltantes. Luego, se construyeron series mensuales de temperatura media y precipitación acumulada para el período 1962-2025. Siguiendo la metodología propuesta por Alencar y Patón (2025), el inicio de un evento de sequía se definió cuando el SPEI3 alcanzó valores menores o iguales a -1. Una vez iniciado el evento, este se caracterizó mediante la duración (D), definida como el número total de meses posteriores al inicio en los que el índice permaneció con valores negativos, y la magnitud (M), calculada como la suma absoluta de los valores de SPEI durante dicho período. Para determinar el final de los eventos se consideró una fase de recuperación de un mes. El análisis de frecuencia se realizó en un marco bivariado aplicando el Principio de Máxima Entropía para la estimación de las distribuciones marginales y de la cópula, evitando así la selección arbitraria de familias teóricas. Se construyó la cópula canónica de máxima entropía y se calculó el período de retorno bivariado mediante el paquete *cedaR* y se construyeron las curvas de Magnitud-Duración-Frecuencia (MDF; Alencar y Paton, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La serie mensual del SPEI3 para la estación La Plata mostró una marcada variabilidad interanual a lo largo del período 1962–2025. Se identificaron 38 eventos de sequía, donde se destacaron episodios secos intensos a fines de la década de 1960, comienzos de la década de 1980, finales de la década de 2000 y entre 2022-2023. En estos períodos se registraron valores de SPEI3 inferiores a -1, umbral asociado a sequías moderadas, e incluso eventos extremos con valores cercanos o inferiores a -2. El episodio más severo se observó en el episodio que inició en 2021, cuando el índice llegó a alcanzar valores próximos a -4.

La Figura 1 presenta las curvas MDF, donde las líneas de contorno representan períodos de retorno asociados a distintas combinaciones de duración y magnitud, mientras que los puntos corresponden a los eventos de sequía observados. La mayoría de los eventos observados presentó duraciones menores a 10 meses y períodos de retorno inferiores a 10 años. Sin embargo, se identificaron eventos extremos con recurrencias mayores a 20 años, destacándose la sequía de 2021, con una duración cercana a 30 meses, magnitud superior a 35 y un período de retorno estimado de aproximadamente 224 años. Los eventos de 1973 y 2008 también evidenciaron valores altos de magnitud y duración, con períodos de retorno superiores a 20 años. En general, se observó un incremento del período de retorno en función del aumento conjunto de la duración y magnitud de los eventos de sequía.

La identificación del episodio iniciado en 2021 como el más severo del período analizado, con un período de retorno estimado en 224 años, coincide con lo documentado por Rivera (2024), quien caracterizó la sequía hidrológica 2019–2022 en la Cuenca del Plata como sin precedentes en los últimos 50 años en términos de severidad y duración, asociándose a un episodio inusualmente prolongado de La Niña. El evento de 2008, que en el presente trabajo exhibió un período de retorno superior a 26 años, es consistente con lo documentado en la región, donde Scarpati y Capriolo (2013) lo caracterizaron como uno de los episodios más severos de su período de estudio, en tanto que D'Ambrosio *et al.* (2013) registraron su elevada severidad en el oeste de la Región Pampeana mediante el Índice Estandarizado de Precipitación, reportando caídas en los rendimientos agrícolas de entre 25 y 65 % respecto a años anteriores.

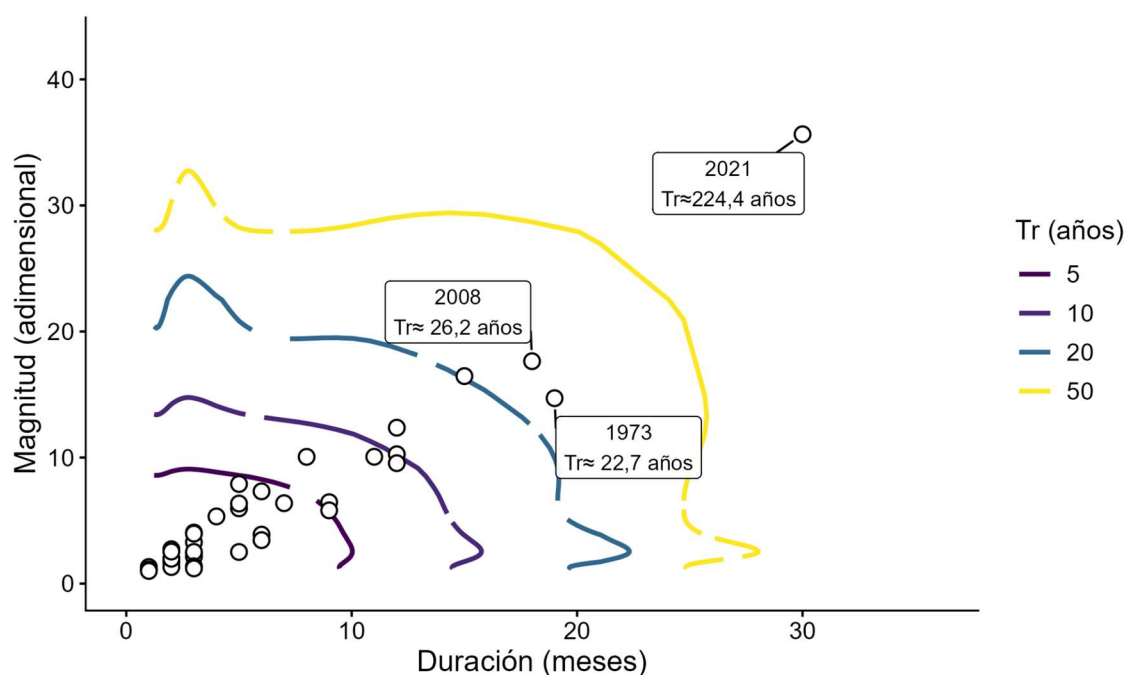


Figura 1. Curvas magnitud-duración-frecuencia (MDF) de eventos de sequía para la estación La Plata AERO durante el período 1962–2025. Las líneas de contorno representan períodos de retorno (Tr , años) asociados a distintas combinaciones de duración y magnitud de los eventos de sequía identificados a partir del índice SPEI3. Los círculos indican eventos observados.

CONCLUSIONES

El análisis mediante SPEI3 permitió identificar 38 eventos de sequía, destacándose los episodios registrados en 1973, 2008 y particularmente en 2021, cuando el evento alcanzó un índice de -4. Aplicando el enfoque magnitud-duración-frecuencia (MDF) se caracterizó probabilísticamente los eventos de sequía y se estimó sus períodos de retorno conjuntos. Los resultados mostraron que la mayoría de los eventos presentaron recurrencias relativamente frecuentes, con duraciones cortas y períodos de retorno inferiores a 10 años. Sin embargo, se identificaron eventos excepcionales, entre los cuales se destacó la sequía de 2021 con un período de retorno estimado de aproximadamente 224 años. Asimismo, se observó un incremento del período de retorno en función del aumento conjunto de la duración y magnitud de los eventos de sequía.

REFERENCIAS

- Alencar, P.H.; Paton, E.N. 2025. Which droughts are becoming more frequent? A copula entropy analysis on the return period of droughts in Europe. *Natural Hazards* 121(1):543-565.
- D'Ambrosio, G.T.; Bohn, V.; Piccolo, M. 2013. Evaluación de la sequía 2008-2009 en el oeste de la Región Pampeana. *Cuadernos Geográficos* 52:29-45.
- Keyantash, J.; Dracup, J.A. 2002. The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83(8):1167-1180.
- Mishra, A.K.; Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391(1-2):202-216.
- OMM-Organización Meteorológica Mundial. 1992. *International Glossary of Hydrology*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 413 p.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). *Journal of Climate* 23(7):1696-1718.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; Lorenzo-Lacruz, J.; Camarero, J.J.; López-Moreno, J.I.; Azorin-Molina, C.; Revuelto, J.; Morán-Tejeda, E.; Sanchez-Lorenzo, A. 2012. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions* 16(10):1-27.
- Scarpati, O.E.; Capriolo, A.D. 2013. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones geográficas* (82):38-51.
- Rivera, J.A. 2024. Characterization of the recent (2019–2022) La Plata Basin hydrological drought from a centennial-scale perspective. *HydroResearch* 7:140-153.
- Wilhite, D.A. 1993. *Drought assessment, management, and planning: Theory and case studies*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 293 p.
- Wilhite, D.A. 2000. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. En: Wilhite, D.A. (Ed.). *Drought: A Global Assessment*. Routledge, London, pp. 3-18.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL Y ESTACIONAL EN EL DEPARTAMENTO RÍO CUARTO: ANÁLISIS COMPARATIVO EN TRES LOCALIDADES

Rivarola*, A.¹; Ledesma, M.^{1,2}; Accastello, N.¹; Paton, L.¹; Palermo, J.¹; Llames, A.¹

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Ruta Nacional 36 Km 601, Río Cuarto, CP5800, Argentina

² Instituto de Ciencias Veterinarias (INCIVET)-CONICET-UNRC, Argentina

*Contacto: arivarola@ayv.unrc.edu.ar

Palabras clave: precipitaciones; temperaturas; test de Mann-Kendall

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de los Sistemas Socio-Ecológicos agropecuarios depende intrínsecamente de su capacidad de resiliencia frente a perturbaciones externas. Bajo el actual escenario de cambio global, las fluctuaciones en las precipitaciones y la temperatura emergen como los principales disturbios climáticos capaces de alterar la dinámica y estructura de estos sistemas. Para diseñar estrategias de gestión adaptativa eficaces, se vuelve fundamental caracterizar y comprender las fuerzas desestabilizadoras del sistema, con especial énfasis en los cambios de tendencia, frecuencia, intensidad u oscilaciones de las variables termo-pluviométricas (Resilience Alliance, 2010). El objetivo de este trabajo es evidenciar los cambios de comportamiento de la precipitación y la temperatura en el departamento Río Cuarto (Córdoba, Argentina) durante los últimos 30 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se localizó en el departamento Río Cuarto. Se utilizaron registros diarios de precipitación y temperatura provenientes de tres estaciones meteorológicas con diferentes horizontes temporales: estación Río Cuarto (33° 5' S; 64° 16' O) (SMN) período 1991-2020; estación Campo Experimental "Pozo del Carril-La Aguada" (32° 58' S; 64° 39' O) y "Las Guindas" (32° 35' 37" S; 64° 42' O) (UNRC), período 2000-2025. Los datos fueron procesados a valores mensuales y luego se analizaron series mensuales y estacionales de precipitación y temperatura. La lluvia estacional se definió como la del total del trimestre del año, a partir del mes de comienzo de la respectiva estación. El valor anual fue la acumulación resultante para el año calendario. En el caso de las temperaturas estacionales se utilizaron valores térmicos promedios para el trimestre considerado. Para la detección de tendencias climáticas y la identificación de cambios graduales o abruptos en las series temporales, se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall (MK). La magnitud de dichos cambios y la tasa de variación temporal se estimaron mediante la pendiente de Sen (Sneyers, 1990). El procesamiento estadístico y la modelación de las series se ejecutaron mediante los lenguajes R (v. 4.3) y Python (v. 3.11), empleando las librerías especializadas para análisis de series temporales, *pymannkendall* en Python (Hussain y Mahmud, 2019) y el paquete *trend/Kendall* en R (Pohlert, 2023), utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ para todas las pruebas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del test MK en las tres localidades analizadas, indican en el caso de Río Cuarto un incremento estadísticamente significativo de la temperatura media en verano (pendiente = 0,044 °C año⁻¹; p = 0,0007) y primavera (pendiente = 0,042 °C año⁻¹; p = 0,04). Esto representa un calentamiento acumulado alrededor de 1,3 y 1,2 °C, respectivamente a lo largo del período de estudio (Figura 1). En contraste, el análisis pluviométrico evidencia una tendencia anual decreciente, aunque no estadísticamente significativa. Sin embargo, al desagregar por estaciones, se identificó una disminución significativa de la precipitación durante el invierno (pendiente = -1,45 mm año⁻¹; p = 0,0008), siendo esta la tendencia negativa más robusta, seguida por la primavera (pendiente = -1,33 mm año⁻¹; p = 0,54) y el otoño (pendiente = -1,4 mm año⁻¹; p = 0,39) (Figura 2).

En la estación Las Guindas las precipitaciones demostraron una marcada tendencia lineal decreciente a escala anual (pendiente = -16,16 mm año⁻¹; R² = 0,17). En el análisis estacional se determinó que esta disminución pluviométrica se concentra severamente durante las estaciones de recarga del perfil hídrico: el otoño, con una fuerte tendencia decreciente (pendiente = -11,33 mm año⁻¹; p = 0,0011), y el invierno (pendiente = -1,38 mm año⁻¹; p = 0,017). Las estaciones de verano y primavera no arrojaron variaciones estadísticas robustas. En cuanto a los valores térmicos se registró la tasa de calentamiento medio anual más elevada de toda la red de estudio (pendiente = 0,09 °C año⁻¹; R² = 0,22). A nivel estacional, el incremento térmico estadísticamente significativo se restringió al verano (pendiente = 0,05 °C año⁻¹; p = 0,04), manteniendo valores positivos, pero no significativos en el resto de los trimestres.

La estación de La Aguada, en contraposición al patrón general de la región, exhibió una tendencia anual levemente positiva en las precipitaciones (pendiente = 6,03 mm año⁻¹). No obstante, el bajo coeficiente de determinación obtenido (R² ≈ 0,07) denota una marcada variabilidad interanual y una falta de robustez en la señal climática a largo plazo. En el plano estacional, no se identificaron tendencias significativas en ningún período del año, sugiriendo una relativa estabilidad temporal en la oferta hídrica local durante el último cuarto de siglo. En cuanto a la temperatura media hay una clara persistencia de una tendencia anual creciente significativa (pendiente = 0,05 °C año⁻¹; R² ≈ 0,32). Estacionalmente, se evidenció aumentos térmicos en las épocas de mayor actividad biológica: verano (pendiente = 0,03 °C año⁻¹; p = 0,01) y primavera (pendiente = 0,042 °C año⁻¹; p = 0,015).

La tendencia climática registrada en las últimas tres décadas en el departamento Río Cuarto guarda una estrecha concordancia con las evidencias reportadas por el IPCC (2021) y por Arias *et al.* (2024) para el sur de América del Sur (SSA). Dichos reportes señalan, con un elevado nivel de confianza, un incremento sostenido de las temperaturas medias y de los extremos cálidos, con proyecciones de calentamiento acentuado para el siglo XXI, particularmente en las estaciones estivales y mediante una mayor frecuencia e intensidad de olas de calor. Asimismo, la literatura advierte sobre aumentos en los índices de días secos consecutivos y un mayor riesgo de sequías agrícolas en SSA. Estos patrones termo-pluviométricos convalidan la señal observada a escala local, evidenciando que la dinámica del departamento Río Cuarto responde de manera coherente a las tendencias climáticas macro-regionales y continentales.

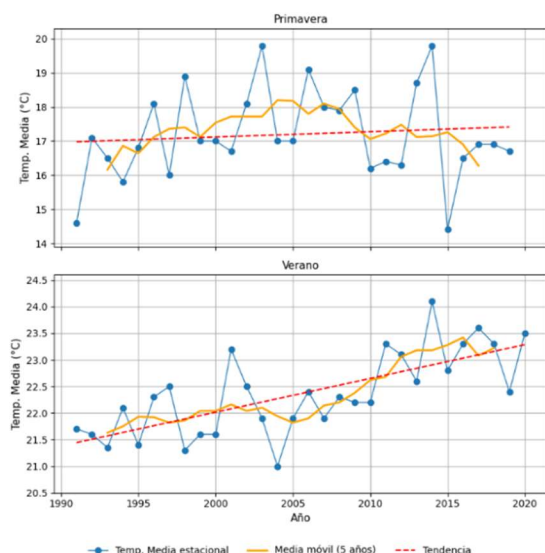


Figura 1. Tendencias de la temperatura media en primavera y verano en Río Cuarto, Serie 1991-2020.

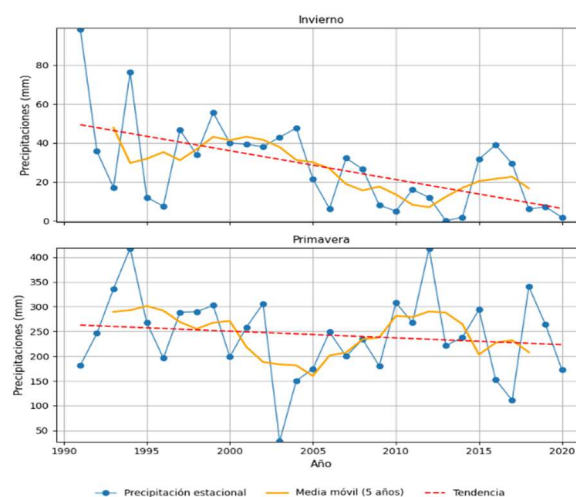


Figura 2. Tendencias de las precipitaciones invernales y primaverales en Río Cuarto, Serie 1991-2020.

CONCLUSIONES

La integración de estos resultados revela un proceso de acoplamiento adverso entre la oferta y la demanda hídrica en los SSE de la región. Mientras que en Río Cuarto y Las Guindas se constata una disminución de las precipitaciones en períodos clave para la recarga de los perfiles de suelo (otoño e invierno), el aumento generalizado de las temperaturas medias durante la primavera y el verano acelera de manera directa la demanda evaporativa de la atmósfera en toda la región. Si bien en La Aguada las lluvias no muestran cambios significativos, el incremento de las temperaturas estivales altera el balance hídrico neto. Este escenario de forzamiento climático incrementa de forma sistemática la probabilidad de ocurrencia y la severidad de sequías agrícolas, limitando la ventana de crecimiento y comprometiendo de manera directa la resiliencia productiva en la zona de estudio. Estos hallazgos señalan la urgencia de incorporar estas tendencias en la planificación estratégica y el manejo del riesgo agropecuario para fortalecer la adaptación del sector.

REFERENCIAS

- Arias, P.; Rivera, J.A.; Sörensson, A.; Zachariah, M. 2024. Interplay between climate change and climate variability: the 2019–2023 drought in Central South America. *Climatic Change* 177:6.
- Hussain, M.M.; Mahmud, I. 2011. PyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software* 4(39):1556.
- IPCC. 2021. Resumen para responsables de políticas. En: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S.L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M.I.; Huang, M.; Leitzell, K.; Lonnoy, E.; Matthews, J.B.R.; Maycock, T.K.; Waterfield, T.; Yelekçi, O.; Yu, R.; Zhou, B. (Eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Pohlert, T. 2023. Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection (R package version 1.1.6). <https://CRAN.R-project.org/package=trend>
- Resilience Alliance. 2010. Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners (Version 2.0). Resilience Alliance. <https://www.resalliance.org/resilience-assessment>, Consultado 12/09/2026.
- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observations (Technical Note No. 143, WMO-No. 415). World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza. 192 p.

INCREMENTO DE TEMPERATURAS EN LAS ÚLTIMAS 5 DÉCADAS EN EL VALLE DE LERMA (PROVINCIA DE SALTA)

Rodríguez Diana*, G.¹; Cravero*, S.A.C.¹; Curti, R.N.¹

¹ Universidad Nacional de Salta. Avenida Bolivia 5150, Salta, 4.400, Argentina

*Contacto: gabrielaale92@gmail.com; saccravero@gmail.com

Palabras clave: cambio climático; tendencia de temperatura; RClimDex

INTRODUCCIÓN

El aumento de la temperatura global constituye una de las principales manifestaciones del cambio climático, reflejado tanto en el incremento de los valores medios como en la intensificación de los extremos térmicos. En este marco, el análisis de tendencias y de índices climáticos de temperatura permite detectar y cuantificar cambios en el comportamiento de las variables meteorológicas a lo largo del tiempo, aportando información relevante sobre la dinámica del calentamiento a escala regional (Ruíz *et al.*, 2016). En el Noroeste Argentino (NOA), diversos estudios mostraron una tendencia hacia condiciones más cálidas, caracterizada por un aumento en las temperaturas mínimas y una mayor frecuencia de eventos cálidos extremos, en concordancia con los escenarios proyectados para la región (CMNUCC, 2015). El presente trabajo tiene como objetivo analizar las tendencias y los índices térmicos calculados a partir de registros diarios (1969–2025) correspondientes a dos estaciones meteorológicas ubicadas en el Valle de Lerma, provincia de Salta, para identificar cambios en las temperaturas que puedan reflejar el efecto del calentamiento global y cambio climático en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se basó en el análisis de series temporales de temperaturas diarias correspondientes a dos estaciones meteorológicas, una ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Cerrillos y la otra perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ambas en el Valle de Lerma, provincia de Salta. La estación de la EEA INTA Cerrillos se localiza en las coordenadas 24°54' S; 65°29' O, a una altitud de 1.250 m, mientras que la estación Salta Aero se localiza en 24°50' S; 65°28' O, a 1.221 m de altitud. Las mismas fueron seleccionadas por contar con series de registros diarios continuos superiores a 30 años, dentro del período 1969-2025. Para el análisis estadístico, se aplicó regresión lineal simple a las series anuales de temperatura media (Tmed), temperatura máxima media (TMm) y temperatura mínima media (Tmm). Los datos se analizaron con el software R (R Core Team, 2025), empleando librerías específicas, entre ellas el test de Mann-Kendall. Asimismo, se calcularon índices de temperatura mediante el paquete RClimDex. Del conjunto de índices climáticos de temperatura, se seleccionaron cinco índices de interés, TR20 (Noches Tropicales), TXx (Tmax absolutas mensuales), TNn (Tmin absolutas mensuales), TN90p (Noches cálidas) y WSDI (Duración de periodos cálidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de tendencia muestran que las series anuales de temperatura media (Tmed), máxima media (TMm) y mínima media (Tmm), presentan tendencias positivas y estadísticamente significativas en ambas estaciones, lo que indica un proceso de calentamiento sostenido durante el período analizado (Tabla 1). Los coeficientes de determinación (R^2) en general fueron bajos, variando entre 0,2 y 0,4, lo que muestra que la tendencia explica entre el 20 % y el 40 % de la variabilidad de las temperaturas, mientras que el resto podría estar asociado a otros factores que influyen en su comportamiento.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de tendencia lineal simple de Tmed, TMm y Tmm (pendiente, error estándar, R^2 y p-valor) para las estaciones EEA INTA Cerrillos y Salta Aero.

Estación	Variable	Pendiente, °C año ⁻¹	Error estándar, °C año ⁻¹	R^2	p-valor
EEA INTA Cerrillos	Tmed	0,018	0,004	0,3	<0,05
	TMm	0,019	0,005	0,2	<0,05
	Tmm	0,017	0,004	0,2	<0,05
Salta Aero	Tmed	0,019	0,003	0,4	<0,05
	TMm	0,017	0,004	0,2	<0,05
	Tmm	0,022	0,003	0,4	<0,05

En términos generales, el comportamiento de Tmed resulta consistente con las tendencias observadas en TMm y Tmm en ambas localidades. En particular, en la estación Salta Aero se observa un mayor aumento de la temperatura mínima media anual (Tmm), lo que muestra un incremento más marcado de las temperaturas nocturnas.

Los índices de temperatura calculados con RClimDex reflejan un aumento sostenido de las condiciones térmicas cálidas en ambas localidades (Tabla 2).

Tabla 2. Índices de temperatura utilizados en el presente estudio con su abreviatura, valor de R², pendiente, error de la pendiente y p-valor para las estaciones EEA INTA Cerrillos y Salta Aero.

Índice	EEA INTA Cerrillos				Salta Aero			
	R ²	Pendiente	Error	p-valor	R ²	Pendiente	Error	p-valor
TR20	14	0,185	0,064	<0,05	17	0,077	0,023	<0,05
TXx	17	0,041	0,012	<0,05	7	0,022	0,011	<0,05
TNn	8	0,029	0,013	<0,05	6	0,025	0,013	<0,05
TN90p	22	0,141	0,036	<0,05	53	0,182	0,023	<0,05
WSDI	11	0,087	0,034	<0,05	12	0,078	0,03	<0,05

El índice TR20 muestra un aumento en la frecuencia de noches tropicales (Tmin diaria >20 °C) en ambas estaciones. En términos acumulados, este incremento equivale a 10 noches tropicales adicionales en Cerrillos y aproximadamente 4 noches tropicales en Salta en el periodo analizado de más de 50 años, lo que confirma un aumento sostenido de las temperaturas mínimas nocturnas. En relación con los extremos térmicos, los índices TXx y TNn presentan tendencias positivas, indicando un incremento tanto en las temperaturas máximas como mínimas absolutas. En Cerrillos, el aumento de TXx supera los 2 °C en las últimas décadas, mientras que en Salta es del orden de 1,2 °C en el mismo periodo. De manera similar, el incremento del índice TNn, indica un aumento en las temperaturas mínimas extremas, con valores mínimos menos rigurosos en ambas localidades. Para Cerrillos aumentó aproximadamente 1,6 °C, mientras para Salta el aumento fue cercano a 1,4 °C en el mismo intervalo de tiempo. Por su parte, el índice TN90p refleja un aumento en la frecuencia de noches cálidas (Tmin diaria >percentil 90) con incrementos acumulados de aproximadamente 7,8 y 10 noches cálidas adicionales en Cerrillos y Salta respectivamente. Finalmente, el índice WSDI indica un aumento en la duración de los periodos cálidos, alcanzando actualmente eventos de hasta 5 días en Cerrillos y 4 días en Salta. Este incremento sugiere una mayor duración de los episodios cálidos extremos.

CONCLUSIONES

Los resultados indican un incremento sostenido de las temperaturas en ambas localidades a lo largo del periodo analizado. La temperatura media anual, así como las temperaturas máximas y mínimas medias anuales y los extremos térmicos mensuales, mostraron una tendencia positiva y significativa, lo que confirma un proceso de calentamiento consistente. En la estación Salta Aero, el aumento de las temperaturas mínimas medias anuales resultó más pronunciado que el de las máximas, lo que refleja un incremento de las temperaturas nocturnas y una reducción de la amplitud térmica anual. Asimismo, el aumento de la frecuencia de noches cálidas y la mayor duración de los periodos de calor extremo muestran una intensificación de los eventos térmicos.

En conjunto, estos resultados son consistentes con las tendencias de calentamiento observadas a escala regional y global, y aportan evidencia local sobre la evolución del cambio climático.

REFERENCIAS

- Ruiz Álvarez, O.; Santillán Soto, N.; Ramírez Muñoz, J.; González Hernández, A. 2016. Tendencia de temperaturas máximas y mínimas mensuales en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:2535–2546.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2015. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Buenos Aires, Argentina.
- R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria.

ANÁLISIS DE LAS OLAS DE CALOR REGISTRADAS EN EL ÚLTIMO MEDIO SIGLO EN DOS LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE SALTA

Rodríguez Diana*, G.¹; Cravero*, S.A.C.¹; Curti, R.N.¹

¹ Universidad Nacional de Salta. Avenida Bolivia 5150, Salta, 4.400, Argentina

*Contacto: gabrielaale92@gmail.com; saccravero@gmail.com

Palabras clave: eventos extremos; temperaturas, cambio climático

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos asociados con anomalías climáticas, denominados eventos extremos, se definen como aquellos que superan los umbrales establecidos para una región específica, determinados a partir de registros climatológicos históricos (SMN, 2024). Entre ellos se incluyen las sequías, las precipitaciones intensas y las olas de calor, que han generado creciente preocupación debido a sus impactos sobre los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos. Si bien estos eventos forman parte de la variabilidad natural del clima, en el contexto del cambio climático actual se prevé un aumento en su frecuencia, intensidad y duración, lo que podría intensificar significativamente sus impactos (IPCC, 2021).

Las olas de calor, según el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se definen como períodos en los cuales las temperaturas máximas y mínimas igualan o superan simultáneamente, durante al menos tres días consecutivos, el percentil 90 calculado a partir de los datos diarios correspondientes al semestre cálido en el hemisferio sur (octubre a marzo) del período 1961-2010. La magnitud de estos eventos está determinada por la intensidad térmica, la duración y la extensión del territorio afectado (Rodríguez Ballesteros, 2014). Además, las olas de calor combinadas con elevadas temperaturas nocturnas pueden afectar el confort térmico y generar impacto sobre la salud y bienestar de la población (Smith Guerra y Henríquez Ruiz, 2021). Estas condiciones, además, pueden potenciar otros efectos adversos, como el aumento del riesgo de incendios forestales y urbanos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la frecuencia y duración de olas de calor a partir de registros diarios (1969–2025) correspondientes a dos localidades en la provincia de Salta, con el fin de evaluar su posible intensificación en las últimas décadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros meteorológicos diarios de temperatura provenientes de dos estaciones meteorológicas ubicadas en el Valle de Lerma, provincia de Salta. Una de ellas está en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA Cerrillos, que se localiza en las coordenadas 24°54' S; 65°29' O, a una altitud de 1.250 m, mientras que la otra es la estación Salta Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) situada en 24°50' S; 65°28' O, a 1.221 m s.n.m. Ambas estaciones fueron seleccionadas por disponer de series de datos diarios continuas superiores a 30 años dentro del período 1969-2025.

La identificación de eventos de olas de calor se realizó utilizando los criterios empleados por el SMN para la detección de estos eventos, adaptados a la disponibilidad de información de cada estación. Esta consiste en el cálculo del percentil 90 de las temperaturas máximas y mínimas diarias a partir de los registros históricos correspondientes al período 1961-2010. Para la estación Salta Aero, se emplearon los umbrales provistos por el SMN, mientras que para la estación EEA INTA Cerrillos, los umbrales debieron ser estimados debido a la ausencia de registros previos a 1969. Posteriormente, se determinó para cada estación el número de eventos registrados y su duración durante el semestre cálido comprendido entre octubre y marzo, por este motivo, los eventos graficados se presentan en bienios.

Los valores del percentil 90 de las temperaturas máximas y mínimas diarias utilizados para identificar los eventos de olas de calor en cada estación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores del percentil 90 (P90) de las temperaturas máximas y mínimas diarias para cada estación.

Estación	Período	P90 Tmax, °C	P90 Tmin, °C
EEA de Cerrillos INTA	1969-2018	31,7	18,6
Salta Aero	1961-2010	31,8	18,2

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la estación Cerrillos se identificaron 24 episodios de olas de calor durante el periodo 1969-2025. Entre 1969 y 2004, la frecuencia de estos eventos fue baja, con varios periodos sin registros. Sin embargo, en las últimas décadas, se observó un incremento sostenido, con frecuencias superiores a dos eventos por año. Los valores máximos se registraron en los periodos 2013-2014 y 2023-2024, con cinco eventos en cada caso. Desde 2019, las olas de calor se presentan como un fenómeno recurrente anual.

El análisis de la duración (número de días) de los eventos (Figura 1), indica que, a partir del periodo 2005-2006, se registran episodios más prolongados. En particular, los periodos 2005-2006, 2013-2014 y el más reciente 2023-2024, se destacan por presentar eventos de mayor duración, lo que refleja un incremento en la duración de estos fenómenos en la última década.

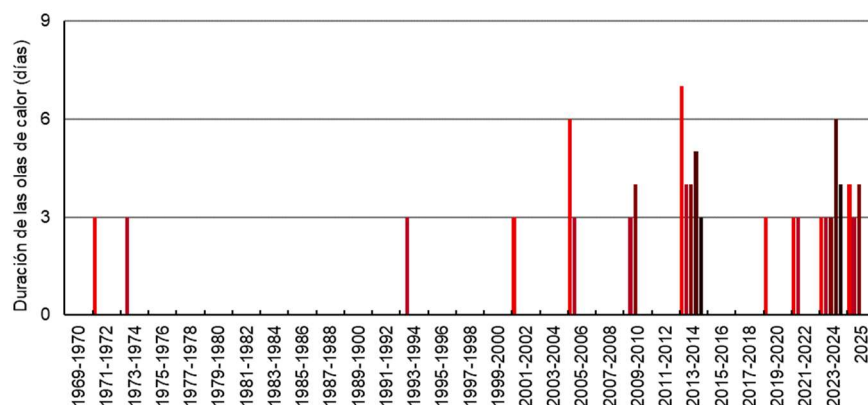


Figura 1. Duración de las olas de calor en la estación EEA INTA Cerrillos (1969-2025).

En la estación Salta Aero se identificaron 12 olas de calor durante el periodo analizado. Entre 1969 y 1996 la frecuencia de estos eventos fue escasa, con varios años sin registros. A partir de 1997 se observó un incremento en la frecuencia; se destacan los periodos 2009-2010, 2013-2014 y 2023-2024 con dos eventos cada uno. En los años más recientes (desde 2019), las olas de calor se presentan de manera prácticamente anual, aunque no se registraron eventos durante 2025. En la Figura 2, se muestra el análisis de la duración de las olas de calor en la estación Salta Aero. El periodo 2013-2014 se destaca por registrar los eventos de mayor duración, con valores de entre 4 y 7 días.

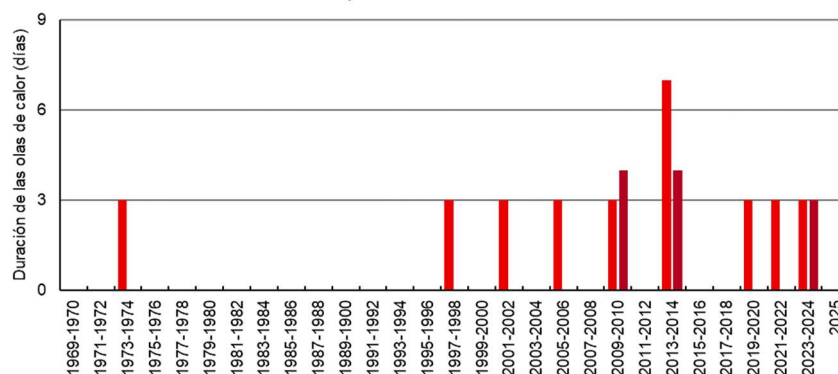


Figura 2. Duración de las olas de calor en la estación de Salta Aero (1969-2025).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman un incremento en la frecuencia y duración de las olas de calor en las dos últimas décadas en el área de estudio. Este comportamiento resulta consistente con las tendencias observadas a escala regional por diversos estudios, en un contexto de intensificación de los eventos extremos térmicos asociados al cambio climático. En conjunto, los resultados evidencian un aumento sostenido de las condiciones cálidas en ambas localidades, reflejado tanto en la frecuencia de olas de calor como en la mayor duración de estos eventos.

REFERENCIAS

- Organización Meteorológica Mundial. 2024. Actualización climática anual a decenal mundial (2025-2029). Ginebra: World Meteorological Organization.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 2391 p.
- Rodríguez Ballesteros, C. 2014. Criterios objetivos para localizar y caracterizar las olas de calor. Agencia Estatal de Meteorología. Madrid, España.
- Smith Guerra, P.; Henríquez Ruiz, C. 2021. Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad mediterránea chilena. *Revista Colombiana de Geografía* 30:144-157.

TENDENCIAS TÉRMICAS EN LA REGIÓN CENTRAL DE COSTA RICA: IMPLICACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Rosales Flores*, J.¹

¹ Escuela de Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Universidad Nacional, Campus Omar Dengo, Avenida 1, Calle 9, Apartado postal 86-3000, Heredia, Costa Rica

*Contacto: johaner@una.cr

Palabras clave: cambio climático; adaptación agrícola; caficultura

INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire constituye una de las variables climáticas de mayor importancia para los sistemas agrícolas debido a su influencia sobre el crecimiento, desarrollo fenológico y productividad de los cultivos. En el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), el régimen térmico incide sobre el rendimiento, la maduración y los atributos físicos y sensoriales del grano (Ahmed *et al.*, 2021). Diversos estudios han documentado que el cambio climático está modificando las condiciones agroclimáticas de las principales regiones cafetaleras del mundo, favoreciendo el desplazamiento de las áreas óptimas de cultivo hacia mayores altitudes y afectando la productividad y sostenibilidad de los sistemas cafetaleros (Ovalle-Rivera *et al.*, 2015; Faraz *et al.*, 2023). En la Región Central de Costa Rica (RCC), donde se concentra una importante actividad cafetalera, aún es limitada la evidencia sobre la magnitud y variabilidad espacial de los cambios térmicos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las tendencias de la temperatura del aire en cinco estaciones de la RCC y sus posibles implicaciones agroclimáticas para la producción de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros diarios suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) de cinco estaciones meteorológicas de la RCC: Santa Lucía (SL: 10°01'19" N; 84°06'42" O; 1200 m s.n.m.), Santa Bárbara (SB: 10°02'00" N; 84°09'56" O; 1060 m s.n.m.), Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (AJS: 09°59'26" N; 84°12'53" O; 913 m s.n.m.), Fabio Baudrit (FB: 10°00'18" N; 84°15'56" O; 840 m s.n.m.) y RECOPE La Garita (RLG: 10°00'19" N; 84°17'45" O; 740 m s.n.m.). La disponibilidad nominal fue SL (1982-2017), FB (1995-2017), AJS y RLG (1998-2017) y SB (1998-2012).

Se analizaron las temperaturas máximas medias y absolutas, mínimas medias y absolutas, y medias anuales. Tras el control de calidad de los datos, se obtuvieron valores anuales para cada estación. Las tendencias se estimaron mediante regresión lineal simple, utilizando el año como variable independiente; las pendientes se expresaron en °C década⁻¹ y su significancia estadística se evaluó con $\alpha = 0,05$. Debido a las diferencias en la extensión temporal de las series, las tendencias se interpretaron dentro del período disponible de cada estación y no como una comparación espacial estricta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tendencias variaron entre estaciones y variables dentro de sus respectivos períodos de análisis (Figura 1). En FB aumentaron significativamente la temperatura máxima media (0,73 °C década⁻¹) y máxima absoluta (1,26 °C década⁻¹). RLG presentó incrementos significativos en la máxima media (0,77), máxima absoluta (1,10) y media anual (0,42 °C década⁻¹); en SL aumentaron la máxima media (0,33), mínima media (0,22) y media anual (0,46 °C década⁻¹). En AJS y SB ninguna tendencia alcanzó significancia estadística ($p \geq 0,05$).

Los resultados no respaldan un calentamiento uniforme en toda la RCC. Los cambios significativos se concentraron en FB, RLG y SL, con respuestas distintas entre las temperaturas máximas, mínimas y medias. Esta heterogeneidad puede estar asociada con diferencias locales de altitud, uso del suelo y condiciones microclimáticas; sin embargo, las distintas longitudes de las series impiden establecer una comparación espacial estricta entre estaciones. La divergencia entre las tendencias máximas y mínimas, especialmente en FB y RLG, sugiere posibles modificaciones en la amplitud térmica que requieren ser evaluadas directamente.

Desde una perspectiva agroclimática, los cambios observados podrían modificar la fenología, la maduración y la aptitud del café (Ovalle-Rivera *et al.*, 2015; Ahmed *et al.*, 2021; Faraz *et al.*, 2023), aunque la respuesta del cultivo no fue evaluada directamente. Los patrones diferenciados entre estaciones resaltan la necesidad de vincular las series térmicas con información local sobre fenología, rendimiento y calidad del grano antes de definir medidas de adaptación específicas.

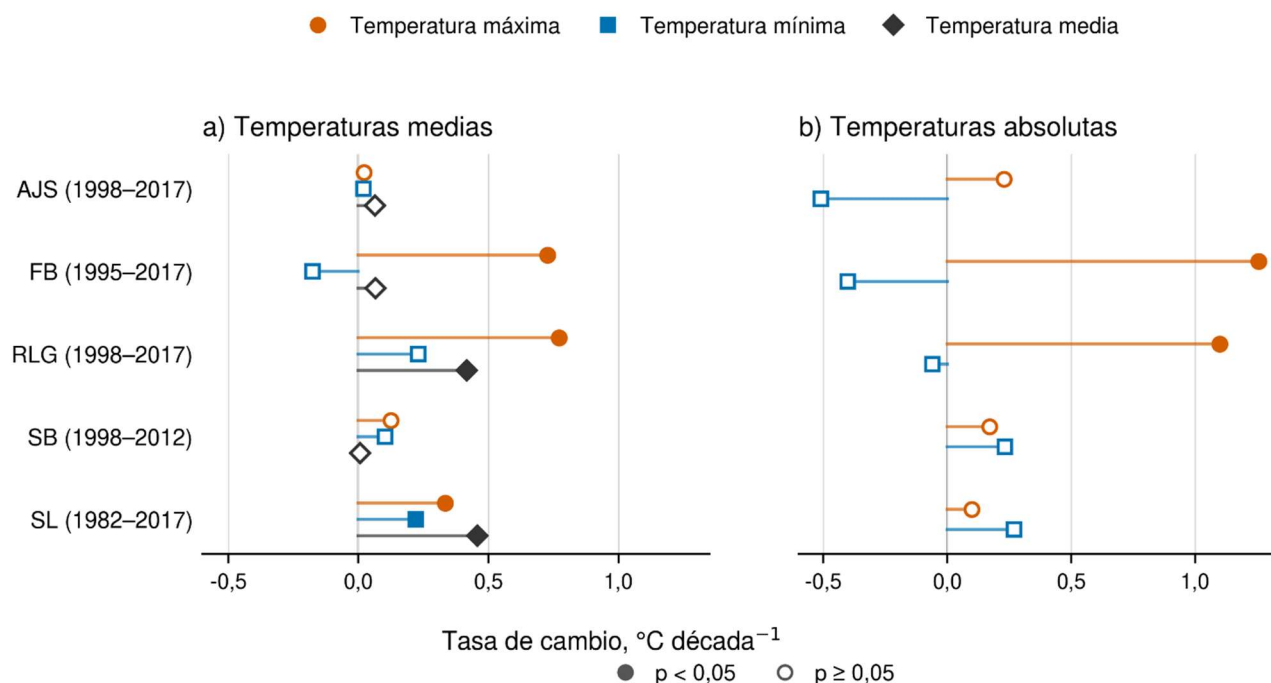


Figura 1. Tasas de cambio de la temperatura del aire por estación meteorológica de la RCC: **a.** temperaturas máximas medias, mínimas medias y medias anuales; **b.** temperaturas máximas y mínimas absolutas. Los símbolos rellenos indican tendencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) y los símbolos vacíos, tendencias no significativas.

CONCLUSIONES

Las tendencias térmicas fueron heterogéneas entre estaciones y variables: los incrementos significativos se concentraron en FB, RLG y SL, mientras que AJS y SB no presentaron cambios significativos durante sus respectivos períodos. En consecuencia, las condiciones climáticas relevantes para la caficultura no deben evaluarse de manera uniforme en toda la RCC. El monitoreo continuo y la consideración de las particularidades térmicas locales son esenciales para orientar la planificación cafetalera. La integración futura de información sobre fenología, rendimiento, características físicas del grano y atributos sensoriales permitirá evaluar con mayor precisión la respuesta del café y sustentar medidas de adaptación específicas para cada zona productora.

REFERENCIAS

- Ahmed, S.; Brinkley, S.; Smith, E.; Sela, A.; Theisen, M. 2021. Climate change and coffee quality: systematic review on the effects of environmental and management variation on secondary metabolites and sensory attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science* 12:708013.
- Faraz, M.; Mereu, V.; Spano, D.; Trabucco, A.; Marras, S.; El Chami, D. 2023. A systematic review of analytical and modelling tools to assess climate change impacts and adaptation on coffee agrosystems. *Sustainability* 15(19):14582.
- Ovalle-Rivera, O.; Läderach, P.; Bunn, C.; Obersteiner, M.; Schroth, G. 2015. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. *PloS one* 10(4):e0124155.

CONSTRUYENDO INFORMACIÓN ÚTIL PARA PRODUCTORES SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MENDOZA

Rosales*, D.A.^{1,3,4}; Incicco, C.N.¹; Sörensson, A.A.^{2,3,4}; Montaña, E.^{4,5}; Mussetta, P.^{4,5}; Rivera, J.A.^{3,4,6}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, C1428BGA, Argentina

² Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, C1428BGA, Argentina

³ CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, C1428BGA, Argentina

⁴ CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, C1428BGA, Argentina

⁵ CONICET - Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA). CCT CONICET Mendoza, Ruiz Leal s/n (5500) Mendoza, Argentina

⁶ CONICET - Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT CONICET Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Mendoza, 5500, Argentina

*Contacto: daira.rosales@cima.fcen.uba.ar

Palabras clave: storylines; precipitación; isoterma

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del río Mendoza se desarrollan distintas actividades agrícolas, cuyas necesidades de agua se satisfacen con el caudal de este río. Recientemente la disponibilidad de agua ha disminuido significativamente (Rivera *et al.*, 2021). Esta adversidad hidroclimática es de gran preocupación para productores de la región (Mussetta y Barrientos, 2015). Este trabajo busca generar información útil para productores sobre la disponibilidad de agua. Para ello, nos basamos en que las narrativas dinámicas (*storylines* de ahora en más) son una manera de comunicar la información climática, que incluye su incertidumbre y es más sencilla de ser comprendida por actores (Shepherd *et al.*, 2018). Con los *storylines* se puede calcular el cambio climático dependiendo de patrones de circulación general.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de 30 modelos de la fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6 por sus siglas en inglés; Eyring *et al.*, 2016) para calcular cambios en la precipitación media de invierno y en la altura de la isoterma de 0 °C en invierno y verano. Estos índices climáticos fueron elegidos en reuniones interdisciplinarias entre expertas en ciencias sociales y ciencias climáticas, y un hidroclimatólogo de la región, teniendo en cuenta los resultados de las entrevistas mencionadas en la introducción. Antes del cálculo de los *storylines* se aplicó escalado de patrones, de manera que todos los resultados son independientes del tiempo y están expresados por grado de calentamiento global (Tebaldi y Arblaster, 2014). Para calcular los *storylines* se utilizaron dos forzantes remotos de circulación general: el calentamiento de la alta troposfera tropical en ambas estaciones y el fortalecimiento del vórtice estratosférico en invierno o la fecha de ruptura de este en verano. De esta forma, combinando si el forzante remoto cambia con gran o pequeña magnitud, se obtienen 4 *storylines* para cada estación. (Mindlin *et al.*, 2020). Luego se seleccionaron *storylines* de invierno y verano que pudieran coexistir, verificando la correlación de los forzantes remotos, y se obtuvieron los *storylines* A y B.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 y 2 se observan los resultados de los *storylines* A y B respectivamente. Ambos *storylines* muestran una disminución de la precipitación en la cuenca alta del río Mendoza y un aumento de la altura de la isoterma de 0 °C, lo que reducirá la acumulación de nieve y adelantará el deshielo. En el *storyline* A, la disminución de la precipitación es mayor que en el *storyline* B, lo que conllevaría a una menor disponibilidad de agua en el *storyline* A que en B. En el *storyline* B se conservaría más nieve y la disminución de la disponibilidad de agua sería menos severa. En ambos *storylines*, aumenta la temperatura en ambas estaciones, favoreciendo el derretimiento de nieve y glaciares y aumentando el riesgo de inundaciones, especialmente en el *storyline* B. En particular, el derretimiento de nieve puede ocurrir antes de lo esperado por el aumento de temperatura, ocurriendo pérdidas de agua por derretimientos súbitos de nieve en primavera. De esta manera, en el *storyline* A la mayor amenaza es la disminución en la disponibilidad de agua, mientras que en el *storyline* B es la inundación urbana.

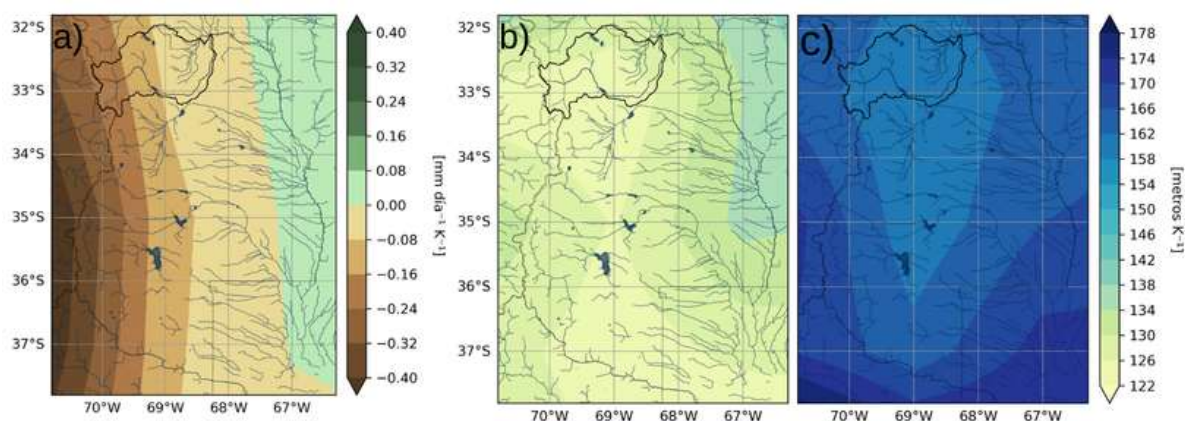


Figura 1. Cambio en la precipitación media en may-ago (a) y la altura media de la isoterma de 0°C en: may-ago (b) y dic-feb (c) de acuerdo con el *storyline* A.

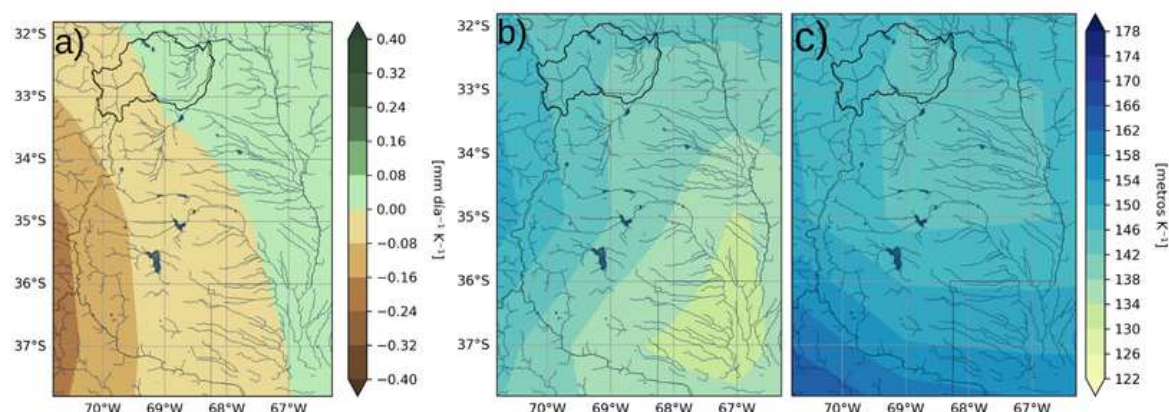


Figura 2. Cambio en la precipitación media en may-ago (a) y la altura media de la isoterma de 0 °C en: may-ago (b) y dic-feb (c) de acuerdo con el *storyline* B.

CONCLUSIONES

Se aplicó la metodología de *storylines* para crear información potencialmente útil para productores de Mendoza sobre la disponibilidad de agua. Se crearon dos escenarios plausibles de cambio en tres variables que muestran que, aunque la disponibilidad de agua estará comprometida en el futuro en la región, puede suceder de diferente manera. Conocer cómo son los posibles cambios es esencial para una buena planificación de la gestión del riesgo. Se demostró que cambios futuros bajo incertidumbre epistémica afectan a la disponibilidad de agua de Mendoza, y por lo tanto, a las acciones de adaptación que habría que llevar a cabo. Un próximo paso de este trabajo sería ir más allá de la interdisciplina y llevar estos resultados a los productores de Mendoza en un marco transdisciplinar para evaluar si efectivamente, esta manera de comunicar la información resulta de mayor utilidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Social Sciences and Humanities Research Council (SSHRC), Canadá, organismo financiador del proyecto “Bridging the adaptation gap: a comparative Inter- and Transdisciplinary Perspective of Regional Risks and Vulnerabilities in Drylands in Canada and Latin America - BWAG”.

REFERENCIAS

- Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G.; Senior, C.; Stevens, B.; Ronald, S.; Taylor, K. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development Discussions* 9(5):1937–1958.
- Mindlin, J.; Shepherd, T.G.; Vera, C.; Osman, M.; Zappa, G.; Lee, R.; Hodges, K. 2020. Storyline description of southern hemisphere midlatitude circulation and precipitation response to greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics* 54:3173–3190.
- Mussetta, P.; Barrientos, M.J. 2015. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 47:145–170.
- Rivera, J.; Otta, S.; Lauro, C.; Zazulie, N. 2021. A decade of hydrological drought in central-western Argentina. *Frontiers in Water* 3:640544.
- Shepherd, T.G.; Boyd, E.; Calel, R.A.; Chapman, S.C.; Dessai, S.; Dima-West, I.M.; Fowler, H.J.; James, R.; Maraun, D.; Martius, O.; Senior, C.A.; Sobel, A.H.; Stainforth, D.A.; Tett, S.F.B.; Trenberth, K.E.; van den Hurk, B.J.J.M.; Watkins, N.W.; Wilby, R.L.; Zenghelis, D.A. 2018. Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change. *Climatic Change* 151:555–571.
- Tebaldi, C.; Arblaster, J.M. 2014. Pattern Scaling: its strengths and limitations, and an update on the latest model simulations. *Climatic Change* 122:459–471.

NARRATIVAS DINÁMICAS DE CONTROLADORES CLIMÁTICOS QUE CONDUCEN A IMPACTOS EN LA CUENCA DEL PLATA

Rosales*, D.A.^{1,3,4}; Sörensson, A.A.^{2,3,4}; Ruscica, R.C.^{2,3,4}; Mindlin, J.⁵; Shepherd, T.G.^{6,7}; Cos, P.⁸; Cappelletti, L.M.^{2,3,4}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Buenos Aires, Argentina

² UBA, FCEyN, Buenos Aires, Argentina

³ CONICET, Universidad de Buenos Aires, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Buenos Aires, Argentina

⁴ Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) – IRL 3351 – CNRS-CONICET-IRD-UBA, Buenos Aires, Argentina

⁵ Leipzig Institute for Meteorology, University of Leipzig, Leipzig, Germany

⁶ Department of Meteorology, University of Reading, Reading, United Kingdom

⁷ Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich, Jülich, Germany

⁸ Earth Sciences Department, Barcelona Supercomputing Center (BSC), Barcelona, España

*Contacto: daira.rosales@cima.fcen.uba.ar

Palabras clave: storylines; reforestación; aforestación

INTRODUCCIÓN

Para limitar el calentamiento global es esencial la remoción de dióxido de carbono de la atmósfera (IPCC, 2022). Una de las maneras más comunes de lograrlo es a través de reforestación y aforestación (IPCC, 2022). La Cuenca del Plata es señalada como uno de los lugares clave para estas prácticas (Weber *et al.*, 2024). De todos modos, no está bien estudiado si los árboles que se planten podrán prosperar en el clima futuro. El IPCC (Ranasinghe *et al.*, 2021) ha definido controladores climáticos que conducen a impactos (CIDs por sus siglas en inglés) que son relevantes para bosques tropicales. Entre ellos se encuentran: precipitación media, temperatura media, sequía agronómica o ecológica e incendios.

Los modelos climáticos globales proyectan cambios futuros en variables climáticas. Típicamente en las ciencias del clima, las salidas de estos modelos son analizadas a través de su promedio y dispersión de la media. Esta metodología no es óptima ya que no representa una solución real y muchas veces se promedian señales de cambio con signos opuestos que terminan en un valor cercano a cero (Knutti *et al.*, 2010). Como alternativa, se desarrolló la metodología de narrativas dinámicas (*storylines* de ahora en más, Zappa y Shepherd 2017). Esta metodología se basa en que los diferentes modelos proyectan diferentes respuestas de la circulación general ante el calentamiento global. Entonces, los *storylines* se utilizan para calcular cambios plausibles en variables regionales teniendo en cuenta diferentes configuraciones de circulación general.

En este trabajo nos proponemos utilizar la metodología de *storylines* para calcular cambios en CIDs relevantes para bosques tropicales y así analizar cómo será el cambio climático al que tienen que enfrentarse los bosques propuestos en planes de reforestación y aforestación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cuantificar los CIDs mencionados en la introducción se utilizaron diferentes índices: precipitación (pr) y temperatura (tas) medias en sep-nov y dic-feb, un índice de sequía basado en la humedad del suelo (SMDI por sus siglas en inglés) en dic-feb calculado como el percentil 10 de la humedad del suelo estandarizada, el período de días secos consecutivos más largo del año (CDD por sus siglas en inglés) y un índice de peligrosidad de incendios (FWI por sus siglas en inglés) calculado en jul-sep (Rosales *et al.*, 2026).

Los *storylines* se calcularon cuantificando el cambio (entre 1950-1969 y 2080-2099) en dos forzantes remotos de la circulación atmosférica: el calentamiento tropical y el fortalecimiento del vórtice estratosférico. Para los CIDs calculados en dic-feb, al no haber vórtice en esta época, en vez de utilizar el fortalecimiento del vórtice estratosférico, se utilizó el retardo en la fecha de ruptura de este (Rosales *et al.*, 2026).

De esta manera, para cada CID se calcularon 4 *storylines* correspondientes a las distintas combinaciones de los forzantes remotos: alto o bajo calentamiento tropical combinado con gran o poco fortalecimiento del vórtice estratosférico (o gran o poco retardo de ruptura del vórtice si es en dic-feb). Previo al cálculo, se hizo escalado de patrones a los CIDs, de esta manera, todos los resultados están expresados por grado de calentamiento global. Para más detalle sobre la metodología ver Rosales *et al.* (2026). Luego, se calculó qué combinaciones de los forzantes son plausibles entre estaciones, y así se construyeron dos *storylines* anuales, que llamaremos A y B.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este estudio se tuvieron en cuenta tres sectores de La Cuenca del Plata indicados en la Figura 1. Los resultados de los *storylines* de los tres sectores se presentan en la Tabla 1. Se puede observar que, aunque en la literatura se sugiere como una región clave para la reforestación, el noreste de la cuenca presenta aumentos de tas que llevan a suelos más secos, incluso aunque en el *storyline* B aumente la pr en verano. Por su parte, el noroeste de la cuenca muestra también aumentos en tas, con primaveras más secas y veranos más húmedos que de todas formas no compensan la pérdida de humedad del suelo. En este sector es importante destacar que el *storyline* B lleva a condiciones de FWI bastante menores que el A. En el sur de la cuenca, por su parte, el aumento de tas es menor y pr aumenta, especialmente en verano. Esto mejora ligeramente la humedad del suelo para el crecimiento de bosques y limita el aumento del FWI. En esta región se ha propuesto la aforestación, y aunque

nuestros resultados sugieren que los bosques sufrirían menos estrés climático, los efectos hidrológicos y beneficios de la aforestación no están completamente estudiados.



Figura 1. Sectores de La Cuenca del Plata.

Tabla 1. Resultados de los Storylines A y B de los cinco CIDs analizados en los tres sectores de La Cuenca del Plata.

	Pr sep-nov, mm día ⁻¹ K ⁻¹		Pr dic-feb, mm día ⁻¹ K ⁻¹		Tas sep-nov, K K ⁻¹		Tas dic-feb, K K ⁻¹		SMDI dic-feb, K ⁻¹		CDD, días K ⁻¹		FWI, K ⁻¹	
Storyline	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Noreste de la cuenca	-0,01	-0,03	0,00	0,16	1,29	1,45	1,13	1,02	-0,29	-0,37	2,98	2,64	3,20	2,54
Noroeste de la cuenca	-0,01	-0,10	0,02	0,17	1,34	1,47	1,24	1,10	-0,22	-0,22	3,06	3,12	3,18	1,83
Sur de la cuenca	0,01	0,03	0,08	0,19	0,96	0,96	1,07	0,90	0,10	0,04	0,52	1,34	0,93	0,64

CONCLUSIONES

La creación de los *storylines* permitió analizar cambios en CIDs a futuro. En particular, al estar asociados con una configuración específica de forzantes remotos, permitieron analizar dos futuros plausibles de cambio en varios CIDs al mismo tiempo. De esta manera, esta metodología, a diferencia de las tradicionales, permitió analizar amenazas compuestas. Consecuentemente, pudimos observar que la región usualmente propuesta como idónea para reforestación (noreste de la cuenca) tendrá condiciones climáticas no favorables para bosques, mientras que la región del sur, en la que se propone aforestación, sufrirá menos del cambio climático.

REFERENCIAS

- IPCC. 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Shukla, P.R.; Skea, J.; Slade, R.; Al Khourdajie, A.; van Diemen, R.; McCollum, D.; Pathak, M.; Some, S.; Vyas, P.; Fradera, R.; Belkacemi, M.; Hasija, A.; Lisboa, G.; Luz, S.; Malley, J. (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA. 1457 p.
- Knutti, R.; Furrer, R.; Tebaldi, C.; Cermak, J.; Meehl, G. 2010. Challenges in combining projections from multiple climate models. *Journal of Climate* 23:2739–2758.
- Ranasinghe, R.; Ruane, A.C.; Vautard, R.; Arnell, N.; Coppola, E.; Cruz, F.A.; Dessai, S.; Islam, A.S.; Rahimi, M.; Ruiz Carrascal, D.; Sillmann, J.; Sylla, M.B.; Tebaldi, C.; Wang, W.; Zaaboul, R. 2021. Climate change information for regional impact and for risk assessment. En: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S.L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M.I.; Huang, M.; Leitzell, K.; Lonnoy, E.; Matthews, J.B.R.; Maycock, T.K.; Waterfield, T.; Yelekçi, O.; Yu, R.; Zhou, B. (Eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA. 1767–1926 pp.
- Rosales, D.A.; Sörensson, A.A.; Ruscica, R.C.; Mindlin, J.; Shepherd, T.G.; Cos, P.; Cappelletti, L.M. 2026. Storylines of climatic impact-drivers relevant for forests: La Plata Basin, a Hotspot for Land-Based Mitigation. *Environmental Research: Climate*. En revisión.
- Weber, J.; King, J.; Abraham, N.; Grosvenor, D.; Smith, C.; Shin, Y.; Lawrence, P.; Roe, S.; Beerling, D.; Val Martin, M. 2024. Chemistry-Albedo feedbacks offset up to a third of forestation's CO₂ removal benefits. *Science* 383:860–864.
- Zappa, G.; Shepherd, T.G. 2017. Storylines of atmospheric circulation change for European regional climate impact assessment. *Journal of Climate* 30:10.1175/JCLI-D-16-0807.1.

EVOLUCIÓN RECIENTE DEL CICLO HIDROLÓGICO ATMOSFÉRICO EN SUDAMÉRICA

Sanchez*, S.I.^{1,2}; Blázquez, J.^{1,2}; Pántano, V.C.^{1,2,3}

¹ Grupo de Investigación en Clima, Variabilidad y Extremos (CLAVE), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, B1900, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1425, Argentina

³ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1428, Argentina

*Contacto: sisanchez@fcaglp.unlp.edu.ar

Palabras clave: precipitación; evaporación; divergencia del flujo de humedad

INTRODUCCIÓN

La presión de vapor de saturación y la temperatura están exponencialmente relacionadas a través de la ecuación de Clausius-Clapeyron (Tsonis, 2002), según la cual la atmósfera puede contener aproximadamente un 7 % más de vapor de agua por cada grado de aumento de temperatura, manteniendo constante la humedad relativa (Skirris *et al.*, 2016). En las últimas décadas, a nivel global, se ha registrado un calentamiento que produjo cambios en distintas variables del sistema climático (Gulev *et al.*, 2021), incluidas la evapotranspiración y la precipitación. Como consecuencia, el ciclo hidrológico se ha visto modificado, registrándose una intensificación de este, lo que implica un aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos (Huntington, 2010). Esta intensificación se refleja en una aceleración de las tasas de evapotranspiración y precipitación (Pratap y Markonis, 2022), así como en un incremento del transporte de humedad en la atmósfera (Allan *et al.*, 2020). A escala global, este ciclo se ha intensificado en las últimas décadas como consecuencia del calentamiento global. Sin embargo, a nivel regional, los cambios asociados pueden presentarse de manera heterogénea, según los forzantes involucrados y las particularidades de cada zona. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es actualizar el análisis de los cambios y las tendencias en el ciclo hidrológico atmosférico y sus componentes sobre América del Sur, durante el período observacional comprendido entre 1980 y 2025.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ciclo hidrológico atmosférico se definió siguiendo la metodología propuesta por Llopart *et al.* (2021), considerando la rama atmosférica del ciclo: precipitación, evaporación y divergencia del flujo de humedad. Se utilizaron los datos de precipitación y evaporación de ERA5-Land, junto con la divergencia integrada verticalmente del flujo de humedad (VIMD) obtenida de ERA5. El estudio se realizó a escalas anual y estacional, considerando los trimestres diciembre-enero-febrero (def), marzo-abril-mayo (mam), junio-julio-agosto (jja) y septiembre-octubre-noviembre (son). Se analizaron los cambios absolutos en los valores medios del período 2003–2025 respecto de 1980–2002 y las tendencias lineales interanuales de los valores medios estacionales para el período completo 1980–2025.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de analizar los cambios observados, en la Figura 1 se muestran, a modo de ejemplo, las diferencias calculadas entre ambos períodos para la precipitación y la evaporación, tanto a escala anual como estacional. Los resultados muestran una disminución de la precipitación en gran parte de América del Sur, particularmente sobre el centro y norte de Argentina, Paraguay y el este de Brasil, mientras que al norte de Brasil se observan cambios positivos tanto a escala anual como estacional. Este patrón se mantiene durante la mayor parte del año, aunque presenta algunas diferencias estacionales. Los cambios negativos en Sudamérica subtropical son mayores durante def y son, mientras que los cambios positivos en el norte del continente son mayores en mam y jja. Respecto a la evaporación, también se identifican cambios negativos anuales sobre Argentina central y del norte, Paraguay y el este de Brasil. Este patrón es más intenso durante def, mientras que en mam y jja las disminuciones son menos marcadas. En jja se observan, además, cambios positivos sobre el noroeste de Brasil y Colombia. Durante son, los cambios negativos se expanden hacia gran parte de Brasil, aunque se mantienen cambios positivos sobre Colombia.

Los cambios observados en la VIMD presentan una distribución espacial consistente con los patrones de precipitación, lo que sugiere una fuerte influencia dinámica en las variaciones recientes del ciclo hidrológico atmosférico sobre América del Sur. Además, el análisis de sensibilidad de las tendencias revela una fuerte influencia de las condiciones secas ocurridas después de 2020, afectando gran parte de América del Sur; sin embargo, estos resultados no se muestran en este resumen.

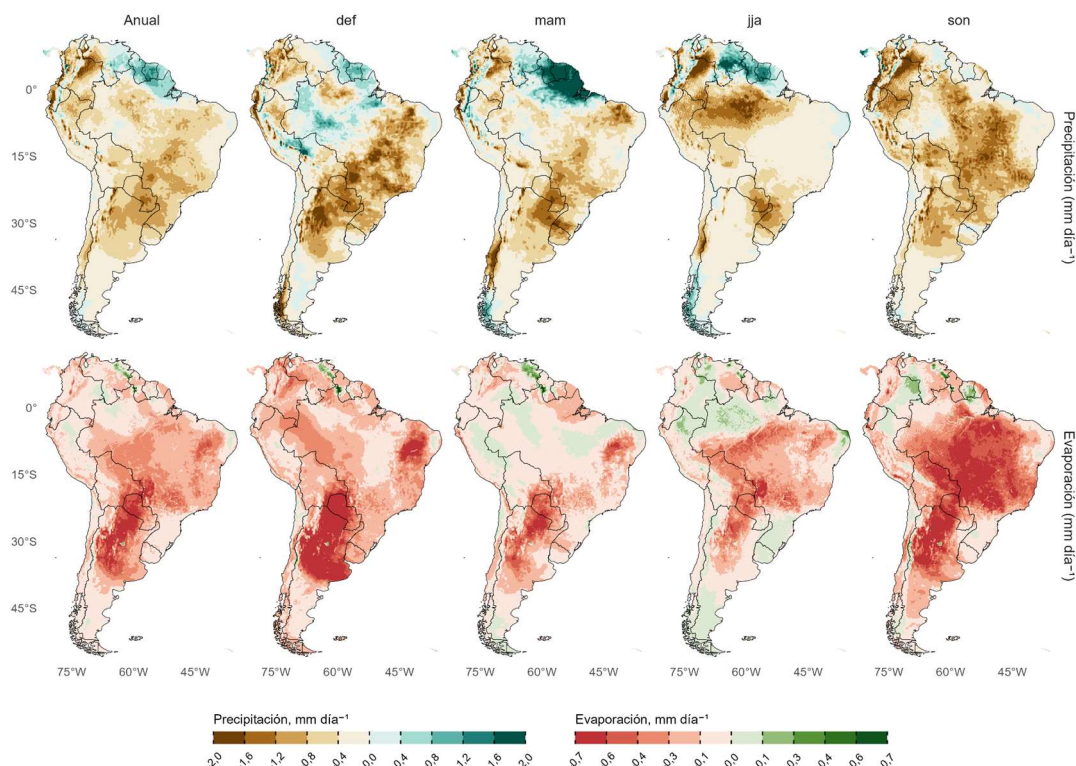


Figura 1. Cambios en la precipitación (P, mm día⁻¹) y la evaporación (E, mm día⁻¹), organizados en filas; tanto a escala anual como estacional (def, mam, jja y son), organizadas en columnas, durante el período 1980–2025.

CONCLUSIONES

Los cambios mostraron una disminución en el período más actual tanto en la precipitación como en la evaporación, particularmente en Argentina central y del norte, Paraguay y el este de Brasil durante el verano, y sobre el norte de Argentina y el centro de Brasil durante la primavera. Estos patrones son consistentes con una disminución en el transporte de humedad, lo que resalta una fuerte influencia dinámica. Además, el análisis de sensibilidad de las tendencias revela una marcada influencia de las condiciones secas ocurridas después de 2020, que afectan a la mayoría de las regiones de América del Sur. Estos resultados constituyen un primer paso que contribuirá a análisis posteriores orientados a comprender los mecanismos, ya sean termodinámicos o dinámicos, que afectan el comportamiento del ciclo hidrológico atmosférico sobre América del Sur.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto I+D SG003, financiado por la Universidad Nacional de La Plata.

REFERENCIAS

- Allan, R.P.; Barlow, M.; Byrne, M.P.; Cherchi, A.; Douville, H.; Fowler, H.J.; Gan, T.Y.; Pendergrass, A.G.; Rosenfeld, D.; Swann, A.L.S.; Wilcox, L.J.; Zolina, O. 2020. Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1472(1):49–75.
- Gulev, S.K.; Thorne, P.W.; Ahn, J.; Dentener, F.J.; Domingues, C.M.; Gong, D.; Kaufman, D.S.; Nnamchi, H.C.; Quaas, J.; Rivera, J.A.; Sathyendranath, S.; Smith, S.L.; Trewin, B.; von Schuckmann, K.; Vose, R.S. 2021. Changing State of the Climate System. En: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S.L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M.I.; *et al.* (Eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom y New York, USA. 287–422 p.
- Huntington, T.G. 2010. Climate warming-induced intensification of the hydrologic cycle: an assessment of the published record and potential impacts on agriculture. En: Sparks, D.L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. 1–53 p.
- Llopart, M.; Domingues, L.M.; Csaba, T.; Giorgi, F.; Porfirio da Rocha, R.; Ambrisi, T.; Reboita, M.S.; Muniz Alves, L.; Coppola, E.; da Silva, M.L.; Oliveira de Souza D. 2021. Assessing changes in the atmospheric water budget as drivers for precipitation change over two CORDEX-CORE domains. *Climate Dynamics* 57(5):1615–1628.
- Pratap, S.; Markonis, Y. 2022. The response of the hydrological cycle to temperature changes in recent and distant climatic history. *Progress in Earth and Planetary Science* 9(1):30.
- Skliris, N.; Zika, J.D.; Nurser, A.J.G.; Josey, S.A.; Marsh, R. 2016. Global water cycle amplifying at less than the Clausius-Clapeyron rate. *Scientific Reports* 6(1):38752.
- Tsonis, A.A. 2002. *An Introduction to Atmospheric Thermodynamics*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 336 p.

COBERTURAS DE SUELO COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN Y RESILIENCIA FRENTE A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Tarazona*, N.L.¹; Chilan, W.P.¹

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Carrera de Ingeniería Agrícola. Calceta, Ecuador

*Contacto: nestor.tarazona@espam.edu.ec

Palabras clave: temperatura; sostenibilidad; implementación

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática representa uno de los mayores desafíos para la sostenibilidad agrícola, manifestándose en fluctuaciones térmicas extremas que alteran las propiedades del suelo y afectan el rendimiento de los cultivos (Manucharyan, 2025; Terzano, 2025). Frente a este panorama, las coberturas de suelo surgen como una estrategia clave de mitigación y resiliencia, actuando como un escudo térmico que regula microclimas y protege el recurso edáfico (Pimienta *et al.*, 2025). El presente estudio evalúa la efectividad de distintas coberturas de suelo en el campus politécnico de Calceta, Manabí, analizando su impacto dinámico sobre las temperaturas mínimas, medias y máximas del suelo; para comprender este comportamiento de manera integral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los resultados presentados en este documento son tomados en el área de cultivos convencionales del Campus politécnico ubicada en el sitio El Limón, situado geográficamente entre las coordenadas 0° 49' 23" S; 80° 11' 01" O y una altitud de 15 m s.n.m. El área tiene tres parcelas de 2 x 2 m con tres tipos de coberturas, Primera parcela un suelo sin cobertura, Segunda parcela suelo con mulch y Tercera parcela suelo con césped. Se colocaron seis geotermómetros (termómetros de suelo) en cada parcela a seis profundidades 2, 5, 10, 15, 20 y 30 cm; la toma de estos datos de temperatura se registrarán las 07.30, 13.00 y 18.30 h diariamente durante cinco años. Los resultados obtenidos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de medidas se analizaron con prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La parcela cubierta con mulch presentó las temperaturas mínimas, medias y máximas más bajas en comparación con otros tratamientos, sugiriendo que el mulch es eficaz para reducir las fluctuaciones de temperatura del suelo y ayuda al aumento de la biomasa microbiana mejorando la actividad del suelo a través del aporte adicional de residuos (Manucharyan, 2025; Terzano, 2025). También se manifestó que en suelo limpio sin coberturas se mostró las temperaturas más altas (32,7 °C), lo que indica una mayor exposición y absorción de calor en ausencia de cobertura. Otros resultados que se dieron al observar el tiempo de evaluación, fue que las temperaturas aumentan significativamente al mediodía (30,5 °C) y en la tarde (32,1 °C) en comparación con el registro de la mañana. Estos datos reflejan un aumento en la radiación solar y su impacto directo sobre las temperaturas del suelo en diferentes momentos del día. Cuando se registran las temperaturas en función de la profundidad, los valores mayores se dieron en las capas superficiales a 2, 5 y 10 cm, disminuyendo con la profundidad (hasta 30 cm). Esto confirma que las capas superiores del suelo son las más afectadas por las condiciones meteorológicas y la radiación solar.

Tabla 1. Registro de promedios de temperatura mínima, media y máxima en relación con los factores de evaluación y separación de medias mediante prueba de Tukey (0,05).

Cobertura	T min, °C	SE	T media, °C	SE	T max, °C	SE
Suelo con mulch	26,8	a	27,9	a	29,1	a
Suelo con césped	27,4	a	28,1	b	29,3	b
Suelo sin cobertura	27,1	a	29,8	c	32,7	c
Tiempo evaluación	T min, °C	SE	T media, °C	SE	T max, °C	SE
Mañana	26,1	a	27,3	a	28,4	a
Medio día	27,5	b	28,9	b	30,5	b
Tarde	27,5	b	29,7	c	32,1	c
Profundidad	T min, °C	SE	T media, °C	SE	T max, °C	SE
2 cm	26,2	a	28,8	b	31,5	d
5 cm	26,5	ab	28,8	b	31,1	c
10 cm	27,3	c	28,6	ab	30,3	b
15 cm	27,1	bc	28,5	a	29,9	a
20 cm	27,3	c	28,5	a	29,6	a
30 cm	27,7	c	28,7	ab	29,6	a

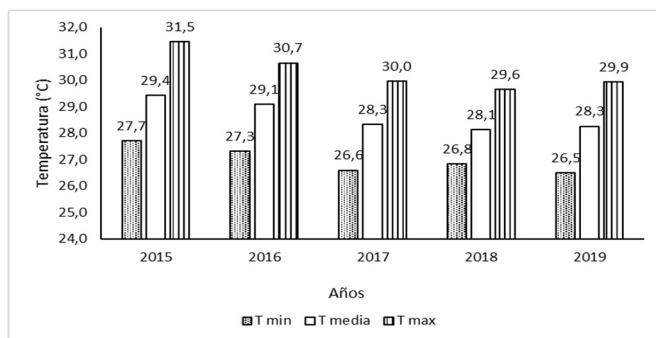


Figura 1. Registro promedio de temperaturas mínima, media y máxima a nivel del suelo en 5 años de evaluación en Calcuta-Manabí.

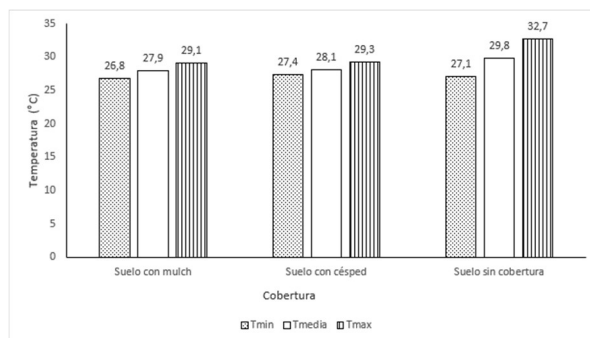


Figura 2. Registro promedio de temperaturas mínima, media y máxima a nivel de cobertura del suelo en Calcuta-Manabí.

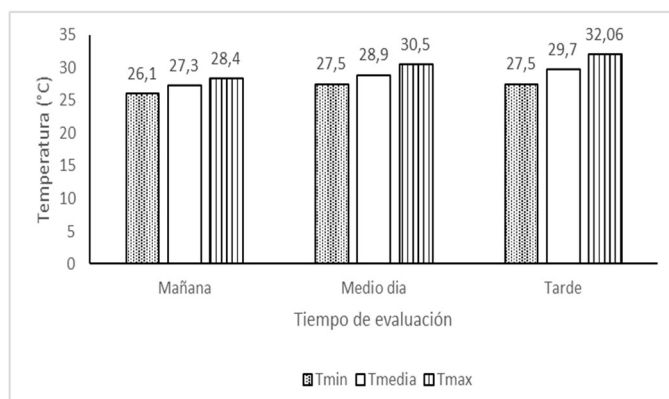


Figura 3. Registro promedio de temperaturas mínima, media y máxima en suelo respecto del tiempo de evaluación en Calcuta-Manabí.

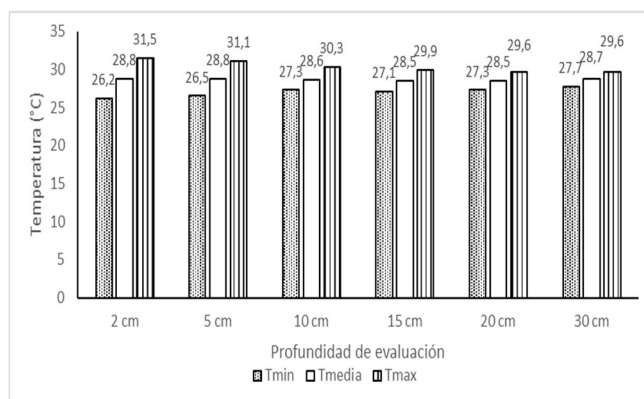


Figura 4. Registro promedio de temperaturas mínima, media y máxima en suelo respecto a la profundidad de evaluación en Calcuta-Manabí.

CONCLUSIONES

- Considerando las evaluaciones de temperaturas de suelo, se indica que el mulch como cobertura es un método efectivo para moderar la temperatura del suelo, lo que puede tener implicaciones positivas en la retención de humedad y la protección de cultivos sensibles a las altas temperaturas.
- Las variaciones de temperatura a lo largo del día deben ser consideradas en la planificación de riegos y siembras para minimizar el estrés térmico en los cultivos.
- Las capas superficiales del suelo requieren atención especial para protegerlas de la radiación solar directa, mientras que las capas más profundas permanecen relativamente estables.
- En cuanto a las recomendaciones se manifiesta que la implementación de coberturas vegetales es una técnica eficiente para mantener temperaturas del suelo moderadas y homogéneas y con esto asegurar un manejo sostenible del suelo agrícola.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo gracias a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, y al observatorio institucional ESPAM-MFL.

REFERENCIAS

- Manucharyan, M. 2025. Climate change impacts on sustainable agriculture: Evidence from Armenia. *Unconventional Resources* 6: 100159.
- Pimienta, L.; López, E.; García, S. 2025. Cambios de cobertura/uso del suelo y fuerzas impulsoras a lo largo de dos décadas en Zinapécuaro, Michoacán, México. *Revista Cartográfica* (110):99-120.
- Terzano, P. 2025. Efectos sobre el entorno del vertido de lodos de plantas potabilizadoras. Tesis de Maestría, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

PADRÕES ESPACIAIS DE RISCO CLIMÁTICO PARA A TECa EM CENÁRIOS ATUAIS E FUTUROS NO BRASIL

Xavier*, R.G.¹; Martins, F.B.¹; Santos, F.C.O.¹; Fagundes, F.F.A.¹

¹Universidade Federal de Itajubá, C.P. 50 – 37500-903 – Itajubá, MG – Brasil

*Contato: rafaelxavier.mestrado@gmail.com

Palavras-chave: mudanças climáticas; indicadores; NEX-GDDP-CMIP6

INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma das principais espécies de madeira comercializável do mundo. Nativa da Ásia, encontra-se distribuída em florestas naturais com plantios estabelecidos em 38 países, incluindo o Brasil (Venkatesh *et al.*, 2024). Sua madeira apresenta elevada durabilidade natural e estabilidade dimensional, características atrativas para o mercado madeireiro (Venkatesh *et al.*, 2023). Além disso, a espécie desempenha importantes funções ecossistêmicas, como sequestro de carbono e atuação como quebra-ventos, ampliando a sua importância silvicultural (Venkatesh *et al.*, 2023). Entretanto, a ocorrência predominante em regiões tropicais e subtropicais, que coincidem com *hotspots* climáticos globais, torna a espécie particularmente vulnerável às mudanças climáticas.

Para lidar com esses desafios, a utilização de indicadores de risco acoplados a modelos climáticos torna-se uma estratégia promissora (Dias *et al.*, 2024). Esses indicadores constituem ferramentas capazes de quantificar riscos e fragilidades dos sistemas naturais, fornecendo informações sobre os níveis de severidade, distribuição espacial e evolução temporal das condições climáticas (Ferreira *et al.*, 2021). Além disso, integram diferentes variáveis ambientais, permitindo identificar vulnerabilidades e antecipar potenciais impactos sobre os plantios.

Apesar de sua relevância, essa abordagem ainda não foi aplicada ao cultivo de teca no Brasil. Devido à escassez de estudos dessa natureza, este trabalho tem como objetivo identificar quais riscos climáticos serão intensificados, bem como determinar as regiões brasileiras mais expostas até o final do século XXI.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados diários de dezesseis Modelos Climáticos Globais (MCGs) do NASA *Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP-CMIP6), com resolução espacial de 0,25° (latitude/longitude). Os dados utilizados incluem temperatura mínima (Tasmin, °C), média (Tas, °C) e máxima (Tasmax, °C) do ar próximo à superfície, radiação solar global (Rsds, MJ m⁻² dia⁻¹), precipitação (Pr, mm dia⁻¹) e umidade relativa (Hurs, %). Todos os indicadores de risco foram simulados para o período controle (PC, 1995-2014) e projetado para o futuro próximo (FP, 2041-2060) e futuro distante (FD, 2081-2100) em dois *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP): SSP3-7.0 (intermediário) e SSP5-8.5 (pessimista).

Foram delimitados cinco indicadores de riscos climáticos da teca: (i) indicador de requerimento hídrico (IRH), definido pelo número de anos com precipitação ≤ 1200 mm ano⁻¹; (ii) indicador de deficiência hídrica (IDH), correspondente ao número de anos com deficiência hídrica ≥ 402 mm ano⁻¹; (iii) indicador de temperaturas basais (ITB), representado pelo número de dias com Tas ≤ 22 °C ou Tas ≥ 27 °C; (iv) indicador de temperaturas máximas (ITM), definido pelo número de dias com Tasmax ≥ 43 °C; e (v) indicador de quebra de produtividade (IQP), obtido pela Equação 1. Os limiares bioclimáticos utilizados foram baseados em Reis *et al.* (2023) e Rao *et al.* (1988).

Todos os indicadores foram calculados diariamente em cada período e cenário. O indicador IQP representa a redução da produtividade de uma cultura devido à escassez de água no solo (Dias *et al.*, 2024), sendo calculado mensalmente e acumulado ao longo dos 240 meses do ciclo da teca, conforme expresso por:

$$IQP = \prod_{i=1}^n [1 - Ky \times (1 - \frac{ETr}{ETc})] \quad (1)$$

Em que: IQP = indicador de quebra de produtividade (adimensional), $\prod_{i=1}^n$ n = produto, i = mês de simulação e projeção do indicador, desde janeiro (i = 1) a dezembro (i = 12), n = duração total do ciclo (240 meses para teca), Ky = coeficiente de sensibilidade ao estresse hídrico para a teca (Ky = 1,1) (adimensional), ETr = Evapotranspiração real mensal (mm mês⁻¹) e ETc = evapotranspiração mensal da cultura (mm mês⁻¹). Os valores de ETr e ETc foram obtidos pelo balanço hídrico sequencial da cultura.

Com exceção do IQP, todos os indicadores, foram normalizados para fins de intercomparação e avaliação, resultando em valores entre 0 a 1. Os valores normalizados para cada indicador foram agrupados em diferentes faixas de risco: risco muito baixo (Indicador ≤ 0,2); risco baixo (0,2 < Indicador ≤ 0,4), risco moderado (0,4 < Indicador ≤ 0,6), risco alto (0,6 < Indicador ≤ 0,8) e risco muito alto (Indicador > 0,8).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o padrão espacial dos cinco indicadores de risco utilizados neste estudo para o PC, FP e FD no SSP3-7.0 e SSP5-8.5. No PC os indicadores de maior risco para a teca foram (em ordem de severidade): IQP (Figura 1 A5) com risco moderado a intenso em ~81 % do Brasil e ITB em ~62 %.

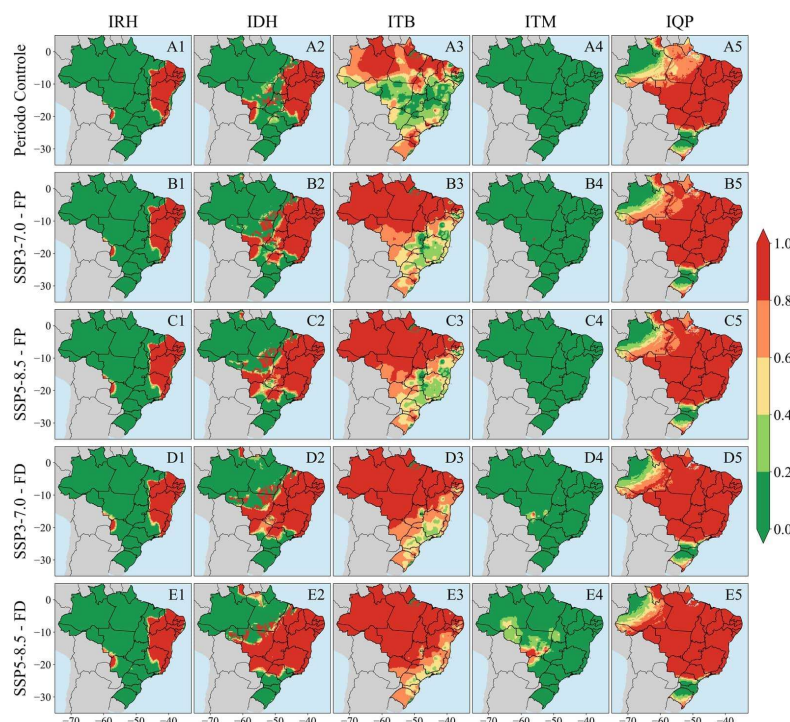


Figura 1. Riscos climáticos para o cultivo de teca no Brasil (eixo x) para o período controle (PC, 1995-2014), futuro próximo (FP, 2041-2060) futuro distante (FD, 2081-2100) (eixo y) nos dois cenários socioeconômicos SSP3-7.0 e SSP5-8.5, calculados utilizando a média de 16 modelos climáticos do NEX-GDDP-CMIP6.

Até o final do século XXI, os riscos climáticos para a teca continuarão sendo preocupantes. Os indicadores ITB e IQP apresentarão as maiores intensificações em magnitude e extensão espacial, variando de ~88 % (FP e SSP3-7.0) a 98 % (FD e SSP5-8.5) para o ITB, e de ~84 % a 89 % para o IQP (risco moderado a muito alto). O indicador IDH também apresentará um aumento, com valores entre ~38 % (FP e SSP3-7.0) e ~51 % (FD e SSP5-8.5). Esse comportamento decorre, principalmente, do aumento da temperatura do ar e da deficiência hídrica projetados para o Brasil até 2100 (Dias *et al.*, 2024). Em contrapartida, os indicadores IRH e ITM não apresentarão mudanças substanciais em relação ao PC, com incrementos de 3 % e 5 % nas áreas sob risco moderado a muito alto, respectivamente. Esse contraste em relação ao ITB sugere que as mudanças climáticas tendem a ampliar a ocorrência de condições térmicas desfavoráveis ao desenvolvimento da teca, sem necessariamente promover aumentos expressivos na frequência de temperaturas máximas extremas, o que pode comprometer a produtividade da cultura.

CONCLUSÕES

Todos os cinco riscos climáticos serão intensificados no futuro. Os maiores riscos estão associados ao estresse por temperaturas basais (ITB) e a quebra de produtividade por deficiência hídrica (IQP), em até 98 % da área para ITB e 89 % para IQP, principalmente no centro-norte do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa ao 1º autor (Número do processo: 888887.284430/2026-00), FAPEMIG e ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos (POSMARH) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Dias, C.G.; Martins, F.B.; Martins, M.A., 2024. Climate risks and vulnerabilities of the Arabica coffee in Brazil under current and future climates considering new CMIP6 models. *Science of the Total Environment* 907:167753.
- Ferreira, N.C.R.; Martins, M.; Tavares, P.S.; Chan Chou, S.; Monteiro, A.; Gomes, L.; Santana, A. 2021. Assessment of crop risk due to climate change in Sao Tome and Principe. *Regional Environmental Change* 21:22.
- Rao, N.H.; Sarma, P.B.S.; Chander, S. 1988. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management* 13:25–32.
- Reis, C.A.F.; Oliveira, E. B.; Santos, A.M., 2023. Teak (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil. Embrapa. Brasília, Brasil. 734 p.
- Venkatesh, Y.N.; Ashajyothi, M.; Uma, G.S.; Rajarajan, K.; Handa, A.K.; Arunachalam, A. 2023. Diseases and insect pests challenge to meet wood production demand of *Tectona grandis* (L.), a high-value tropical tree species. *Journal of Plant Diseases and Protection* 130:929-945.
- Venkatesh, Y.N.; Ashajyothi, M.; Rajarajan, K.; Sahu, S.; Chaturvedi, V.; Prathima, P.T.; Muthamilarasn, M.; Handa, A.K.; Arunachalam, A. 2024. Transcriptional and physio-chemical responses of *Tectona grandis* L. triggered by teak defoliator. *Plant Stress* 12:100468.

VALIDACIÓN DE LA GENERACIÓN DE UNA SERIE EXTENDIDA DE PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA PRODUCTIVA DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Zeman*, E.^{1,3}; Maio, S.²; Serio, L.²

¹ Estación Experimental INTA Famaillá. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta 301, Km 32, 4032, Famaillá, Argentina

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. San Martín 4453 (1417) CABA, Argentina

³ Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. Pte. N. Kirchner 1900, 4000, San Miguel de Tucumán. Argentina

*Contacto: zeman.eugenia@inta.gob.ar

Palabras clave: variabilidad climática; lluvia; Famaillá

INTRODUCCIÓN

El pedemonte y la llanura productiva de Tucumán tienen precipitaciones medias anuales que van desde los 600 mm hasta los 1500 mm. Aproximadamente el 80 % de estas precipitaciones ocurren en el semestre cálido, lo que permite que la mayoría de los cultivos desarrollados en la región completen satisfactoriamente su ciclo en condiciones de secano. Si bien esta abundancia de precipitaciones resulta beneficiosa para la producción agrícola, el aumento de su intensidad y frecuencia puede generar efectos negativos, como erosión hídrica, escurrimiento superficial, pérdida de suelos y, en algunos casos, inundaciones. Por ello, resulta necesario comprender las oscilaciones de las series temporales del clima.

Diversos autores han caracterizado cambios en las precipitaciones en el norte argentino (Perez, 2009; Blanco, 2021). Minetti *et al.* (2014) describieron dos saltos climáticos en el cuasi monzón sudamericano en las décadas de 1910 y 1950, y plantearon la posibilidad de un nuevo cambio en la década de 2010. Por su parte, Jacques-Coper y Garreaud (2015) describieron un salto climático en 1970 y lo relacionaron al cambio de fase de la Oscilación Decadal del Pacífico, asimismo, Hurtado *et al.* (2013), encontraron un incremento en la precipitación estival.

El objetivo de este trabajo es generar una serie temporal de precipitaciones, extendida, validada y corregida por sesgo a partir de datos observados y de reanálisis, que permita mejorar los estudios climáticos de variabilidad y tendencias de precipitaciones en el pedemonte tucumano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con datos pluviométricos mensuales provenientes del registro instrumental convencional de la EEA INTA Famaillá (27° 03'S; 65° 25'O) del período 1967-2025 (INTA, 2026) y datos interpolados en grilla obtenidos de reanálisis del conjunto ERA5 (KNMI Climate Explorer, 2025) del período 1901-2023.

La serie temporal de precipitaciones de reanálisis fue sometida a un proceso de validación y corrección, tomando como referencia el registro instrumental, mediante el método de ajuste por cuantiles mensuales (Cannon *et al.*, 2015), con el objetivo de reducir sesgos sistemáticos del reanálisis respecto de los datos observados. Se formó una serie extendida de 125 años de precipitaciones mensuales para Famaillá, considerando los datos corregidos de reanálisis 1901-1966 y las observaciones del INTA 1967-2025.

Para el análisis descriptivo de la serie extendida se calcularon los totales anuales de precipitación y parámetros estadísticos (media, desvío estándar, cuantiles y valores extremos). El análisis estadístico de la serie incluyó la estimación de la tendencia de la precipitación anual mediante regresión lineal simple. Se calcularon las anomalías de precipitación anual de los 125 años de la serie, con el propósito de detectar la existencia de períodos húmedos y secos. Luego, con el fin de detectar posibles cambios en la precipitación anual, se repitió el cálculo de los parámetros estadísticos dividiendo la serie en cuatro ventanas temporales fijas de 31 y 32 años: 1901-1931; 1932-1962; 1963-1993 y 1994-2025. Se aplicó la prueba t para analizar la diferencia entre las precipitaciones medias de cada período.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan las series de precipitaciones anuales de ambas fuentes de datos (ERA5 e INTA) y la obtenida a partir de la corrección aplicada a los datos de ERA5 (serie extendida). La serie extendida de 125 años (1901-2025) tiene un valor medio de 1248 mm, con una tendencia positiva de 13,9 mm por década.

Las anomalías de la precipitación anual (Figura 2) muestran un predominio de valores negativos durante la primera mitad del registro y positivos durante la segunda mitad, otro indicativo de la tendencia creciente de la precipitación.

Los resultados del análisis estadístico de la serie extendida completa y dividida en ventanas están resumidos en la Tabla 1. Si bien se observan valores medios crecientes, la prueba t no indicó diferencias significativas entre períodos.

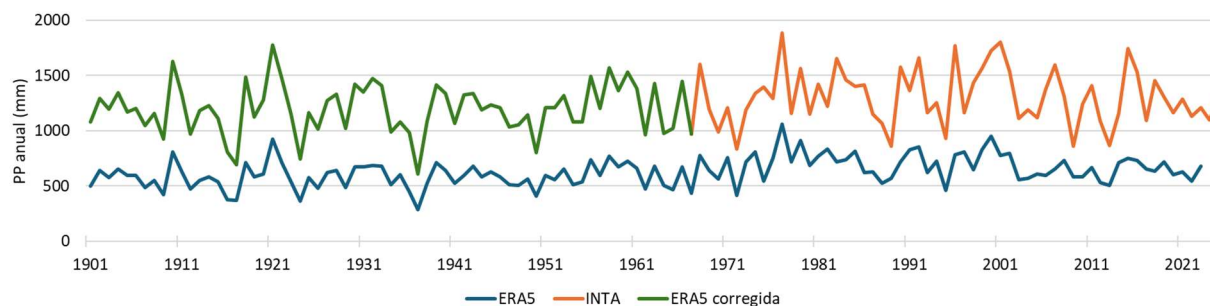


Figura 1. Series de totales anuales de precipitación. Estación INTA Famaillá (1967-2025), simulados ERA5 (1901-2023) y simulados corregidos (1901-1966).

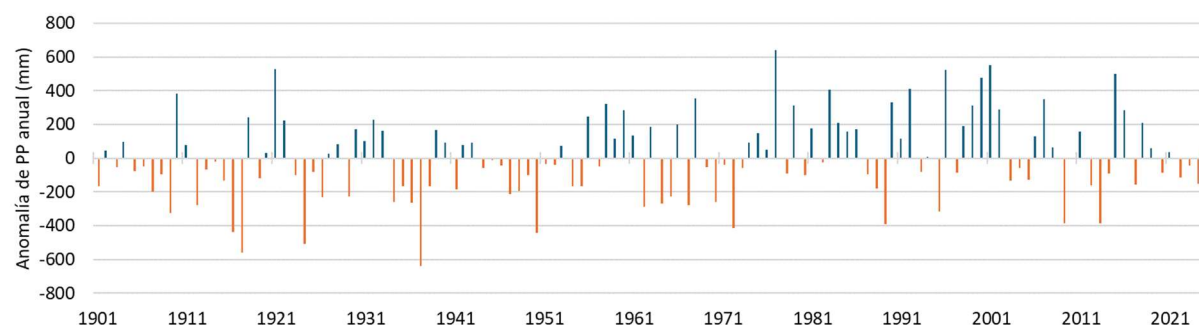


Figura 2. Anomalías de la precipitación anual en Famaillá, obtenidas a partir de la serie extendida (1901-2025).

Tabla 1. Parámetros estadísticos de la serie extendida de precipitaciones anuales de Famaillá y de cada una de las cuatro ventanas temporales consideradas. Todos los valores están expresados en mm, excepto del coeficiente de variación (sin unidades).

	1901-1931	1932-1962	1963-1993	1994-2025	1901-1925
Media	1192	1199	1292	1306	1248
Desvío estándar	238	217	254	254	244
Coef. de variación	0,20	0,18	0,20	0,19	0,20
Máxima	1777	1568	1889	1800	1889
Mínima	689	611	836	861	611
1er cuartil	1064	1073	1149	1130	1085
Mediana	1182	1205	1295	1266	1210
3er cuartil	1327	1352	1438	1475	1409

CONCLUSIONES

Se generó una serie de datos de precipitaciones para Famaillá, combinando observaciones con datos simulados corregidos por la técnica de cuantiles. La serie temporal extendida muestra una tendencia creciente de casi 14 mm por década, comportamiento compatible con lo observado por otros autores para la región del noroeste argentino. Sin embargo, el análisis de la serie fraccionada por periodos de 31-32 años no resultó en diferencias significativas entre los distintos periodos.

REFERENCIAS

- Blanco, P. 2021. La intensidad de las precipitaciones y el cambio climático: tendencias y variabilidades interanuales registradas en algunas localidades del Nordeste Argentino (período 1971-2019). *Revista Geográfica Digital* 17:46-63.
- Cannon, A.; Sobie, S.; Murdock, T. 2015. Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate* 28:6938–6959.
- Hurtado, R.; Fernández Long, M.E.; Serio, L.; Portal, M.R.; Valdiviezo Corte, M. 2013. Estudio de las precipitaciones en la región Noroeste de la Argentina. *Agraria* VII:69-73.
- INTA. 2026. Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Ministerio de Economía. <https://siga.inta.gob.ar/>
- Jacques-Coper, M.; Garreaud, R.D. 2015. Characterization of the 1970s climate shift in South America. *International Journal of Climatology* 35:2164-2179.
- KNMI Climate Explorer. 2025. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>
- Minetti, J.; Poblete, A.; Vargas, W.; Ovejero, D. 2014. Saltos climáticos en el Cuasi Monzon Sudamericano. *Breves Contribuciones del Instituto de Estudios Geográficos* 25:36-57.
- Perez, M. 2009. El comportamiento temporal y espacial de los montos anuales de precipitación en el Nordeste argentino – 1931/2005. *Revista Geográfica Digital* 12:3.

Área temática 6

Adversidades agroclimáticas

Riesgo y vulnerabilidad sociambiental

CARACTERÍSTICAS Y CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE HUMEDAD HACIA EL CENTRO ARGENTINO EN ENERO Y JULIO

Andruchow Colombo*, C.¹; Doyle, M.E.^{1,2,3}; Viale, M.⁴

¹ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Intendente Güiraldes 2160 Ciudad Universitaria Pabellón Cero + Infinito, Buenos Aires, 1428, Argentina

² CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Intendente Güiraldes 2160 Ciudad Universitaria Pabellón II 2° piso, Buenos Aires, 1428, Argentina

³ Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) – IRL 3351 – CNRS-CONICET-IRD-UBA, Intendente Güiraldes 2160 Ciudad Universitaria Pabellón II 2° piso, Buenos Aires, 1428, Argentina

⁴ CONICET – Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Av. Dr. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín, Mendoza, 5500, Argentina

*Contacto: catalina.andruchow.colombo@gmail.com

Palabras clave: corriente en chorro de capas bajas; trayectorias; precipitación

INTRODUCCIÓN

El vapor de agua es un gas que, si bien existe en una baja concentración en la atmósfera, es esencial para los procesos de radiación, de energía, de conversión en calor latente y de transporte que se dan en ella (Wang y Paegle, 1996). Las corrientes en chorro de capas bajas (CCCB) juegan un papel importante en el transporte de humedad, desde los trópicos-subtrópicos hacia latitudes medias (Gimeno *et al.*, 2016). En Sudamérica una de las más estudiadas se encuentra al este de los Andes (CCCBSA) y se la define como una corriente angosta de aire que circula predominantemente de norte a sur a una velocidad superior a los 36 km h⁻¹ y asociada a cortantes verticales superiores a los 21,6 km h⁻¹ en los primeros 1.500 m de la atmósfera (Vera *et al.*, 2006). Las precipitaciones intensas del 6 y 7 de enero de 2001 asociadas a la CCCBSA iniciada dos días antes provocaron inundaciones importantes debido al exceso de agua en el suelo; destruyeron cultivos, frenaron la actividad ganadera e inutilizaron gran cantidad de hectáreas (Scarpati *et al.*, 2008). Por lo tanto, en este trabajo se analiza dicho evento de transporte de humedad asociado a precipitaciones significativas en el centro de Argentina como un primer paso para profundizar la relación entre las posibles fuentes de vapor de agua (Atlántico norte-Amazonía o Atlántico tropical), los mecanismos de transporte de vapor de agua y las tormentas en el centro de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos horarios de enero y julio del reanálisis ERA5 para el período 2000-2022 de las variables: transporte de vapor integrado (TVI) verticalmente entre superficie y el tope de la atmósfera, precipitación total (prt) y altura geopotencial en 1000 hPa (Z1000), en la región 0°-70° S y 100°O-20° O. Para seleccionar el caso de estudio de CCCB que llega al centro de Argentina y estuviera asociado a precipitaciones intensas en esa región se realizaron 3 pasos previos: 1) retener casos detectados de CCCB que cumplieran con las siguientes tres condiciones: a) que lleguen hasta 25° S, b) que en 25° S el viento sea del N o del NE, y c) que $TVI \geq 250 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para algún punto de retícula y algún momento dentro del transcurso del evento; 2) retener aquellos eventos que llegaran a una latitud al sur de 30° S; y 3) identificar los eventos asociados a precipitación en el centro de Argentina (30° S-40° S; 50° O-80° O) mediante los gráficos de análisis unificado global de precipitación diaria basado en pluviómetros del CPC (<https://psl.noaa.gov/mddb2/makePlot.html?variableID=2781>). A partir de ellos se seleccionó el evento de precipitación más intensa. Luego, se estimaron las trayectorias hacia atrás a partir del modelo HYSPLIT (Trayectoria integrada lagrangiana de partícula única híbrida) para determinar las posibles fuentes de humedad del evento de precipitación más intenso; así como también se analizaron las condiciones sinópticas favorables (en el nivel de 1000 hPa) para ocurrencia de precipitación intensa en el centro de Argentina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el paso 1 del proceso de selección del caso de estudio, se identificó un total de 275 eventos, de los cuales sólo 52 casos llegaron al centro del país (paso 2). Para el último paso, se encontró que solamente 37 de ellos estuvieron asociados a precipitación en el lugar. Por último, viendo la cantidad de precipitación diaria para cada caso en el centro argentino, se seleccionó el evento que tuvo la precipitación más alta asociada: la precipitación del 5 de enero de 2001 registrada a las 12 UTC. Para identificar las fuentes de humedad en el caso de estudio, la Figura 1 presenta las trayectorias hacia atrás partiendo de los puntos identificados el día 4 de enero a las 13 UTC dentro de la región para RS (18°-25° S; 57.50°-54° O) al considerar 240 h de trayectoria (se considera que el vapor de agua permanece en el aire alrededor de unos 10 días como máximo (Drumond *et al.*, 2008).

Para el período de tiempo considerado la masa de aire no ha tenido contacto con fuentes oceánicas. Por lo tanto, si bien estas trayectorias tienden hacia el océano, no es posible aseverar que el vapor de agua transportado por la CCCBSA en esta situación tuviera su fuente en el Atlántico sur. Se analizó la evolución de: las condiciones sinópticas en 1000 hPa, el transporte de humedad (magnitud y dirección) y la precipitación desde el momento de inicio de la CCCBSA detectada hasta el inicio de la precipitación en el centro del país. En líneas generales, la intensidad del TVI varía a lo largo de las horas previas al evento de precipitación en concordancia con la profundidad y extensión espacial del anticiclón del Atlántico Sur y de las precipitaciones asociadas en la región.

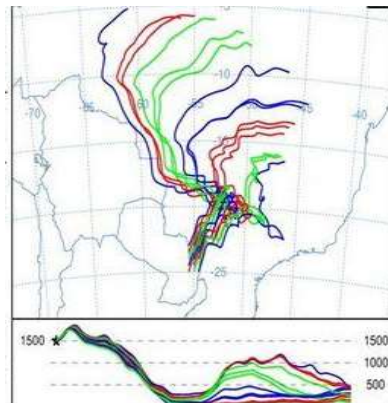


Figura 1. Trayectorias hacia atrás partiendo de distintos puntos dentro de las regiones definidas para RS el 4 de enero 2001 a las 13 UTC donde se identifica una CCCBA para 240 h de duración. ★ representa los puntos de partida desde donde se calculan las trayectorias. En la parte inferior se muestra el movimiento vertical de las distintas parcelas partiendo desde los 1.500 m.

En cuanto a las precipitaciones que estuvieron asociadas al evento bajo estudio, ellas registraron valores superiores máximos entre 120 y 130 mm para el día 6 de enero de 2001 alrededor del punto ubicado en 37,5° S y 59° O según la NOAA. Para el día siguiente las precipitaciones estaban más distribuidas sobre el centro de Argentina con valores máximos entre 80 y 90 mm ubicados aproximadamente en 33° S y 66° O (figuras no mostradas).

CONCLUSIONES

La metodología presentada para identificar la CCCBSA que ingresa en el norte de la Argentina propone criterios para discriminar el posible origen de la masa de aire. Sin embargo, el análisis de un caso de estudio indica que no es suficiente para alcanzar este objetivo. En el caso de estudio, si consideramos el tiempo promedio de permanencia del vapor de agua en la atmósfera, no estaría asociado directamente a fuentes oceánicas, sino más bien pareciera estar asociado a un proceso de reciclaje en el centro de Brasil. Las lluvias torrenciales del 6 y 7 de enero de 2001 en el centro de Argentina (principalmente en el oeste y noroeste de Buenos Aires) provocaron inundaciones catastróficas que inutilizaron millones de hectáreas, destruyeron cultivos, paralizaron la actividad tambera y ganadera. Sin embargo, la situación grave comenzó en noviembre del año anterior cuando los suelos ya se encontraban con excedentes de agua. En otras palabras, su capacidad de almacenaje y absorción estaban en su límite máximo y la napa freática se encontraba a muy poca profundidad (Scarpatti *et al.*, 2008).

REFERENCIAS

- Drumond, A.; Nieto, R.; Gimeno, L.; Ambrizzi, T. 2008. A Lagrangian identification of major sources of moisture over central Brazil and La Plata basin. *Journal of Geophysical Research* 113:D14128.
- Gimeno, L.; Dominguez, F.; Drumond, A.; Kumar, R.; Marengo, J.; Nieto, R.; Ramos, A.M.; Reason, C.J.C.; Taschetto, A.S.; Trigo, R. 2016. Major mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Annual Review of Environment and Resources* 41:117-141.
- Scarpatti, O.E.; Forte Lay, J.A.; Capriolo, A.D. 2008. La inundación del año 2001 en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Mundo Agrario* 9(17): <https://www.mundoagrario.unlp.edu.ar/article/view/v09n17a05/908>.
- Vera, C.; Baez, J.; Douglas, M.; Emmanuel, C.B.; Marengo, J.; Meitin, J.; Nicolini, M.; Nogues-Paegle, J.; Paegle, J.; Penalba, O.; Salio, P.; Saulo, A.C.; Silva Dias, M.A.; Silva Dias, P.; Zipser, E. 2006. The South American low-level jet experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society* 87(1):63-78.
- Wang, M.; Paegle, J. 1996. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux. *Journal of Geophysical Research* 101:7291-7303.

HELADAS AGROMETEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON EL OCEANIC NIÑO INDEX (ONI) EN ZAVALLA, SANTA FE

Barbero*, S.¹; Dickie, M.J.^{1,2}; Jozami, E.^{1,3,4}

¹ Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Cs Agrarias. Universidad Nacional de Rosario (UNR)

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

³ Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario

⁴ Instituto de investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario Zavalla, 2125, Argentina

*Contacto: sachabarbero@gmail.com

Palabras clave: adversidad; variabilidad climática; ENOS

INTRODUCCIÓN

Las heladas constituyen una de las adversidades meteorológicas más relevantes para la producción agropecuaria, ya que condicionan las fechas de menor riesgo para el establecimiento y desarrollo de los cultivos y pueden ocasionar daños significativos durante etapas fenológicas sensibles. Las heladas agrometeorológicas se definen por temperaturas del aire iguales o inferiores a 0 °C a 5 cm sobre el suelo; en ausencia de mediciones a esa altura, suele utilizarse como criterio equivalente una temperatura mínima igual o inferior a 3 °C en abrigo meteorológico (Pascale y Damario, 2004). Entre los factores que modulan su ocurrencia se encuentra la variabilidad climática interanual asociada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El Oceanic Niño Index (ONI), uno de los indicadores más utilizados para caracterizar las fases del ENOS, presenta una fuerte relación con las temperaturas invernales y la ocurrencia de heladas en gran parte de la región pampeana (Müller *et al.*, 2000). En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la relación entre el ONI y la frecuencia de heladas agrometeorológicas registradas en la estación de Zavalla (Santa Fe), tanto a escala anual como para el trimestre junio-julio-agosto (JJA), y evaluar la evolución temporal de dicha relación mediante correlaciones de Pearson calculadas en ventanas móviles de 20 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros diarios de temperatura mínima del aire (Tmin) correspondientes al período 1973-2025 de la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (33°01' S; 60°53' O; 50 m s.n.m.). Se definió como día con helada agrometeorológica (HA) aquel con temperatura mínima igual o inferior a 3 °C en abrigo meteorológico. Para cada año y para el trimestre junio-julio-agosto (JJA) se contabilizó el número de días con heladas, definiéndose nHA como el número anual de heladas y nHJJA como el correspondiente al trimestre JJA. La relación entre el ONI de JJA y las variables nHA y nHJJA se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson para la serie completa y mediante ventanas móviles de 20 años desplazadas anualmente. Asimismo, para cada correlación se calculó el valor de p, considerándose significativas aquellas con p<0,05. Complementariamente, se elaboraron diagramas boxplots para comparar la distribución de nHA y nHJJA entre las distintas fases del ENOS. El procesamiento de datos y la elaboración de gráficos se realizaron con RStudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de la serie 1973-2025 se determinó que el número promedio anual de HA fue de 47 eventos, con una variabilidad interanual comprendida entre 26 heladas en 1998 y 74 en 2022. La distribución mensual mostró que julio fue el mes con mayor frecuencia de ocurrencia, con un promedio de 13 heladas, seguido por agosto y junio con 12 y 10 eventos, respectivamente.

La Figura 1 muestra la distribución del nHA y nHJJA bajo las distintas fases del ENOS. Para la serie completa 1973-2025 (Figura 1a y 1b), se observó una tendencia a mayores valores de HA durante los años clasificados como La Niña y menores valores durante los eventos El Niño, tanto a escala anual como para el trimestre JJA. Sin embargo, la dispersión observada dentro de cada fase evidencia una elevada variabilidad interanual en la ocurrencia de heladas siendo la fase la Niña la que presenta mayor dispersión de datos. Al considerar únicamente los últimos 20 años (Figura 1c y 1d), la diferenciación entre fases del ENOS resultó más marcada. En este período, los años asociados a eventos La Niña presentaron las mayores medianas y la mayor variabilidad en el nHA, mientras que los años El Niño mostraron consistentemente menores frecuencias de ocurrencia. Esta respuesta más definida sugiere un fortalecimiento reciente de la relación entre el ENOS y la ocurrencia de heladas en la región de estudio.

La fase Neutral presentó valores intermedios entre las fases La Niña y El Niño, aunque con elevada dispersión interanual, evidenciando la posible influencia de otros forzantes atmosféricos y regionales sobre la ocurrencia de heladas.

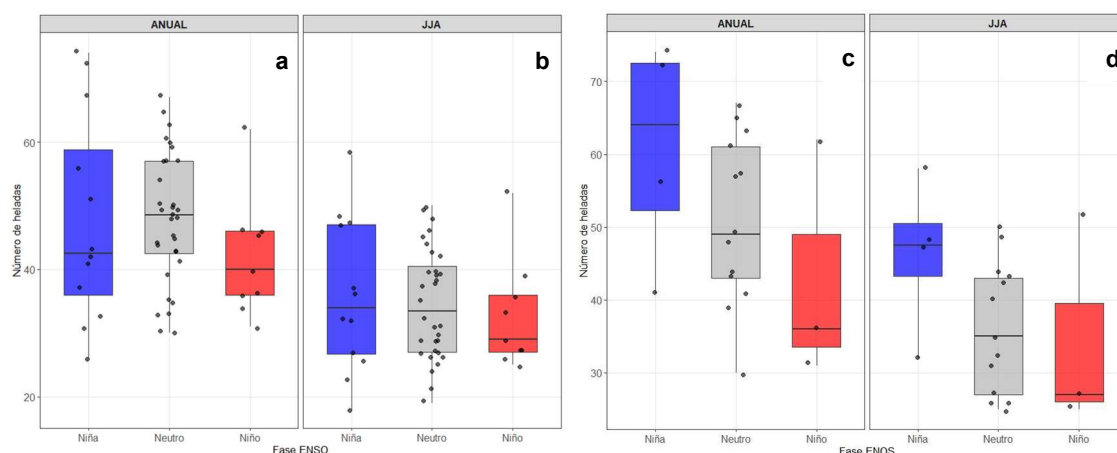


Figura 1. Frecuencia de días con heladas por año (a) y por trimestre JJA (b) en función de la fase del ENOS para la serie 1973-2025 y por año (c) y por trimestre JJA (d) para los últimos 20 años.

La evolución temporal de los coeficientes de correlación de Pearson evidenció una relación negativa entre el ONI y la ocurrencia de HA, tanto para el nHA como para el nHJJA (Figura 2). La intensidad de esta relación presentó un comportamiento cíclico a lo largo de las ventanas temporales analizadas. Inicialmente, las correlaciones fueron moderadas y alcanzaron sus valores más negativos en la ventana 1978–1997. Posteriormente, la asociación tendió a debilitarse, con coeficientes cercanos a cero, mientras que en las ventanas más recientes volvió a intensificarse, especialmente para el nHA, con valores próximos a $r = -0,55$.

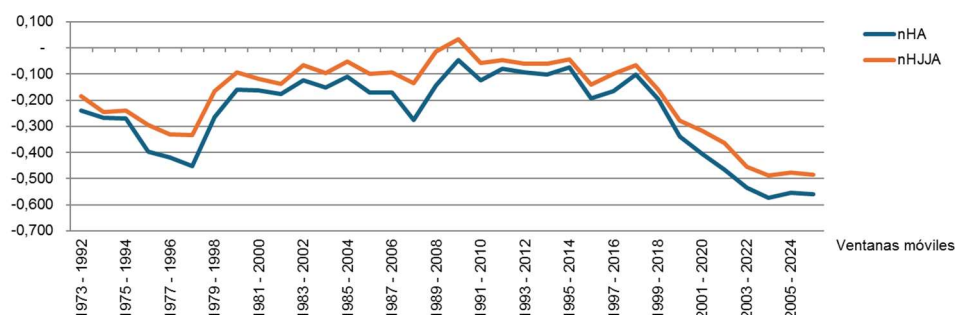


Figura 2. Evolución temporal de los coeficientes de correlación de Pearson entre el ONI y la ocurrencia de heladas (nHA y nHJJA) calculados mediante ventanas móviles. Se observa un comportamiento cíclico y un fortalecimiento reciente de las correlaciones negativas.

CONCLUSIONES

Se observó una relación negativa entre el ONI y la ocurrencia de HA en Zavalla, evidenciándose una mayor frecuencia de eventos durante fases La Niña y una menor ocurrencia durante eventos El Niño, tanto en el nHA como en el nHJJA, tal como fue observado en los diagramas boxplots y en los análisis de correlación. Asimismo, el análisis mediante ventanas móviles mostró que esta relación no fue constante en el tiempo, sino que presentó periodos de mayor y menor intensidad, reflejando un comportamiento cíclico e interdecadal. En particular, se evidenció un fortalecimiento reciente de la asociación, especialmente para el nHA, sugiriendo que la influencia del ENOS sobre la ocurrencia de heladas en la región podría extenderse más allá del trimestre invernal y contribuir parcialmente a explicar su variabilidad interanual. Esta variabilidad temporal agrega complejidad a la relación ENOS–heladas y dificulta la identificación de respuestas climáticas estables y persistentes.

REFERENCIAS

- Müller, G.V.; Nuñez, M.N.; Seluchi, M.E. 2000. Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Humeda region. *International Journal of Climatology* 20:1619–1637.
- Pascale, A.J.; Damario, E.A. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Fenología Agrometeorológica*. Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Buenos Aires, Argentina. 550 p.

EFFECTIVIDAD DE LA RESPUESTA ESTATAL ANTE SEQUÍAS: ANÁLISIS DEL MONITOREO Y LA EMERGENCIA (2020-2023)

de Estrada*, M.¹; Alvarez Zanelli, E.²

¹ Universidad Nacional de la Plata, Ruta 77 km 20, CP 7605, Argentina

² IIPAC-UNLP-CONICET, Calle 47 n°162 - La Plata, CP 1900, Argentina

*Contacto: mariadeestrada1@gmail.com

Palabras clave: evento Niña; gestión integral del riesgo; SIG

INTRODUCCIÓN

Argentina utiliza desde 2018 la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías (MNMS) para evaluar el impacto de este evento mediante indicadores meteorológicos, agronómicos, hidrológicos y sociales. Esta mesa interinstitucional genera mapas mensuales que categorizan la sequía (leve, moderada o severa) (MAGYP, 2022), los cuales sirven para informar a distintos públicos (tomadores de decisión, productores, investigadores), pero también como base técnica para declarar emergencias agropecuarias bajo la Ley 26.509. Para acceder a estos beneficios, es requisito que el daño sea real y superior al 50 % de la capacidad productiva y que el área haya sido declarada en estado de emergencia y/o desastres inicialmente por la provincia.

La importancia de este sistema se evidenció durante el evento "La Niña" (2020-2023), que provocó una crisis histórica: la producción de soja cayó un 44,8 % (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2023) y la de maíz un 34,6 %, lo que resultó en una contracción del 4,9 % del PBI nacional (Banco Central de la República Argentina, 2023).

El objetivo de este trabajo es analizar la efectividad de las resoluciones de Emergencia y/o Desastre Agropecuario por sequía de acuerdo con los niveles de intensidad identificados en el mapa de sequías de la MNMS buscando coincidencias y diferencias que nos permitan responder a estos interrogantes ¿productores que atraviesan circunstancias de sequía similares acceden a los mismos beneficios? ¿Qué indican las distintas estrategias provinciales de gestión del evento?

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se definió por las provincias del noreste y centro de la República Argentina según el criterio de regionalización SINAGIR: Formosa, Chaco, Corrientes, Misiones, Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa. El rango temporal se estableció de julio de 2020 a junio de 2023, tres campañas agrícolas en las que las actividades económicas se vieron afectadas por el último efecto Niña presente en Argentina. Se utilizaron los archivos vectoriales en formato shapefile de los mapas generados por la MNMS y publicados en el informe mensual de sequías (SAGYP, 2020 -2023), y los archivos vectoriales en formato shapefile de áreas declaradas en emergencia y/o desastre agropecuario en base a las resoluciones por sequía publicadas (Ministerio de Justicia de la Nación, 2020-2023). El total de archivos procesados fue de 36 mapas de sequía con sus 3 categorías: leve = 1, moderada = 2 y severa = 3; y de 4 mapas con la información de áreas declaradas en emergencia, uno por cada año de análisis (2020, 2021, 2022, 2023). La información vectorial de sequía publicada por la MNMS se procesó en dos etapas, una primera etapa de preparación que incluyó: clasificación y renombrado de archivos, revisión y adecuamiento de tablas de atributos, chequeo de concordancia entre campos numéricos y alfabéticos, reproyección a un mismo sistema, ajuste de geometrías de capa y disolución de objetos por atributos. Posteriormente, una segunda etapa de procesamiento raster que incluyó: conversión a formato raster de cada uno de los 36 archivos vectoriales correspondientes a datos mensuales (3 años) en celdas de 1000x1000 m de resolución espacial, unificación en un stack multibanda, y finalmente un análisis de álgebra de mapas en los que se definieron los eventos acumulados de sequía. El procesamiento que tuvo en cuenta la intensidad y la duración de las sequías se basó en el siguiente criterio: si en 3 meses consecutivos un pixel suma un valor igual o superior a 6 se "dispara" el evento al que denominamos "acumulado-sequía". Esto significa que dicho pixel acumuló al menos 3 eventos seguidos de sequía moderada ($2+2+2 = 6$) y/o al menos un evento de sequía severa ($1+2+3 = 6$; $2+2+3 = 7$, etc.). Esto configura una serie de 34 trimestres (desde Jul-Ago-Sep 2020 hasta May-Jun-Jul 2023) en los que se distribuyen valores entre 0 (no hubo detección de sequía) y 9 (presentó 3 eventos seguidos de sequía severa). Respecto al análisis de las resoluciones, se recopilaban las actas de las 28 Comisiones de Emergencia Agropecuaria y las resoluciones emitidas entre septiembre de 2020 y diciembre de 2023; posteriormente, se seleccionaron aquellas correspondientes al evento de sequía de las provincias del área de estudio. Se analizaron un total de 36 resoluciones por evento de sequía de acuerdo con el año de su declaración: 4 en 2020, 1 en 2021, 8 en 2022 y 23 en 2023. Las resoluciones incluyen distintas escalas geográficas del área declarada: toda la provincia, un conjunto de departamentos, polígonos georreferenciados y unidades administrativas de menor escala. También se utilizan distintos períodos de vigencia y una amplia variedad de producciones afectadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación de los eventos “acumulado-sequía”, configura una relación espacio-temporal diferente a la que se presenta en los 36 mapas originales de la MNMS. Hay una reducción del área afectada y una variación temporal que llega a un máximo de 17 eventos para el área de mayor incidencia en el rango temporal de las tres campañas. Se observan áreas sin resolución (respuesta estatal) afectadas por las condiciones de sequía más intensas, y áreas con resoluciones ejecutadas pero que no alcanzaron los criterios de sequía definidos para este trabajo (Figura 1). Sí es de destacar que en el año de mayor intensidad del evento sequía (2023), la coincidencia aumenta sustancialmente.

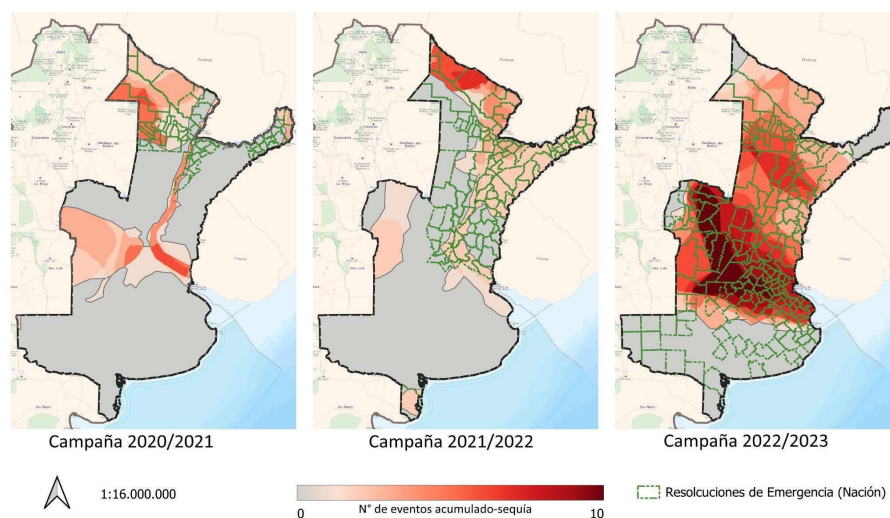


Figura 1. Mapas acumulados de sequía y de resoluciones de emergencia agropecuaria para las 3 campañas analizadas.

CONCLUSIONES

Este análisis permite abrir distintas discusiones importantes para la potencial mejora del sistema. Productores que atraviesan el mismo evento no acceden a los mismos beneficios y esta diferencia está mediada por una multiplicidad de factores. Entre ellos podemos destacar: la complejidad que media entre el monitoreo de sequías y sus distintos impactos territoriales; la diferencia en los tiempos y modos de gestionar el evento por las diferentes administraciones provinciales en la identificación de áreas, períodos y producciones; los tiempos inherentes a las actividades declaradas por sequía, tanto en su afectación como en su recuperación. Esto lleva a estrategias provinciales divergentes que obstaculizan el rol del estado nacional como “unificador” de esas diferencias. La identificación de estas discrepancias constituye un insumo fundamental para revisar y perfeccionar los procedimientos de monitoreo, delimitación y declaración de emergencias agropecuarias a escala nacional.

REFERENCIAS

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. MAGYP. 2022. Protocolo Interinstitucional de gestión de información ante la amenaza de sequías en el territorio argentino. Buenos Aires, https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_edda/sequia/2022_protocolo_sequias.pdf
- Bolsa de Cereales. 2023. Informe cierre de campaña: Soja 2022/23. Depto. Estimaciones Agrícolas; Instituto de Estudios Económicos.
- Bolsa de Cereales. 2023. Informe cierre de campaña: Maíz 2022/23. Depto. Estimaciones Agrícolas; Instituto de Estudios Económicos
- Banco Central de la República Argentina. 2023. Informe de política monetaria: octubre de 2023.
- Ministerio de Justicia de la Nación. Sistema Argentino de información jurídica (SAIJ). InfoLeg – Información Legislativa y Documental. <https://www.infoleg.gob.ar/>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. SAGYP (2023). Informe sequía junio 2020- julio 2023. [Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías](#)

CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA DE RÁPIDO DESARROLLO 2017-2018 EN LA PAMPA HÚMEDA MEDIANTE MÚLTIPLES ÍNDICES

Kucheruk*, L.L.^{1,2}; Spennemann, P.C.²; Rivera, J.A.³; Naumann, G.⁴; Peretti, M.⁵; Otkin, J.A.⁶

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN-UBA). Ciudad de Buenos Aires, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Ciudad de Buenos Aires, Argentina

³ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Ciudad de Mendoza, Argentina

⁴ European Research Executive Agency. Ciudad de Bruselas, Bélgica

⁵ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía (FAUBA). Ciudad de Buenos Aires, Argentina

⁶ Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin. Ciudad de Madison, Estados Unidos

*Contacto: lkucheruk@smn.gob.ar

Palabras clave: humedad del suelo; evapotranspiración; reanálisis

INTRODUCCIÓN

Las Sequías de Rápido Desarrollo (SRD) se caracterizan por una rápida intensificación (menor a un mes), provocando impactos severos en la producción agrícola (Otkin *et al.*, 2021). Estos eventos se estudian generalmente a partir de índices basados en la humedad del suelo (HS), en la demanda evaporativa (ET) y en la combinación de variables meteorológicas (Christian *et al.*, 2024). Estudios regionales (Lovino *et al.*, 2025; Kucheruk *et al.*, 2024) confirman su ocurrencia en la Pampa Húmeda Argentina, una región de gran importancia agrícola y, por lo tanto, vulnerable a las sequías. Dado que la identificación de estos eventos es sensible al índice seleccionado (Otkin *et al.*, 2024), el objetivo de este trabajo es analizar el evento de SRD ocurrido entre finales de 2017 e inicios del 2018 en la Pampa Húmeda (Kucheruk *et al.*, 2024) y evaluar su detección mediante el uso comparativo de tres índices y dos bases de datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio del evento 2017-2018 se utilizaron tres índices de SRD basados en distintas variables, considerando el período de referencia 1982-2022. Se empleó el Flash Drought Intensity Index (FDII, Otkin *et al.*, 2021), derivado de percentiles de HS; el Standardized Evaporative Stress Ratio (SESR, Christian *et al.*, 2022), basado en percentiles de ET y evapotranspiración potencial (ETP); y el Standardized Precipitation Evapotranspiration Index a escala mensual (SPEI-1), siguiendo el criterio de Noguera *et al.* (2020). El dominio de estudio abarcó la Pampa Húmeda Argentina, Uruguay y el sur de Brasil (28°-40° S, 65°-52° O), empleando datos de reanálisis de ERA-5 Land (0,1° x 0,1°) y MERRA-2 (0,5° x 0,625°). El análisis se realizó a escala pentádica (5 días) desde la primera pentada de noviembre de 2017 hasta la primera de junio de 2018. Adicionalmente, los resultados se contrastaron con el producto fAPAR de MODIS (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation). La metodología detallada para el procesamiento de datos, el cálculo de los índices y la validación regional de los reanálisis mediante el modelo BHOA se describen en Kucheruk *et al.* (2026).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la evolución del evento de SRD (2017-2018) en la Pampa Húmeda. En noviembre de 2017, los tres índices (FDII, SESR y SPEI-1) indicaban condiciones normales (valores altos en los percentiles de FDII y SESR y valores positivos del SPEI-1). En diciembre emergieron condiciones secas que se intensificaron hasta marzo de 2018 (percentiles del FDII y SESR cercanos a cero en gran parte de la región y valores del SPEI-1 por debajo de -1,5), mostrando una evolución temporal similar tanto para el ERA-5 Land como para el MERRA-2. Para junio de 2018, se observó una recuperación general. Pese a este acuerdo temporal, la extensión espacial de la SRD detectada varió según el índice y reanálisis. El FDII registró la mayor área afectada en ambas bases de datos (especialmente en MERRA-2). El SESR identificó una mayor extensión con el ERA-5 Land, mientras que el SPEI-1 lo hizo con el MERRA-2. El análisis de las anomalías de fAPAR respaldó esta evolución: la vegetación pasó de un estado saludable en noviembre a un estrés pronunciado en marzo, coincidiendo con la intensificación de la sequía, para luego recuperarse en junio. Finalmente, las anomalías acumuladas de fAPAR (septiembre-marzo) revelaron valores fuertemente negativos (de -3 a -6), mostrando un mayor acuerdo espacial con la duración del evento detectada por el índice FDII en ambos reanálisis.

CONCLUSIONES

Los tres índices (FDII, SESR y SPEI-1) y las dos bases de datos (ERA5-Land y MERRA-2) detectaron el evento de SRD de 2017-2018 en la Pampa Húmeda. Sin embargo, pese al acuerdo temporal en la intensificación de las

condiciones secas, la extensión espacial del evento difirió considerablemente. Estas discrepancias se atribuyen a dos factores clave: primero, a los umbrales específicos que cada índice exige para categorizar una sequía como una SRD; y segundo, a las diferencias estructurales entre los reanálisis tales como su resolución, la profundidad considerada para la HS (estrato fijo de 0-100 cm en el ERA5-Land frente a la zona de raíces variable en el MERRA-2) y las distintas parametrizaciones en el cálculo de la ETP. En consecuencia, para futuros estudios se destaca la necesidad de aplicar análisis de sensibilidad sobre los umbrales de los índices, con el fin de evaluar rigurosamente su impacto en la identificación y monitoreo de las SRD.

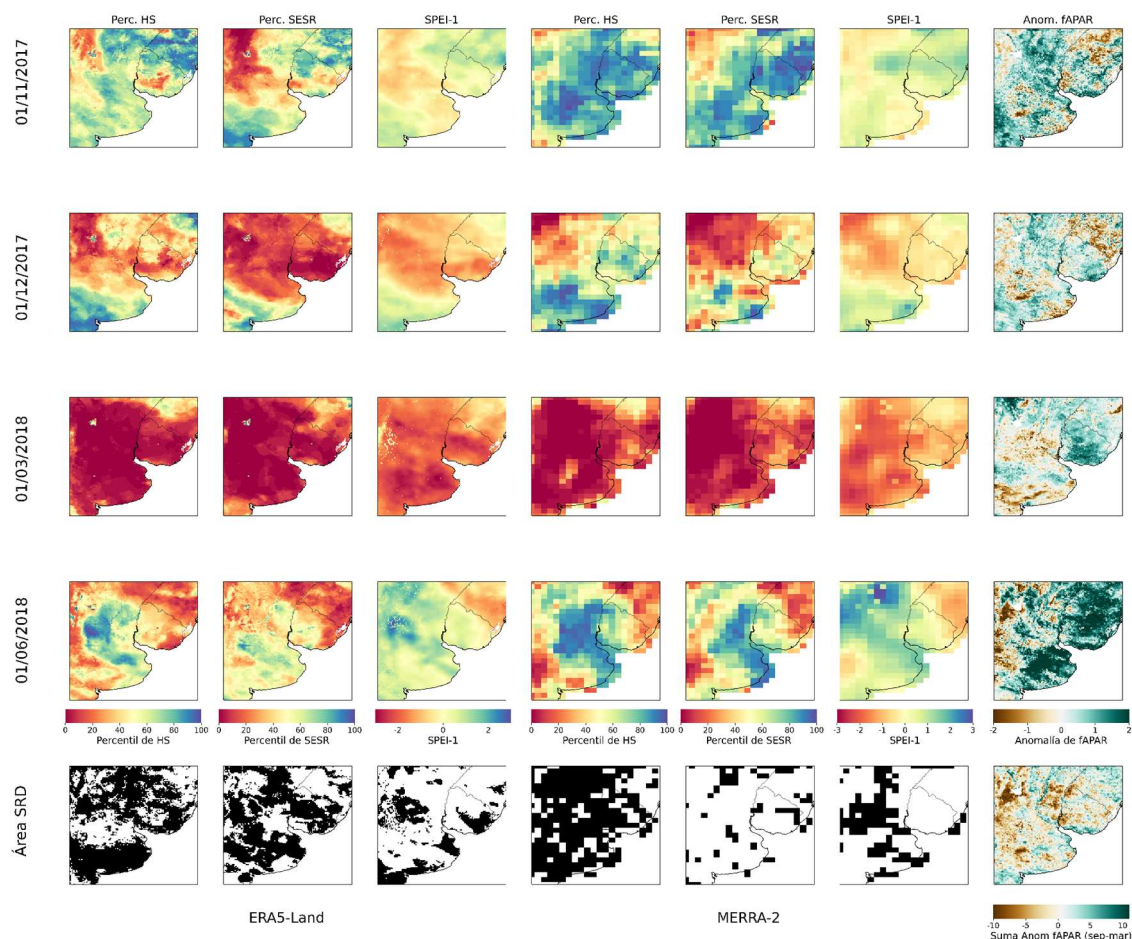


Figura 1. Evolución espacial del percentil de HS y SESR, y del índice SPEI-1 durante la primera p ntada de noviembre y diciembre de 2017, y de marzo y junio de 2018 (filas 1 a 4), para el ERA-5 Land (columnas 1 a 3 y MERRA.2 (columnas 4 a 6). La columna 7 muestra las anomal as estandarizadas de fAPAR para los 10 d as anteriores a cada p ntada. La fila 5 muestra los puntos de ret cula donde se detect  SRD por cada  ndice durante el evento, junto a las anomal as de fAPAR acumuladas.

REFERENCIAS

- Christian, J.I.; Basara, J.B.; Lowman, L.E.L.; Xiao, X.; Mesheske, D.; Zhou, Y. 2022. Flash drought identification from satellite-based land surface water index. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 26:100770.
- Christian, J.I.; Hobbins, M.; Hoell, A.; Otkin, J.A.; Ford, T.W.; Cravens, A.E.; Powlen, K.A.; Wang, H.; Mishra, V. 2024. Flash drought: a state of science review. *WIREs Water* 11:e1714.
- Kucheruk, L.L.; Spennemann, P.C.; Naumann, G.; Rivera, J.A. 2024. Climatolog a de sequ as de r pido desarrollo en la Pampa H meda Argentina. *Revista Meteorol gica* 49:025.
- Kucheruk, L.L.; Spennemann, P.C.; Rivera, J.A.; Naumann, G.; Peretti, M.; Otkin, J.A. 2026. Flash drought climatology over southeastern South America: sensitivity to index and reanalysis selection and potential causes. *International Journal of Climatology* 46(6):e70327.
- Lovino, M.A.; Pierrestegui, M.J.; Masaro, L.; M ller, O.V.; M ller, G.V.; Berbery, E.H. 2025. Agricultural flash droughts and their impact on crop yields in southeastern South America. *Environmental Research Letters* 20:054058.
- Noguera, I.; Dom nguez-Castro, F.; Vicente-Serrano, S.M. 2020. Characteristics and trends of flash droughts in Spain, 1961–2018. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1472:155–172.
- Otkin, J.A.; Zhong, Y.; Hunt, E.D.; Christian, J.I.; Basara, J.B.; Nguyen, H.; Wheeler, M.C.; Ford, T.W.; Hoell, A.; Svoboda, M.; Anderson, M.C. 2021. Development of Flash Drought Intensity Index. *Atmosphere* 12:741.
- Otkin, J.A.; Zhong, Y.; Ford, T.W.; Anderson, M.C.; Hain, C.; Hoell, A.; Svoboda, M.; Wang, H. 2024. Multivariate evaluation of flash drought across the United States. *Water Resources Research* 60:e2024WR037333.

ANÁLISIS DE FORZANTES DE SEQUÍAS DE Rápido Desarrollo EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA

Kucheruk*, L.L.^{1,2}; Spennemann, P.C.²; Rivera, J.A.³; Naumann, G.⁴; Gómez Mayol, M.¹; Valdora, M.⁵; Rodríguez, D.⁶

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN-UBA). Ciudad de Buenos Aires, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Ciudad de Buenos Aires, Argentina

³ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Ciudad de Mendoza, Argentina

⁴ European Research Executive Agency. Ciudad de Bruselas, Bélgica

⁵ Instituto de Cálculo (IC UBA-CONICET). Ciudad de Buenos Aires, Argentina, ⁶ Universidad Torcuato di Tella. Ciudad de Buenos Aires, Argentina

*Contacto: lkucheruk@smn.gob.ar

Palabras clave: condiciones previas; evento extremo; índices

INTRODUCCIÓN

El estudio de las Sequías de Rápido Desarrollo (SRD) ha cobrado gran relevancia desde el evento ocurrido en Estados Unidos en 2012, el cual provocó impactos severos y cuantiosas pérdidas económicas (Hoerling *et al.*, 2013). Desde entonces, las investigaciones se han enfocado en identificar las SRD mediante diversas metodologías, sin alcanzar un consenso general sobre los índices más adecuados hasta la fecha (Christian *et al.*, 2024). Por otro lado, diversos trabajos han analizado los mecanismos de inicio/ forzantes de estos fenómenos (e.g., Osman *et al.*, 2021; Lovino *et al.*, 2025), coincidiendo en que se desarrollan bajo condiciones de elevadas temperaturas (T), déficit de precipitación (P) y una alta demanda evaporativa. Dado que el sudeste de Sudamérica (SESA) es una región frecuentemente afectada por SRD (Kucheruk *et al.*, 2026), resulta crucial evaluar si la caracterización de las condiciones que anteceden a estos eventos varía según la metodología de detección. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar las condiciones precursoras de las SRD en el SESA detectadas mediante tres índices diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se caracterizaron las anomalías precursoras de T, P, ETP y ET-ETP (déficit hídrico) asociadas a eventos de SRD identificados en el período 1982-2022 en el SESA (10°-40° S; 69°-36° O). La detección de eventos se realizó mediante tres índices: el *Flash Drought Intensity Index* (FDII, Otkin *et al.*, 2021), derivado de percentiles de humedad del suelo (HS); el *Standardized Evaporative Stress Ratio* (SESR, Christian *et al.*, 2022), basado en percentiles de ET y ETP; y el *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* mensual (SPEI-1, Noguera *et al.*, 2020). El análisis consideró las cuatro pentadas previas al inicio de cada evento. Para homogeneizar la comparación, todas las variables precursoras se transformaron en anomalías estandarizadas. Para evaluar cómo fueron las condiciones generales antes de la ocurrencia de las SRD identificadas se emplearon los métodos de *composite* y de probabilidad condicional (Devore, 2008). Finalmente, se aplicó el método de Lasso Logística (James *et al.*, 2023) para identificar qué precursores resultan estadísticamente significativos para la ocurrencia de las SRD. Para esta última metodología no se consideraron las anomalías de ETP ya que la ETP está contenida en el déficit hídrico porque el método de Lasso Logística descarta las variables de alta colinealidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las anomalías previas a las SRD reveló que, para los índices FDII y SPEI-1, estos eventos son precedidos por un déficit de P, elevadas T, aumento de la ETP y un intenso déficit hídrico (anomalías negativas de ET-ETP), mientras que, para el SESR, las anomalías son de signo opuesto. Tomando como referencia el índice SPEI-1 (Figura 1), el análisis de la anomalía dominante muestra que en la cuarta pentada previa (4P), las anomalías de P dominan en el sur de Brasil, Uruguay y el centro-este de Argentina, mientras que en el resto del SESA predominan las anomalías de ETP. Durante la 3P, el déficit de P reduce su área de influencia, y predominan de manera similar las anomalías de ETP y ET-ETP. En las dos pentadas más cercanas al evento (2P y 1P), el déficit hídrico fue la anomalía dominante en casi toda la región. Cabe destacar que las anomalías de T rara vez resultaron dominantes de forma aislada. El FDII (no se muestra) exhibió una evolución similar al SPEI-1, aunque el dominio de la anomalía de ET-ETP se estableció de manera más temprana en gran parte de la región. Por otra parte, el SESR (no se muestra) presentó un patrón diferente: durante las pentadas 4P, 3P y 2P, la variable dominante en gran parte del dominio fue la anomalía de P, transicionando a ET-ETP recién en la 1P. El análisis de la probabilidad condicional (no se muestra) reveló que, para los tres índices considerados, en gran parte del dominio, la mayoría de las SRD se inician bajo condiciones similares (no hay eventos de anomalías extremas que condicionen los resultados del *composite*). Por último, el análisis de Lasso

Logística (no se muestra) reveló que las anomalías negativas de P, para los índices SPEI-1 y FDII son estadísticamente significativas en todas las péntadas analizadas y en gran parte de la región. Esto significa que, para los dos índices mencionados, las anomalías de P influyen en el inicio de los eventos de SRD. Por otra parte, para el SPEI-1 y el SESR, las anomalías negativas (para el SPEI-1) y positivas (para el SESR) de ET-ETP también son significativas a partir de 3P. No se observó un patrón significativo para las anomalías de T para ninguno de los índices considerados.

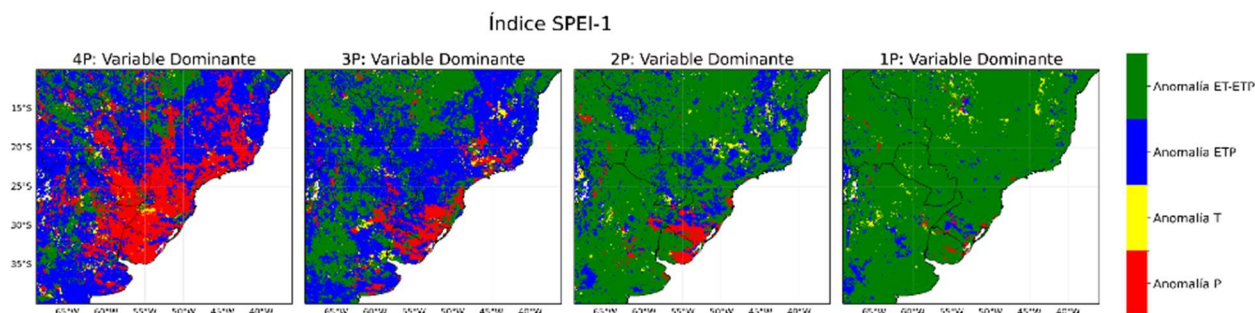


Figura 1. Anomalia estandarizada media predominante previa al inicio de las SRD detectadas en el período 1982-2022 con el índice SPEI-1.

CONCLUSIONES

Los índices FDII y SPEI-1 mostraron condiciones previas al inicio de las SRD similares: anomalías positivas de T y ETP y anomalías negativas de P y ET-ETP que respaldan los resultados encontrados en trabajos anteriores en otras regiones del mundo, mientras que el SESR mostró condiciones opuestas. Si tomamos en cuenta que el SESR identifica a las SRD a partir de un déficit hídrico elevado (ET-ETP lo más negativo posible) parece contradictorio que en el análisis de composite y en el Lasso Logística se exhibieron anomalías positivas de dicha variable. Sin embargo, esto se debe a qué el SESR indica que las SRD se inician cuando se comienzan a observar estas condiciones de déficit hídrico. Esto es diferente a los índices FDII y SPEI-1 porque las SRD se inician luego de cumplir una condición de rápida intensificación relacionadas a un rápido secamiento (rápida disminución de la humedad del suelo para el FDII y una rápida caída e inversión del signo del SPEI-1 para el índice de SRD basado en el SPEI-1). Por lo tanto, las condiciones previas analizadas en las péntadas anteriores al inicio del SESR no representan los precursores de la sequía, sino que representan las condiciones previas a dichos precursores. Esto significa, que mientras que en el FDII y en el SPEI-1 el análisis de las péntadas previas indican los forzantes que generan el evento, para el SESR se indican las condiciones previas a dichos forzantes. Dentro de la ocurrencia del evento de SRD del SESR si se observan las condiciones de anomalías negativas en las anomalías de ET-PET (por definición del índice). Esto demuestra que los análisis son sensibles a la construcción del índice considerado y resalta la importancia de clasificar a los diferentes índices de SRD existentes para determinar qué índices son adecuados para detectar los eventos y qué índices son adecuados para su monitoreo.

REFERENCIAS

- Christian, J.I.; Hobbins, M.; Hoell, A.; Otkin, J.A.; Ford, T.W.; Cravens, A.E.; Powlen, K.A.; Wang, H.; Mishra, V. 2024. Flash drought: a state of science review. *WIREs Water* 11:e1714.
- Devore, J.L. 2008. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Cengage Learning. Ciudad de México, México. 744 p.
- James, G.; Witten, D.; Hastie, T.; Tibshirani, R.; Taylor, J. 2023. An introduction to statistical learning with applications in Python. Springer. Cham, Suiza. 614 p.
- Kucheruk, L.L.; Spannemann, P.C.; Rivera, J.A.; Naumann, G.; Peretti, M.; Otkin, J.A. 2026. Flash drought climatology over southeastern South America: sensitivity to index and reanalysis selection and potential causes. *International Journal of Climatology* 46(6):e70327.
- Lovino, M.A.; Pierrestegui, M.J.; Masaro, L.; Müller, O.V.; Müller, G.V.; Berbery, E.H. 2025. Agricultural flash droughts and their impact on crop yields in southeastern South America. *Environmental Research Letters* 20:054058.
- Noguera, I.; Domínguez-Castro, F.; Vicente-Serrano, S.M. 2020. Characteristics and trends of flash droughts in Spain, 1961–2018. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1472:155–172.
- Osman, M.; Zaitchik, B.F.; Badr, H.S.; Christian, J.I.; Tadesse, T.; Otkin, J.A.; Anderson, M.C. 2021. Flash drought onset over the contiguous United States: Sensitivity of inventories and trends to quantitative definitions. *Hydrology and Earth System Sciences* 25:565–581.
- Otkin, J.A.; Zhong, Y.; Hunt, E.D.; Christian, J.I.; Basara, J.B.; Nguyen, H.; Wheeler, M.C.; Ford, T.W.; Hoell, A.; Svoboda, M.; Anderson, M.C. 2021. Development of Flash Drought Intensity Index. *Atmosphere* 12:741.

EFFECTO DE EVENTOS COMPUESTOS CÁLIDOS Y SECOS SOBRE EL NDVI INTEGRADO EN ÁREAS SOJERAS DE ARGENTINA

Merino*, R.A.^{1,2}; Martorelli, B.A.^{2,3}; Gassmann, M.I.^{1,2}

¹ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO-FCEyN-UBA), Ciudad Universitaria, C1428EHA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Avenida Godoy Cruz 2290, C1425FQB, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

³ Instituto de Clima y Agua, CIRN-CNIA (INTA), N. Repetto 2751 (B1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina

*Contacto: rmerino@at.fcen.uba.ar

Palabras clave: eventos climáticos extremos; imágenes satelitales; cultivos agrícolas

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha incrementado la ocurrencia de eventos climáticos extremos, en particular aquellos que combinan sequías y altas temperaturas. Estos eventos compuestos pueden generar impactos mayores que los eventos individuales, afectando la sustentabilidad de los ecosistemas y de los sistemas productivos. Desde una perspectiva ecofisiológica, la combinación de estrés térmico e hídrico afecta procesos clave de las plantas, como la fotosíntesis, la regulación estomática y la actividad enzimática. Esto puede reducir la eficiencia de crecimiento de la vegetación y, en consecuencia, la biomasa total de los cultivos. En este trabajo se analiza la ocurrencia de eventos compuestos secos y cálidos en la región pampeana argentina durante campañas agrícolas recientes, y se evalúa su impacto sobre el NDVI integrado en zonas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a la región núcleo-productiva de Argentina (27-40° S; 58-66° O). El análisis se centró en campañas agrícolas entre 2019-2020 y 2023-2024, considerando el período de desarrollo de la soja (*Glycine max* (L.) Merr.). Se combinaron datos de cobertura del suelo MODIS MCD12Q1, de resolución espacial nominal de 500 m (aproximadamente 0,25 km² o 25 ha por píxel), con el mapa nacional de cultivos de INTA (De Abelleira y otros, 2024) para identificar píxeles de MODIS asociados mayoritariamente a soja. Sobre estos puntos se calculó el NDVI integrado (i-NDVI; Lara *et al.*, 2018) por campaña, como la suma temporal del NDVI ponderada por el intervalo entre observaciones. Dado que el NDVI es adimensional, el i-NDVI resultante se expresa en días y fue utilizado como indicador de la actividad acumulada de la vegetación.

La caracterización climática se realizó a partir de datos de reanálisis ERA5, con resolución espacial de 0,25° × 0,25°, utilizando temperatura máxima diaria y el índice de sequías SPEI (Vicente-Serrano *et al.*, 2010) estimado a partir de ventanas de 10 días. Se definió la ocurrencia de “eventos secos” cuando el valor mínimo estacional del SPEI fue menor o igual a -2, y “eventos cálidos” cuando se registraron más de 25 días con temperatura máxima superior a 32 °C. A partir de estos umbrales, cada punto de retícula de cada campaña fue clasificado como normal, sequía, cálido o compuesto. Para la representación espacial, el i-NDVI de los píxeles MODIS mayoritariamente sojeros se promedió dentro de cada celda ERA5.

Finalmente, se comparó la distribución del i-NDVI entre categorías mediante gráficos boxplot, con el objetivo de evaluar el impacto relativo de los eventos secos, cálidos y compuestos sobre los cultivos de soja.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el i-NDVI para las campañas 2019-2020 a 2023-2024. En términos generales, en el área de estudio predominan valores entre 45 y 65 días. Algunas temporadas presentan reducciones marcadas del i-NDVI, como se observa en el suroeste del dominio durante la campaña 2020-2021 y en gran parte del centro y noreste del dominio durante la campaña 2022-2023.

La clasificación permitió identificar regiones afectadas por eventos compuestos durante varias campañas, con presencia localizada en 2019-2020 y 2021-2022, y un evento de gran extensión espacial durante 2022-2023. Asimismo, se observaron eventos individuales de estrés térmico extendidos en el norte y oeste del dominio durante 2020-2021, y condiciones de sequía en sectores de la provincia de Buenos Aires durante 2021-2022 (Figura 2).

La Figura 3 muestra las distribuciones del i-NDVI para los distintos tipos de eventos. Los casos normales presentan un valor medio cercano a 59 días y un intervalo intercuartil aproximadamente entre 55 y 63 días. Los eventos cálidos muestran valores similares, aunque con un desplazamiento del primer cuartil hacia valores más bajos. En los eventos secos se observa una reducción más marcada del i-NDVI, con gran parte de la distribución por debajo de la mediana de los casos normales. Por último, los eventos compuestos presentan los valores más bajos entre las categorías analizadas, con una disminución de la mediana, del intervalo intercuartil y de los valores altos de la distribución.

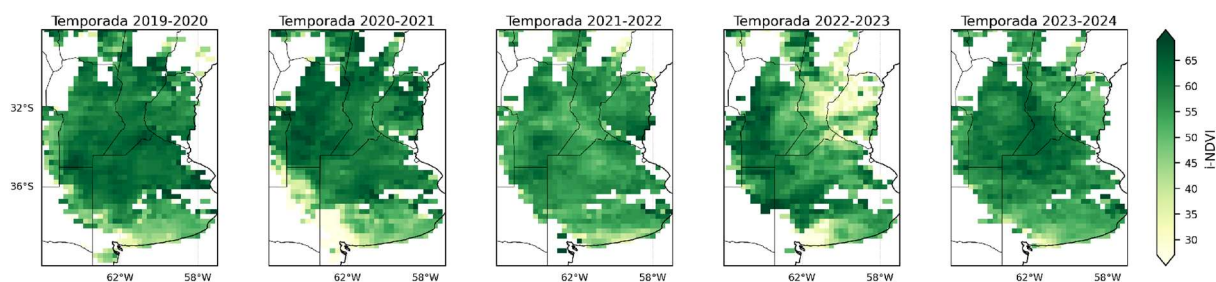


Figura 1. Distribución espacial del NDVI integrado promedio (días) para las campañas agrícolas 2019-2020 a 2023-2024, calculado a partir de píxeles MODIS mayoritariamente sojeros dentro de cada celda ERA5.

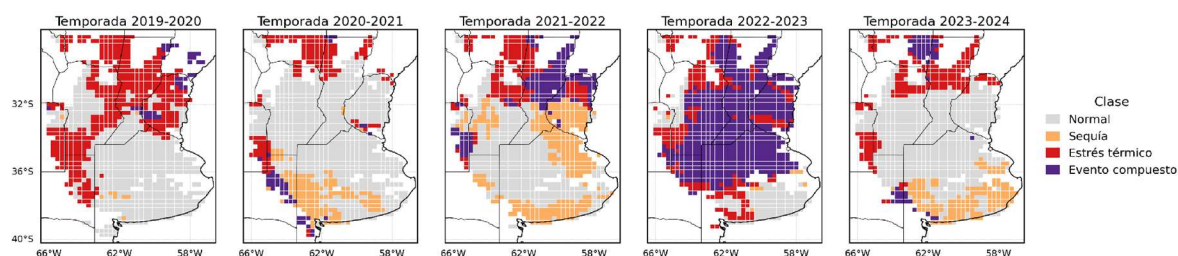


Figura 2. Clasificación espacial de las condiciones climáticas durante las campañas agrícolas 2019-2020 a 2023-2024.

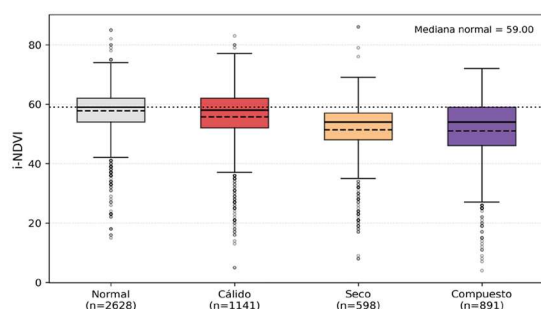


Figura 3. Distribución del i-NDVI (días) según el tipo de evento climático identificado, considerando conjuntamente las campañas agrícolas 2019-2020 a 2023-2024. La línea punteada indica la mediana de los casos normales.

CONCLUSIONES

La clasificación de eventos permitió identificar regiones afectadas por eventos compuestos durante las campañas 2019-2020 a 2023-2024. Estas regiones coincidieron, en varios casos, con áreas de reducción del i-NDVI. En particular, algunos de estos eventos estuvieron vinculados con impactos significativos sobre la producción agrícola, lo que resalta la importancia de profundizar en los mecanismos físicos y ecofisiológicos asociados a su ocurrencia.

En general, la distribución del i-NDVI bajo eventos compuestos presenta valores más bajos que frente a eventos secos, y considerablemente menores que en condiciones cálidas o normales. Ante estreses individuales, las plantas pueden activar mecanismos de mitigación, como la regulación estomática para disipar calor mediante transpiración o el desarrollo de raíces más profundas frente a condiciones de déficit hídrico. Sin embargo, la combinación de estrés térmico y limitaciones hídricas puede superar estos mecanismos de respuesta, generando impactos más severos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el PIDAE Clásico N°24 (EX-2024-04115022). Rodrigo Merino contó con el apoyo de una beca otorgada por CONICET.

REFERENCIAS

- De Abelleira, D.; Iturralde Elortegui, M.D.R.M.; Zelaya, D.K.; Portillo, J.E.; Melilli, M.P.; Franzoni, A.; ... Vitale, J.P. 2024. Mapa Nacional de Cultivos campaña 2023/2024. Versión 1. Publicación N° 6.
- Lara, B.; Gandini, M.; Gantes, P.; Matteucci, S.D. 2018. Regional patterns of ecosystem functional diversity in the Argentina Pampas using MODIS time-series. *Ecological Informatics* 43:65-72.
- Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I.; Angulo, M.; El Kenawy, A. 2010. A new global 0.5 gridded dataset (1901–2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology* 11(4):1033-1043.

FORTALEZAS Y LIMITACIONES DE CHIRPS V3 PARA SU USO EN LA DETECCIÓN DE SEQUÍAS AGRÍCOLAS

Peretti*, M.^{1,2}; Spennemann, P.^{2,3}; Carrasco Galleguillos, F.⁴; Bonhaure, D.⁵; Skansi, M.³

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Buenos Aires, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Dorrego 4019, CABA, Argentina

⁴ Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Ministerio de Economía. Av. Paseo Colón 982, Buenos Aires, Argentina

⁵ Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica

*Contacto: merperetti@agro.uba.a

Palabras clave: valores extremos de precipitación; probabilidad de detección

INTRODUCCIÓN

La detección y el monitoreo de sequías agrícolas requieren información de precipitación confiable y espacialmente representativa. En regiones con escasa cobertura de estaciones meteorológicas, los productos satelitales constituyen una fuente fundamental de información. Entre ellos, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) ha sido ampliamente utilizado en Sudamérica para el monitoreo de sequías y el cálculo de índices climáticos (Rivera *et al.*, 2014; Cavalcante *et al.*, 2020). En 2025 se publicó CHIRPS v3 (Funk *et al.*, 2026), que incorpora mejoras en el procesamiento de los datos y una mayor cantidad de observaciones pluviométricas, aunque aún existen escasos antecedentes de validación en la región. Dado que este producto constituye una fuente de información para el Indicador Combinado de Sequía (CDI) utilizado en el monitoreo de sequías agrícolas (Cammalleri *et al.*, 2021), el objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de CHIRPS v3 para representar eventos secos en regiones agrícolas del sur de Sudamérica durante el período 2012–2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el desempeño de CHIRPS v3 durante el período 2012–2024 utilizando registros de precipitación de 31 estaciones meteorológicas. Para cada estación se extrajo la serie correspondiente del píxel de CHIRPS v3. A partir de ambos conjuntos de datos se calcularon los índices SPI-1 y SPI-3. Se excluyeron las estaciones con más del 20 % de datos faltantes en las series de datos observados, resultando 24 estaciones para el análisis del SPI-3 y 16 para el SPI-1. El desempeño de CHIRPS v3 se evaluó mediante la correlación de Spearman entre los SPI y las anomalías de precipitación derivadas de ambos conjuntos de datos. Además, se estimó la Probabilidad de Detección (POD) para los umbrales de sequía utilizados por el Indicador Combinado de Sequía (CDI): $SPI-3 \leq -1$ y $SPI-1 \leq -2$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación del producto CHIRPS v3 frente a registros de estaciones meteorológicas muestra, en general, una buena correspondencia (Figura 1). Las correlaciones entre anomalías de precipitación observadas y satelitales son elevadas en la mayor parte del dominio ($r \geq 0,8$), con los valores más altos concentrados en la llanura pampeana, en el noreste argentino y en el sur este de Brasil (Figura 1a). Al comparar los índices SPI-1, la correlación disminuye moderadamente, lo cual se asocia a la mayor sensibilidad de este índice a discrepancias en la estimación mensual puntual de precipitación (Figura 1b). Sin embargo, para el SPI-3 la concordancia se recupera (Figura 1b), con valores de r similares a los obtenidos para las anomalías de precipitación, evidenciando que la integración temporal de tres meses atenúa las diferencias entre ambas fuentes. La mayor correlación observada para el SPI3 respecto al SPI1 es consistente con lo reportado en la literatura, donde escalas temporales más largas resultan en series más estables y mejor acuerdo entre productos satelitales y observaciones (Rivera *et al.*, 2019; Pandey *et al.*, 2023). La capacidad de CHIRPS v3 para detectar eventos de sequía, evaluada mediante la Probabilidad de Detección (POD), muestra un comportamiento fuertemente dependiente de la escala temporal y del umbral utilizado (Figura 2). Para el SPI1 con umbral ≤ -2 , la POD resulta baja en la mayoría de las estaciones (predominantemente entre 0.2 y 0.4), lo que limita la utilidad del producto satelital para identificar episodios de déficit hídrico intenso a escala mensual. En contraste, para el SPI3 con umbral ≤ -1 el POD mejora sustancialmente, con valores superiores a 0.6 en la mayor parte del dominio y frecuentemente por encima de 0.8 en algunas estaciones meteorológicas de la región pampeana y de Brasil.

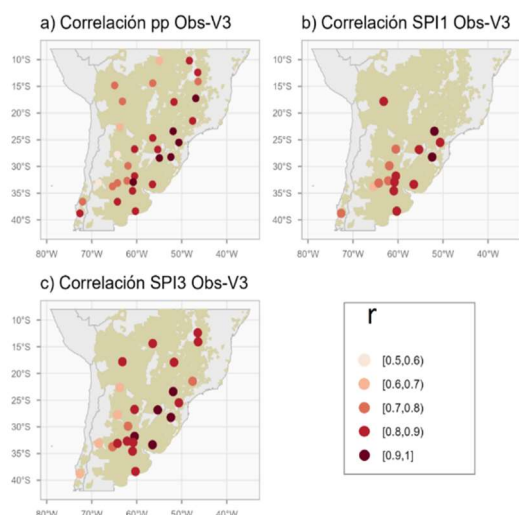


Figura 1. Correlaciones de Spearman entre series de datos observados y CHIRPS v3 para las variables: **a.** anomalías de la precipitación, **b.** SPI-1; y **c)** SPI-3.

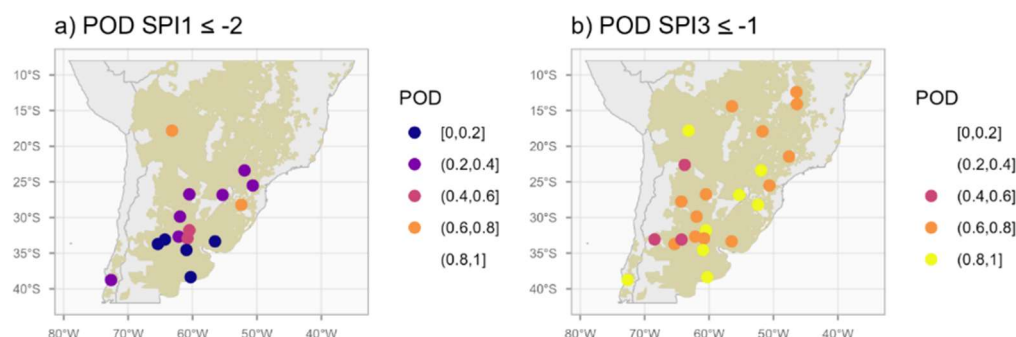


Figura 2. Probabilidad de detección (POD) de CHIRPS v3 frente a datos observados en estaciones meteorológicas para valores de: **a.** SPI-1 ≤ -2 y **b.** valores de SPI-3 ≤ -1 .

CONCLUSIONES

En conjunto, los resultados de este trabajo sugieren que CHIRPS v3 constituye una fuente adecuada para el monitoreo de sequías meteorológicas en Argentina cuando se emplea a escala trimestral (SPI3), aunque su capacidad de reproducir la variabilidad observada disminuye a escalas de acumulación mensuales (SPI1). El producto representa satisfactoriamente umbrales moderados ($\text{SPI} \leq -1$), con elevadas tasas de detección de eventos, pero su desempeño se deteriora notablemente ante eventos extremos ($\text{SPI} \leq -2$), lo que puede constituir una restricción relevante para la implementación operativa del índice CDI. Cabe señalar, no obstante, que el CDI emplea las condiciones del SPI de manera complementaria para determinar el inicio de una sequía: el umbral de activación requiere que $\text{SPI1} \leq -2$ o $\text{SPI3} \leq -1$, sin que ambas condiciones deban cumplirse de forma simultánea. En este marco, la menor capacidad de CHIRPS para capturar valores extremos en el SPI-1 se compensa parcialmente mediante el SPI-3, cuya detección es considerablemente más robusta.

REFERENCIAS

- Barbosa Lopes Cavalcante, R.; Batista da Silva Ferreira, D.; Rógenes Monteiro Pontes, P.; Gonçalves Tedeschi, R.; Wanzeler da Costa, C.P.; Barreiros de Souza, E. 2020. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia, *Atmospheric Research* 238:104879.
- Cammalleri, C.; Arias-Muñoz, C.; Barbosa, P.; de Jager, A.; Magni, D.; Masante, D.; Mazzeschi, M.; McCormick, N.; Naumann, G.; Spinoni, J.; Vogt, J. 2021. A revision of the Combined Drought Indicator (CDI) used in the European Drought Observatory (EDO). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21:481–495.
- Funk, C.; Peterson, P.; Harrison, L.; Saldivar, R.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Shukla, S.H.; Fink, A.H.; Davenport, F.; Peterson, S.H.; Turner, W.; Sonnier, A.; Budde, M.; Tabor, K.; Verdin, J.; Hauzaree, D.; Naim, M.; Alaso, D.; Husak, G. 2026. The Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations, version 3. *Scientific Data* 13:718.
- Pandey, V.; Srivastava, P.K.; Mall, R.K.; Munoz-Arriola, F.; Han, D. 2022. Multi-satellite precipitation products for meteorological drought assessment and forecasting in Central India. *Geocarto International* 37(7):1899-1918.
- Rivera J.A.; Marianetti G.; Hinrichs S. 2018. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina, *Atmospheric Research* 213:437-449.
- Rivera, J.A.; Hinrichs, S.; Marianetti, G. 2019. Using CHIRPS dataset to assess wet and dry conditions along the semiarid central-western Argentina. *Advances in Meteorology* 1:8413964.

A STRONG EL NIÑO EVENT IS DEVELOPING IN 2026: AN ANALYSIS OF INTERNATIONAL CLIMATE MODEL OUTPUTS

Ravelo, A.C.¹; Zanvettor, R.¹; Planchuelo*, A.M.¹

¹ Independent Researchers, CREAN-IMBIV-UNC, *Facultad de Ciencias Agropecuarias, Casilla de Correo 509, Córdoba 5000, Argentina*

*Contacto: aplanch@gmail.com

Palabras clave: climate dipoles; sea surface temperatures; trade winds; Southern Oscillation Index

INTRODUCTION

El Niño is a climate dipole related to changes in the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), pressures in the Pacific Ocean, Walker Circulation, Sea Surface Temperatures (SSTs), and the direction and intensity of trade winds (Fang and Yu, 2020). This phenomenon is considered as the warm phase of ENSO (El Niño Southern Oscillation) that occurs when the surface trade winds weaken or reverse direction, allowing the warmer waters of the South Equatorial Current and the Cromwell Current to be pushed southward and to flow eastward toward the coast of South America (Becker, 2023; Planchuelo *et al.*, 2025). By contrast, the cold phase of ENSO, called La Niña, occurs when the Walker circulation intensifies, causing the trade winds to strengthen as they blow westward thereby intensifying the circulation of the cold Humboldt Current. Both phases of ENSO are characterized by a chaotic dynamical atmospheric system (Vallis, 1986; Aceituno *et al.*, 2009) which generates global atmospheric disturbances such as drought and rainstorms in several regions worldwide.

Given the severe negative agroecological, economic, and social impacts of El Niño and La Niña, several international institutions are permanently monitoring variations in water temperatures, air temperatures, and wind direction in the intertropical Pacific, using buoys and satellites. Different indices are used to monitor the anomalies in sea surface water temperature in the Tropical Pacific Ocean. The most commonly used are the Niño Index 3.4 and the Oceanic El Niño Index (ONI). On the other hand, the Southern Oscillation Index (SOI) is a climate index that emerged from the analysis of the oscillations of the ITCZ in the Pacific Ocean. The SOI has a range of variation from -3.5 to $+3.5$. Negative SOI values are associated with the El Niño phenomenon and positive values are linked to La Niña. The NOAA Physical Sciences Laboratory has created a Multivariate ENSO Index (MEI.ext) using two variables: sea-level pressure and SST.

Many researchers from Latin American institutions, and particularly from Argentina, have analyzed the hydric extremes (droughts, water excess and flooding) in basins, agricultural areas, and their impacts on crops and fire outbreaks, some of which are directly related to El Niño o La Niña events (see Literature Review in Planchuelo *et al.* 2025).

Considering the information presented above and the data compiled by Planchuelo *et al.* (2025) on hydric extremes in Argentina, this presentation addresses the current (June 2026) atmospheric conditions suggesting the development of an upcoming El Niño event.

MATERIALS AND METHODS

The current parameters of the factors involved in the development of El Niño and La Niña events were evaluated on several official meteorological websites such as those of the World Meteorological Organization (WMO, <https://wmo.int/>), the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, <https://www.noaa.gov/>), the Climate Prediction Center (CPC of NOAA, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>), the European Space Agency (ESA, https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/El_Nino) and the Bureau of Meteorology of the Australian Government (BoM, <https://www.bom.gov.au/climate/ocean/sst/#/anom/global/weekly/20260712>). The illustrations presented are original adaptations of diagrams obtained from the mentioned data centers and others cited in Planchuelo *et al.* (2025).

RESULTS AND DISCUSSION

In recent readings, the SOI has remained at persistently negative values indicating abnormally high pressure in Darwin and low pressure in Tahiti. This reflects the breakdown of the Walker circulation which is a key indicator of a developing El Niño phase. As of mid-May 2026, sea surface temperature anomalies are increasing across the central-eastern equatorial Pacific, indicating an ongoing warming pattern that may support El Niño development. Moreover, the latest seasonal forecasts from WMO Global Producing Centers indicate a pronounced shift toward El Niño conditions, with probabilities reaching 80 % for June–August 2026, while the likelihood of ENSO-neutral conditions has diminished to 20 %, with a zero probability of La Niña conditions, as is shown in the Figure 1.

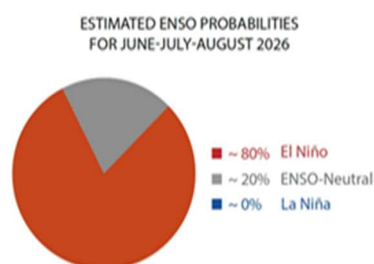


Figure 1. Data from WMO Global Producing Centers.

The latest relative Niño3.4 Index value for the week ending 14 Jun 2026 is $+0,92\text{ }^{\circ}\text{C}$, above the El Niño threshold ($+0,80\text{ }^{\circ}\text{C}$). All models, including the Bureau's, forecast the tropical Pacific to continue warming in the coming months. The web page of The Columbia Climate School of the International Research Institute for Climate and Society presents an interactive chart with 24 different ENSO prediction models which shows strong agreement that El Niño conditions will strengthen further during 2026 and persist into early 2027.

All models maintain positive Niño3.4 anomalies throughout the forecast period, indicating a high level of confidence in the ongoing warming of the central and eastern tropical Pacific. For July–September, August–October and September–November, El Niño conditions are forecast to remain dominant, with probabilities consistently near or above 90 %, whereas ENSO-neutral conditions persist at only around 10 %.

Figure 2 shows the atmospheric and oceanic states in the ITCZ during El Niño events. A: The trade winds circulation and B: The marine currents in the equatorial Pacific Ocean, the thermocline of warm ocean levels.

Both are original adaptations based on data extracted from the NOAA and the CPC and C: Average Relative SST Anomalies 17 May–13 Jun 2026 in the Pacific Ocean adapted from BoM.

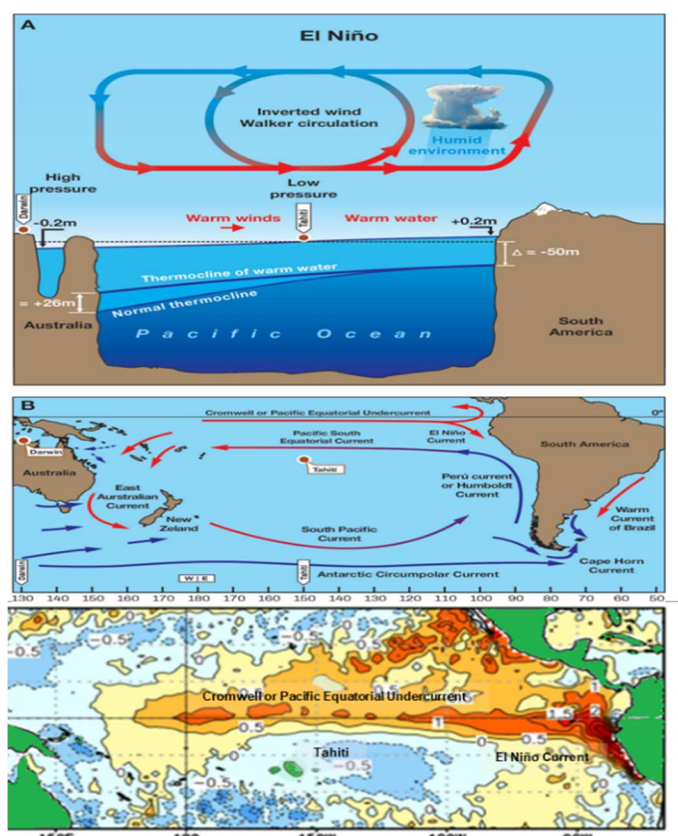


Figure 2. Atmospheric and oceanic states in the ITCZ during El Niño events. A: Winds circulation. B: Currents circulation. C: Average Relative SST Anomalies 17 May–13 Jun 2026 in the Pacific Ocean with El Niño current (Adapted and colored from BoM).

CONCLUSIONS

Many climatic forecasting centers indicate that ocean waters will likely continue to climb in the coming months, leading to what could be one of the strongest El Niño events in recorded history by the end of 2026. As of June 2026, NOAA has a 63 % probability of a very strong event.

In Argentina, the occurrence of El Niño is associated with significant rainfall events in central Pampas, that can be beneficial for some crops but can be detrimental for others, particularly in cropping areas prone to flooding. As predicted by the occurrence of a very strong El Niño, it is expected that in several agricultural regions of the humid pampas, there will be severe waterlogging conditions similar to those that occurred during the El Niño episode in 2015–2016 where agricultural losses of millions of pesos were recorded. That is why the agricultural sector must take the necessary precautions to minimize the consequences of the next warm episode of ENSO.

REFERENCES

- Aceituno, P.; Prieto, M. del R.; Solari, M.E.; Martínez, A.; Poveda, G.; Falvey, M. 2009. The 1877–1878 El Niño episode: associated impacts in South America. *Climatic Change* 92:389–416.
- Becker, E. 2023 What we talk about the jet stream and El Niño, <https://www.climate.gov/news-features/blogs/what-we-talk-about-when-we-talk-about-jet-stream-and-el-nino>, Consultado 08/09/2026.
- Fang, S.-W.; Yu, J.Y. 2020. A control of ENSO transition complexity by tropical Pacific mean SSTs through tropical-subtropical interaction. *Geophysical Research Letters* 47:e2020GL087933.
- Planchuelo, A.M.; Zanvettor, R.E.; Ravelo, A.C. 2025. The hydric extremes in Argentina with special report on the effect of the occurrences of El Niño and La Niña: an updated review. *AgriScientia* 42(2):69–108.
- Vallis, G.K. 1986 El Niño: A chaotic dynamical system? *Science* 232:243–245.

EFFECTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL CRECIMIENTO DIAMÉTRICO DE CLONES DE EUCALIPTO DE ALTA PRODUCTIVIDAD EN EL NORESTE ENTRERRIANO

Ramos*, S.¹; García, M. de los A.¹; Tesón, N.¹; De la Peña, C.¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Prov. 22 y FFCC s/n, Concordia, 3200, Argentina

*Contacto: ramos.sergio@inta.gob.ar

Palabras clave: cambio climático; genética clonal; silvicultura

INTRODUCCIÓN

La producción forestal es una de las principales actividades económicas del noreste de Entre Ríos, dominada por las forestaciones de eucalipto, en una región caracterizada por un clima subtropical sin estación seca y suelos arenosos profundos. Los excesos y déficits hídricos son fenómenos recurrentes en la zona, fuertemente asociados al patrón de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS): las anomalías positivas (El Niño) elevan la probabilidad de precipitaciones excesivas, mientras que las negativas (La Niña) inducen escenarios de sequía (Vera *et al.*, 2023). Aunque el registro histórico señala un aumento en la lluvia media y en los eventos extremos (Ramos y Garin, 2024), la frecuencia de las sequías no ha disminuido y su severidad podría intensificarse debido al aumento térmico derivado del cambio climático (Vera *et al.*, 2023). Este aumento térmico ya fue constatado en la región (Ramos y Garin, 2024), evidenciándose en la prolongada sequía de 2021-2023, que batió récords de temperatura e impactó fuertemente en la producción. En este contexto, el presente trabajo evaluó el efecto de las sequías, el material genético y el manejo silvícola sobre las tasas de incremento diamétrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron datos de un ensayo de densidad clonal de *Eucalyptus grandis* plantado en 2010 en Ubajay (Entre Ríos; -31.92, -58.26). El diseño fue en parcelas divididas, con 4 bloques; la parcela principal tres espaciamientos (4 m x 4 m; 4 m x 5 m y 4 m x 6 m), y la sub-parcela tres clones, de los más utilizados en esa época (EG-INTA-1; CIEF279; CIEF385). Cada sub-parcela tuvo 64 plantas, midiéndose las 36 centrales. Se evaluó el diámetro a 1.3m (DAP) en ocho periodos (2014-2024) y se calculó el incremento anual (IDAP), promediándolo en mediciones bianuales. Se utilizaron 1100 árboles, descartando fallas y dominadas (~15%). Para cada temporada de crecimiento se calculó el Índice de Precipitación Estandarizado a escala anual (SPI-12) a partir de la base de datos de la estación meteorológica de INTA Concordia (-31.37; -58.12), promediándose el SPI-12 para los periodos de medición bianuales. El IDAP se analizó mediante Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM) con la librería *glmmTMB* en R (R Core Team, 2023), especificando una familia Gamma con función de enlace log. Los efectos fijos definitivos incluyeron Clon, Espaciamiento, SPI-12, un término cuadrático [$I(SPI-12^2)$] para capturar posibles respuestas no lineales o de saturación en el crecimiento y las interacciones Clon x Espaciamiento y Clon x SPI-12. El error de la parcela principal se modeló con un intercepto aleatorio para el espaciamiento anidado en el bloque (1 | bloque/espac). En tanto, la dependencia serial de las mediciones sucesivas sobre un mismo árbol se controló mediante una estructura de covarianza autorregresiva de primer orden [AR(1)] a nivel de individuo $ar1(temporada + 0 | id_arbol_unico)$. La significancia de los efectos fijos se evaluó con pruebas de Wald Tipo III y los supuestos se validaron por análisis de residuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de de varianza (ANOVA Wald Tipo III) sobre el modelo mixto generalizado reveló que el incremento diamétrico anual (IDAP, cm) estuvo significativamente afectado por el clon ($\chi^2 = 43,73$, $p < 0,001$), el espaciamiento ($\chi^2 = 28,47$, $p < 0,001$) y el SPI-12 ($\chi^2 = 1251,71$, $p < 0,001$). Se detectó un efecto no lineal altamente significativo de la disponibilidad de agua [$I(SPI-12^2)$, $\chi^2 = 64,88$, $p < 0,001$]. La interacción Espaciamiento x SPI-12 no fue significativa ($p = 0,59$), demostrando que a las densidades evaluadas el impacto de las fluctuaciones climáticas sobre las tasas de incremento diamétrico operó de manera independiente al marco de plantación. Sin embargo, la interacción Clon x SPI-12 fue altamente significativa ($\chi^2 = 142,38$, $p < 0,001$), evidenciando que la tolerancia y respuesta al déficit hídrico estuvieron supeditadas a la genética. El SPI-12 operó como el principal motor del crecimiento: exhibió una respuesta lineal positiva generalizada ($\beta = +0,663$, $p < 0,001$), pero moderada por un componente cuadrático negativo ($\beta = -0,111$, $p < 0,001$) que refleja una desaceleración y posterior caída del incremento en temporadas marcadamente húmedas. No obstante, el impacto de la escasez de agua no afectó a todos los clones por igual: EG-INTA-1 tuvo la pendiente climática más pronunciada (+0,663). Si bien es un material que aprovecha al máximo los años húmedos, es el más penalizado y sensible ante el déficit hídrico, sufriendo las caídas de crecimiento más drásticas cuando el SPI-12 se vuelve negativo. Las interacciones significativas de los clones CIEF279 y CIEF385 ($\beta = -0,205$ y $\beta = -0,172$,

respectivamente; $p < 0,001$) deprimieron la pendiente climática general, fijando una tasa de respuesta neta más moderada ($\sim 0,46$ y $\sim 0,49$). Esto se traduce en un comportamiento biológico más estable y menos vulnerable a la sequía que el EG-INTA-1; estos clones detienen su caída productiva y sostienen incrementos más regulares en años secos. Bajo condiciones hídricas normales, CIEF279 alcanzó el mayor crecimiento real ($\beta = +0,139$, $p < 0,001$). Esta ventaja genética se potenció al manejar la densidad registrándose una interacción Clon x Espaciamento significativa ($\chi^2 = 19,74$, $p = 0,0005$): en el espaciamento (4 m x 4 m) la competencia limitó a los materiales (quedando relegado CIEF385, $\beta = -0,045$), pero al liberar espacio los clones CIEF capitalizaron fuertemente el sitio. En el marco 4 m x 5 m, tanto CIEF279 ($\beta = +0,135$, $p = 0,0002$) como CIEF385 ($\beta = +0,140$, $p = 0,0003$) mostraron desvíos positivos y significativos. Al pasar al marco más amplio (4 m x 6 m), ambos clones continuaron sosteniendo su ventaja ($\beta = +0,077$, $p = 0,036$ y $\beta = 0,11$, $p = 0,003$) (Tabla 1 y Figura 1). Es importante destacar que el modelo presenta una marcada dispersión residual a nivel de individuo, lo cual es consistente con la variabilidad biológica típica y limita su capacidad de predicción puntual. No obstante, dado que las estimaciones de los efectos fijos (clon, espaciamento y SPI-12) poseen errores estándar acotados y una alta significancia estadística, el modelo adquiere un robusto valor predictivo poblacional. Por lo tanto, su aplicación regional resulta útil como cuantificador preciso del impacto relativo y promedio de la sequía sobre los clones estudiados.

Tabla 1. Coeficientes, errores estándar, valor z y probabilidad del modelo ajustado para el incremento diamétrico (IDAP) según el material genético, el marco de plantación y el índice estandarizado de precipitación de doce meses (SPI-12) (***) $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; . $p < 0,1$; ‘ ’ 1).

Efectos fijos	Coeficientes	SE	z	Pr(> z)	
(Intercepto)	-0,456	0,032	-14,47	$< 2e^{-16}$	***
CIEF279	0,139	0,028	4,92	$8,81e^{-07}$	***
CIEF385	-0,046	0,029	-1,55	0,121453	
Espac 4x5	0,018	0,037	0,48	0,629919	
Espac 4x6	0,179	0,037	4,83	$1,34e^{-06}$	***
SPI_num	0,663	0,019	35,38	$< 2e^{-16}$	***
I(SPI_num^2)	-0,111	0,014	-8,06	$7,94e^{-16}$	***
CIEF279 : spac 4x5	0,135	0,037	3,66	0,00025	***
CIEF385 : spac 4x5	0,140	0,038	3,66	0,000256	***
CIEF279 : spac 4x6	0,077	0,037	2,09	0,036577	*
CIEF385 : spac 4x6	0,111	0,039	2,88	0,00396	**
CIEF279 : SPI_num	-0,205	0,018	-11,18	$< 2e^{-16}$	***
CIEF385 : SPI_num	-0,172	0,019	-9,09	$< 2e^{-16}$	***
spac4x5 : SPI_num	0,007	0,019	0,36	0,719816	
spac4x6 : SPI_num	-0,012	0,019	-0,65	0,514694	

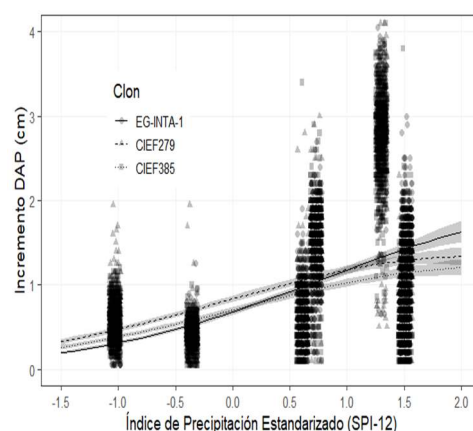


Figura 1. Valores observados de incremento diamétrico (IDAP) y curvas ajustadas por clon en función del índice estandarizado de precipitación de doce meses (SPI-12).

CONCLUSIONES

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI-12) tiene una fuerte influencia como predictor del crecimiento individual; la escasez de agua provoca una contracción generalizada en las tasas de incremento diamétrico, se elevan a medida que las condiciones se vuelven húmedas y vuelven a decaer nuevamente durante las temporadas marcadamente húmedas. El clon EG-INTA-1 resultó el material más sensible y vulnerable, exhibiendo una respuesta marcadamente dependiente de la disponibilidad de agua; si bien maximiza su potencial en años húmedos, sufre una reducción marcada en su ritmo de crecimiento ante caídas en el SPI-12. Los clones CIEF279 y CIEF385 demostraron mecanismos de resiliencia superiores, amortiguando significativamente el impacto del déficit hídrico a través de tasas de respuesta más estables y regulares que garantizan la continuidad de su crecimiento en escenarios de restricción hídrica regional. El espaciamento de plantación opera de manera independiente a la sensibilidad climática pero la productividad estuvo regulada por la interacción densidad x componente genético, destacándose el clon CIEF279 como el material con mayor plasticidad silvícola frente a la adversidad climática.

REFERENCIAS

- R Core Team. 2023 R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramos, S.; Garin, R. 2024. Cambio climático en Concordia. Una muestra del calentamiento global en la región. En: XXXVIII Jornada Forestales de Entre Ríos, 2024, Concordia, Argentina.
- Vera, C.; Skansi, M.; Gonzalez, M. 2023. Características de las sequías en el sur de Sudamérica. En: <https://sisa.crc-sas.org/wp-content/uploads/2023/10/PILARES-DE-ACCION-CAP-IV.pdf>

CAMBIOS EN LA PROBABILIDAD DE HELADAS AGROMETEOROLÓGICAS EN LOCALIDADES DE LA REGIÓN PAMPEANA

Serio*, L.A.¹

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. San Martín 4453, C1417DSE, CABA, Argentina

Contacto: serio@agro.uba.ar

Palabras clave: agroclimatología; adversidades; frío

INTRODUCCIÓN

Las heladas son uno de los principales factores de riesgo agroclimático. Su peligrosidad se puede cuantificar a partir de su probabilidad de ocurrencia, considerando la frecuencia con la que presentó tal fenómeno climático adverso en un período de años previo. En el actual contexto de calentamiento global, distintos estudios han detectado cambios en los patrones de ocurrencia de heladas, ya sea por una reducción en la frecuencia, corrimientos en la estacionalidad o eventos extremos más intensos (Fernández Long *et al.*, 2013; Lamichhane, 2021; García-Martín *et al.*, 2021).

Serio y Fernández Long (2025) desarrollaron el Índice Estandarizado de Peligrosidad de Heladas (IEPH), según el cual cada valor diario de temperatura mínima (T_m) se asocia con su correspondiente probabilidad de ocurrencia, que varía día a día en función de los registros históricos de cada fecha y localidad. En virtud de los cambios que están experimentando las temperaturas, este trabajo tiene como objetivo determinar si el período de datos previos de T_m utilizado como referencia para el cálculo del IEPH modifica su valor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 60 años de datos de temperaturas mínimas diarias medidas en abrigo meteorológico de 10 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (Tabla 1). Las series de datos se dividieron en dos períodos de 30 años, 1961-1990 y 1991-2020. Para cada uno de ellos se calculó el promedio y la desviación estándar de la T_m para cada día del año. Para suavizar la variabilidad de las T_m diarias se realizaron ajustes de cada serie de promedios y de desvíos estándar con funciones senoidales de período fijo igual a 365 días (Serio y Fernández Long, 2025). Los ajustes (valor medio, amplitud y fase) se realizaron con un programa de desarrollo propio en lenguaje R, corrido en el entorno RStudio.

Luego, para cada día del año y por separado para cada uno de los períodos (1961-1990 y 1991-2020), se determinaron: 1) con los datos observados, la frecuencia empírica de ocurrencia de heladas agrometeorológicas ($T_m \leq 3^\circ\text{C}$), y 2) con las funciones ajustadas, la probabilidad teórica de ocurrencia de $T_m \leq 3^\circ\text{C}$, asumiendo una distribución normal de las T_m . Se presenta como ejemplo el caso de Rosario (Figura 1).

Las funciones ajustadas se utilizaron para identificar posibles cambios en la probabilidad de ocurrencia de heladas agrometeorológicas. Para ello, se consideraron como indicadores la probabilidad de heladas del 15 de julio (PH15-7), la fecha en la cual la probabilidad de heladas tempranas comienza a ser $\geq 0,05$ (FHTem) y la fecha en la cual la probabilidad de heladas tardías deja de ser $\geq 0,05$ (FHTar).

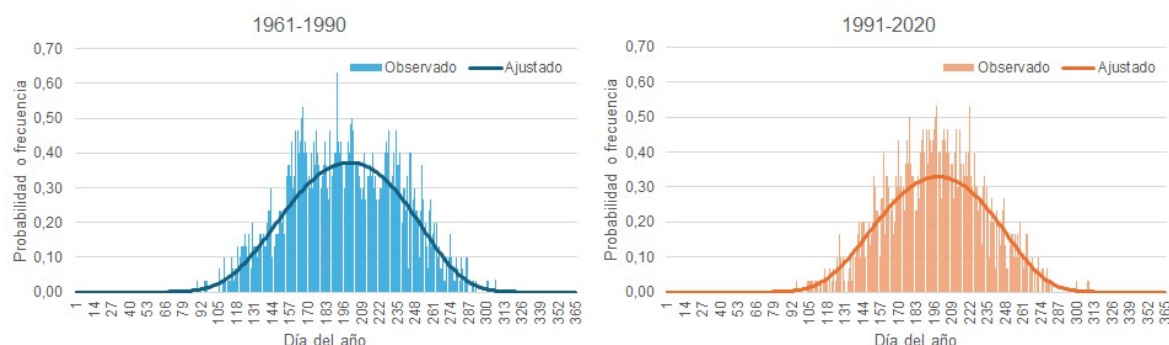


Figura 1. Frecuencia relativa empírica y probabilidad teórica diarias de heladas agrometeorológicas en Rosario, períodos 1961-1990 y 1991-2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para los distintos indicadores calculados. Se observan algunos cambios, pero no han sido homogéneos. El PH15-7, indicativo de la probabilidad de ocurrencia de heladas agrometeorológicas durante los días más fríos del año, sufrió poco cambio en la mayoría de las localidades analizadas.

Los más importantes fueron las disminuciones en Paraná (de 25 a 17 %), seguidas por las de Santa Rosa (de 62 a 58 %) y Nueve de Julio (de 41 a 37 %). El indicador de la fecha de inicio del período con heladas (FHTem) sólo cambió en 1 o 2 días en Junín, Marcos Juárez y Ceres, mientras que los mayores corrimientos hacia fechas posteriores ocurrieron en Paraná (15 días), Santa Rosa (12 días), Nueve de Julio (10 días) y Rosario (7 días). El indicador de fecha de finalización del período con heladas (FHTar) mostró un cambio de 3 días hacia adelante en Ceres y cambios en sentido opuesto en el resto de las localidades, con máximo de 14 días de adelanto en Paraná. Esta heterogeneidad espacial en los cambios de la frecuencia de heladas y en las fechas de heladas tempranas y tardías es acorde con resultados obtenidos previamente para la región pampeana por Fernández Long *et al.* (2013), entre otros.

Tabla 1. Resultados obtenidos para los indicadores de cambios en la probabilidad de ocurrencia de heladas entre los períodos 1961-1990 y 1991-2020. Referencias: PH15-7: probabilidad de heladas para el 15 de julio; FHTem: fecha con 5 % de probabilidad de heladas tempranas; FHTar: fecha con 5 % de probabilidad de heladas tardías.

Localidad	PH15-7		FHTem		FHTar	
	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
Reconquista	0,14	0,13	27-may	31-may	9-sep	6-sep
Ceres	0,23	0,24	12-may	13-may	20-sep	23-sep
Rosario	0,37	0,33	25-abr	2-may	7-oct	30-sep
Pilar	0,36	0,35	30-abr	5-may	28-sep	26-sep
Marcos Juárez	0,40	0,42	24-abr	25-abr	9-oct	8-oct
Laboulaye	0,50	0,48	18-abr	23-abr	13-oct	9-oct
Paraná	0,25	0,17	9-may	26-may	25-sep	11-sep
Santa Rosa	0,62	0,58	6-abr	18-abr	22-oct	14-oct
Junín	0,44	0,44	19-abr	21-abr	13-oct	10-oct
Nueve de Julio	0,41	0,37	21-abr	1-may	7-oct	2-oct

CONCLUSIONES

Al considerar las temperaturas mínimas diarias de dos períodos climáticos diferentes, de 30 años cada uno, se encontró que en algunas de las localidades analizadas hubo poco cambio en la probabilidad de ocurrencia de heladas agrometeorológicas, mientras que en otras localidades los cambios fueron muy importantes. Por lo tanto, se concluye que el período base que se considere como referencia para el cálculo del IEPH puede llegar a influir en su valor, en algunas localidades más que en otras. Por eso, y considerando la heterogeneidad espacial de los cambios que están experimentando las temperaturas, se recomienda tomar como referencia un período de 30 años los más reciente posible.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Servicio Meteorológico Nacional por los datos brindados.

REFERENCIAS

- Fernández Long, M.E.; Müller, G.; Beltrán-Przekurat, A.; Scarpati, O. 2013 Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology* 33:1673–1686.
- García-Martín, A.; Paniagua, L.; Moral, F.; Rebollo, F.; Rozas, M. 2021. Spatiotemporal analysis of the frost regime in the Iberian Peninsula in the context of climate change (1975–2018). *Sustainability* 13(15):8491.
- Lamichhane, J.R. 2021. Rising risks of late-spring frosts in a changing climate. *Nature Climate Change* 11:554–555.
- Serio, L.; Fernández Long, M.E. 2025. Desarrollo y aplicación de un índice estandarizado de peligrosidad de heladas. *Revista Argentina de Agrometeorología* XVI:29-38.

ÍNDICE DE PELIGROSIDAD CLIMÁTICO DE HELADAS: COMPARACIÓN DE LAS SERIES 1971-1995 vs. 1996-2020 SOBRE EL TERRITORIO ARGENTINO

Serritella*, D.A.^{1,3}; Mollá Kralj, A.²; Blasón, A.D.¹

¹ Cátedra de Agrometeorología

² Ecología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Av. Juan XXII y RP N°4, Lomas de Zamora, (1832), Buenos Aires, Argentina

³ Instituto de Clima y Agua, CIRN, CNIA, INTA, Nicolás Repeto 2751, Hurlingham, (1686), Buenos Aires, Argentina

*Contacto: serritella.dante@inta.gob.ar

Palabras clave: IPCH; suma térmica; variabilidad climática

INTRODUCCIÓN

Existen una gran cantidad de investigaciones que sostienen que diversas variables climáticas, han sufrido cambios en las últimas décadas (Brown Manrique, 2015; Velasco Hernández, 2015). Entre ellas, las heladas revisten de gran interés debido al gran impacto que generan sobre la actividad agropecuaria en el territorio argentino. Si bien existen regiones caracterizadas por presentar períodos medios libres de heladas relativamente extensos (Murphy y Hurtado, 2011), estos eventos continúan ocasionando pérdidas significativas; especialmente durante las etapas iniciales y finales de los cultivos, momentos en los cuales la susceptibilidad fisiológica resulta más elevada. A ello se suma la marcada variabilidad espacial y temporal que caracteriza la ocurrencia de las heladas. En este sentido, Fernández Long *et al.* (2016) señalan que, en Argentina, la desviación estándar de las fechas medias correspondientes a las primeras heladas otoñales y a las últimas heladas primaverales alcanzan, en promedio, de 18 y 17 días respectivamente, registrándose valores extremos de hasta 28 y 31 días. Por otra parte, la respuesta de los cultivos frente a las bajas temperaturas depende directamente del estado fenológico en el que se encuentren. En consecuencia, la integración entre la sensibilidad del cultivo y la probabilidad de ocurrencia de heladas permite realizar una valoración más precisa de la peligrosidad asociada a este fenómeno. Para ello se han desarrollado diversos índices destinados a comparar localidades con probabilidades similares de ocurrencia de heladas, aunque con distintos niveles de riesgo. Blasón *et al.* (2018) desarrollaron el Índice de Peligrosidad Climática de Heladas (IPCH), concebido como un avance metodológico basado sobre el Índice Crio Kindinoscópico (Burgos, 1947). Dicho índice cuantifica la peligrosidad climática de las heladas, a partir de la integración térmica durante el ciclo del cultivo para una determinada probabilidad de ocurrencia. El objetivo del presente trabajo es detectar si se registraron variaciones de significancia sobre el IPCH entre las series cuasi normales de datos disponibles, 1971-1995 y 1996-2020 sobre varias localidades distribuidas en todo el territorio argentino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se utilizaron los datos diarios de 65 estaciones meteorológicas convencionales, distribuidas en todo el país; pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La información fue suministrada por el Instituto de Clima y Agua (CIRN, CNIA, INTA). Para la elección de las series, se priorizó que los datos de temperaturas máximas y mínimas diarias estén completos durante los 50 años del período a analizar (1971 – 2020). Una vez validadas las series correspondientes, se determinaron las fechas de ocurrencia de primera y última helada, tanto meteorológica (≤ 0 °C), como agrometeorológica (≤ 3 °C) para cada año y estación meteorológica considerada. A partir de esta información, según la metodología propuesta por Blasón *et al.* (2018), se obtuvo el índice de peligrosidad climático de heladas para: primera helada agrometeorológica (IPCH-PHA), primera helada meteorológica (IPCH-PHM), última helada agrometeorológica (IPCH-UHA) y última helada meteorológica (IPCH-UHM) para cada serie. Una vez obtenidos estos índices, se verificó el supuesto de normalidad y la homogeneidad de varianzas, aplicándose corrección de Welch en los casos en que no se cumplió el supuesto de homogeneidad. A continuación, con el fin de evaluar diferencias entre sus medias, se realizó la prueba t de Student para muestras independientes ($\alpha = 0,05$). Para el análisis estadístico se utilizó el lenguaje de programación R (R Core Team, 2024). Sobre aquellas localidades en las que se detectaron cambios significativos, se calculó la diferencia del IPCH entre la serie reciente menos la más antigua, determinando a las positivas como un aumento en la peligrosidad y viceversa. Finalmente, se representaron geográficamente las variaciones para cada índice y localidad, mediante el software QGIS v3.40.6 (QGIS Development Team, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el IPCH-PHA, se observaron cambios del valor del índice entre las series en 24 localidades (22 aumentaron y 2 disminuyeron), mientras que 41 localidades no presentaron cambios significativos. El IPCH-PHM presentó un comportamiento similar, observándose 26 localidades con cambios significativos entre series (25 aumentaron y 1

disminuyó), mientras que 39 localidades no presentaron cambios. Para el IPCH-UHA, se observaron cambios en 25 localidades (todas aumentaron), mientras que en 40 no se observaron diferencias entre series. Por último, para el IPCH-UHM, se observaron cambios en 15 localidades (todas aumentaron) mientras que en 50 no hubo cambios. En cuanto a la distribución geográfica de las variaciones, el centro y sur de la región patagónica no presentaron localidades con cambios en ninguno de los índices. En el resto del territorio, los IPCH de primeras heladas presentaron comportamiento más disperso, observándose cambios principalmente en NOA, Cuyo, norte de Patagonia y, en menor medida, el NEA y región pampeana. En cuanto a los IPCH de últimas heladas los cambios se concentraron en Mendoza, norte de Patagonia, sur de región pampeana y, en menor medida, sobre el NOA y NEA.

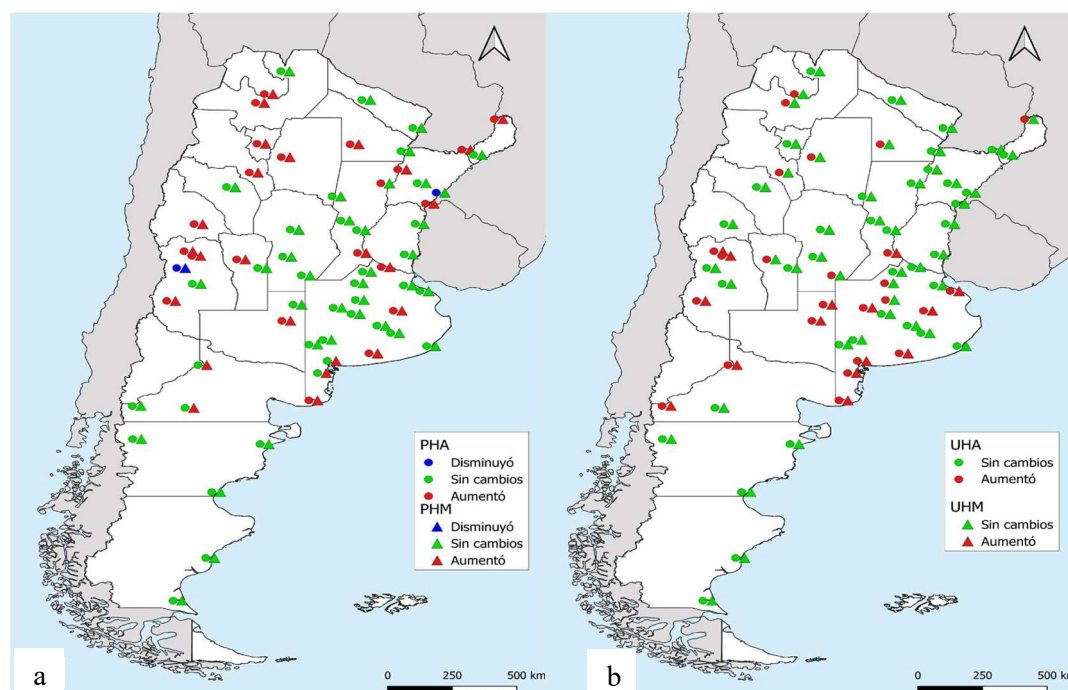


Figura 1. Variación del índice de peligrosidad climático de heladas (IPCH) entre las series 1971-1995 y 1996-2020 para: a) primera helada agrometeorológica (PHA) y meteorológica (PHM). b) última helada agrometeorológica (UHA) y meteorológica (UHM).

CONCLUSIONES

Sobre las localidades analizadas, aproximadamente dos terceras parte no presentaron cambios; mientras que el tercio restante presentó aumentos en los valores de los índices, lo que implica una mayor peligrosidad de las heladas en la serie más reciente. Solo tres casos presentaron disminución del índice. El aumento de la peligrosidad territorial de las primeras heladas se presenta geográficamente más generalizado, mientras que, para las últimas heladas, los cambios se concentraron principalmente en la zona central del país. Estos resultados preliminares requieren el estudio más detallado de las posibles causales.

REFERENCIAS

- Blasón, A.D.; Mollá Kralj, A.; Rodríguez, A. 2018. Índice de Peligrosidad Anual de Heladas (IPAH): Concepto y utilidad. *Revista Argentina de Agrometeorología* IX:21-30.
- Brown Manrique, O.; Gallardo Ballat, Y.; Correa Santana, A.; Barrios García, S. 2015. El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería hidráulica y Ambiental* 36(1):88-101.
- Burgos, J.J. 1947. A Cryokindynoscopia index useful in agroclimatic researches. *Com. Meteorol. Agr.*, (Doc. 30, CIR/IMO/T, 305 CAgM). Toronto. 10 p.
- Fernández Long, M.E.; Barnatán, I.; Dominici, C. Murphy, G. 2016. Información agroclimática de las heladas en la Argentina: Generación y uso. *Revista Meteorológica* 41(2):7-31.
- Murphy, G.; Hurtado, H. 2011. *Agrometeorología*. FAUBA. Buenos Aires, Argentina. 489 p.
- QGIS Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.
- Velasco Hernández, M.D.L.A.; Morales Acoltzi, T.; Estrella Chulim, N.G.; Díaz Ramos, R.; Juárez Sánchez, J.P.; Hernández Vázquez, M.; Bernal Morales, R. 2015. Tendencias y variabilidad de índices de cambio climático: enfoque agrícola en dos regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(7):1587-1599.

ÍNDICE DE PELIGROSIDAD CLIMÁTICO DE HELADAS (IPCH) EN ARGENTINA: PERÍODO NORMAL CLIMATOLÓGICO 1991-2020

Serritella*, D.A.^{1,3}; Mollá Kralj, A.²; Blasón, A.D.¹

¹ Cátedra de Agrometeorología

² Ecología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Av. Juan XXII y RP N° 4, Lomas de Zamora, (1832), Buenos Aires, Argentina

³ Instituto de Clima y Agua, CIRN, CNI, INTA, Nicolás Repeto 2751, Hurlingham, (1686), Buenos Aires, Argentina

*Contacto: serritella.dante@inta.gob.ar

Palabras clave: IPAH; suma térmica

INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria se encuentra fuertemente condicionada por diversos factores climáticos, entre los cuales las heladas constituyen una de las principales amenazas. Aunque en Argentina hay áreas con período medio libre de heladas muy amplio (Murphy y Hurtado, 2011), las mismas ocasionan pérdidas importantes al inicio y finalización de los cultivos debido a la gran variabilidad interanual. Sin embargo, la ocurrencia de heladas también presenta gran variabilidad espacial, pudiendo diferir significativamente entre localidades próximas entre sí, debido al efecto de factores formadores locales como la influencia oceánica, el gradiente latitudinal, la circulación de vientos locales y el relieve (Fernández Long *et al.*, 2016). Dicho aspecto requiere un abordaje territorial que permita capturar dicha heterogeneidad, más allá de los registros puntuales disponibles en cada sitio de observación meteorológica. Blasón *et al.* (2018) desarrollaron el Índice de Peligrosidad Climático de Heladas (IPCH), el cual valora climáticamente la peligrosidad de las heladas a través de la suma térmica durante el período de cultivo, para una probabilidad de ocurrencia dada. Asimismo, establece el Índice de Peligrosidad Anual de Heladas (IPAH) como la anomalía anual de la integración térmica respecto al IPCH. Hasta el momento, estos índices han sido calculados y analizados de forma puntual, para cada estación meteorológica, por lo que resulta necesario complementar el análisis con técnicas de interpolación geoestadística que permitan, a partir de valores georreferenciados del índice, extender la información disponible hacia sitios sin registro directo, generando una representación cartográfica continua del IPCH. El objetivo de este trabajo es presentar la distribución geográfica del IPCH en Argentina, del período normal climatológico 1991-2020, e indagar sus posibles causas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo, se utilizaron los datos diarios de 65 estaciones meteorológicas convencionales, distribuidas en todo el país; pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), información que fue suministrada por el Instituto de Clima y Agua (CIRN, CNIA, INTA). Se priorizó la elección de series de datos de temperaturas máximas y mínimas diarias completas durante los 30 años del período a analizar (1991 – 2020). Validadas las series correspondientes, se determinaron las fechas de ocurrencia de primera y última helada, tanto meteorológica ($\leq 0^{\circ}\text{C}$), como agrometeorológica ($\leq 3^{\circ}\text{C}$) para cada año y estación meteorológica considerada. Con esta información se calcularon los respectivos índices climáticos de peligrosidad para: primera helada agrometeorológica (IPCH-PHA), primera helada meteorológica (IPCH-PHM), última helada agrometeorológica (IPCH-UHA) y última helada meteorológica (IPCH-UHM), según la metodología propuesta por Blasón *et al.* (2018). Obtenidos los índices, se georeferenciaron para representar cartográficamente su disponibilidad territorial. La interpolación espacial de los valores del índice se realizó mediante Kriging Universal, implementado en R v4.5.1 (R Core Team, 2024) mediante el paquete Gstat (Pebesma, 2004). La misma se realizó sobre una grilla de 3 km de resolución. El ráster resultante fue importado en QGIS (v3.40.6 – Bratislava) (QGIS Development Team, 2024) para confeccionar el mapa final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La peligrosidad territorial de primeras heladas representada por el IPCH-PHA y el IPCH-PHM (Figura 1 a y b) resultó ser mayor en el norte y menor en el sur del país hasta la latitud del Río Colorado, presentando un gradiente de variación homogéneo desde el noreste al suroeste, respondiendo al efecto de los factores formadores tales como radiación global y temperatura avanzando estacionalmente de verano a invierno. En la Patagonia el gradiente se hace más transversal a causa de los vientos S y SW que atraviesan esa región. Esto responde a una mayor suma térmica en el norte debido a mayores temperaturas medias diarias y a un período más extendido entre el inicio y el fin de la sumatoria (desde el 1 enero hasta la fecha con probabilidad de helada = 20 %).

La peligrosidad de últimas heladas reflejada por el IPCH-UHA y el IPCH-UHM (Figura 1 c y d) muestra un patrón más complejo, en donde se observa que disminuye en el extremo NE del país debido a la mayor humedad ambiente que reduce su efecto, mientras que aumenta notoriamente al sur de llanura pampeana, en la cual primaveralmente la radiación y la temperatura logran integrar energía, pero la amplitud térmica aun permite llegar con facilidad a niveles de daño por heladas. La mayor peligrosidad que se presenta en el centro del país se debe a una combinación de temperaturas medias diarias elevadas y periodos de suma térmica extensos (desde el 1 de julio hasta la fecha con probabilidad de helada = 80 %).

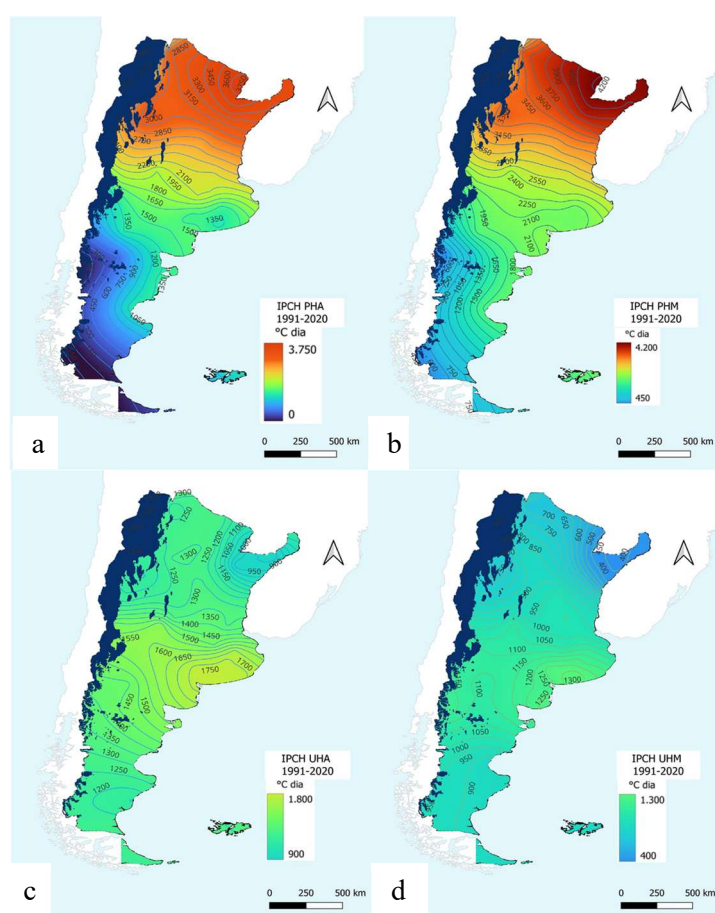


Figura 1. Índice de peligrosidad climático de heladas para: a) primera helada agrometeorológica (IPCH-PHA). b) primera helada meteorológica (IPCH-PHM). c) última helada agrometeorológica (IPCH-UHA). d) última helada meteorológica (IPCH-UHM).

CONCLUSIONES

En base a la cartografía de la distribución territorial del IPCH aquí presentada, es factible avanzar en el establecimiento de anomalías anuales y su variación geográfica, como herramienta de valoración de la peligrosidad en términos anuales, teniendo como referencia el periodo normal climatológico 1991-2020.

REFERENCIAS

- Blasón, A.D.; Mollá Kralj, A.; Rodríguez, A. 2018. Índice de Peligrosidad Anual de Heladas (IPAH): Concepto y utilidad. Revista Argentina de Agrometeorología, IX:21-30.
- Fernández Long, M.E.; Barnatán, I.; Dominici, C. Murphy, G. 2016. Información agroclimática de las heladas en la Argentina: Generación y uso. Revista Meteorológica 41(2):7-31.
- Gstat: Pebesma, E.J. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computers & Geosciences 30:683–691.
- Murphy, G.; Hurtado, H. 2011. Agrometeorología. FAUBA. Buenos Aires, Argentina. 489 p.
- QGIS Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>

Área temática 7

Enseñanza – Extensión - Sociedad

PANEL DE EXPERTOS DEL ÁMBITO PRIVADO COMO ESTRATEGIA PEDAGÓGICA EN UNA CLASE DE METEOROLOGÍA AGRÍCOLA

Aguilera*, R.B.¹; Hidalgo, V.G.¹; Flores, C.A.¹; Cavagnaro, M.A.¹; Caretta, A.I.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, Chacras de Coria, Mendoza, 5505, Argentina

*Contacto: raguilera@fca.uncu.edu.ar

Palabras clave: educación superior; articulación público-privada; agrometeorología

INTRODUCCIÓN

La agrometeorología, como disciplina obligatoria en la currícula de la carrera de Ingeniería Agronómica a nivel superior, constituye una materia fundamental en la formación integral de los futuros ingenieros. Provee a los alumnos de las herramientas conceptuales necesarias para comprender y mitigar los riesgos climáticos en la producción agrícola. Dentro de las adversidades agroclimáticas, las heladas constituyen uno de los principales flagelos en la zona por el daño económico que producen. Es por ello por lo que se pretendió abordar esta problemática desde lo académico articulando teoría y práctica, atendiendo a la necesidad en la enseñanza de nivel superior de prácticas que incorporen interacción con agentes no académicos (Estevez *et al.*, 2022).

Bajo estas premisas, el objetivo de este trabajo es describir y evaluar una experiencia pedagógica de vinculación entre la cátedra de Meteorología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (FCA UNCUIYO) y referentes del sector privado regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia didáctica se llevó a cabo en el marco de la asignatura Meteorología Agrícola, correspondiente al segundo año de la carrera de Ingeniería Agronómica de la FCA UNCUIYO, Mendoza. Se realizó una experiencia pedagógica de dos instancias en forma secuencial. La primera parte consistió en un marco teórico a cargo de los docentes de la cátedra, donde se expusieron las definiciones de heladas, los mecanismos de daño, la génesis del enfriamiento y los elementos de caracterización de estas. Para la segunda parte de la clase se convocó a un panel de invitados provenientes de empresas líderes del ámbito privado, seleccionados estratégicamente para disertar sobre la implementación práctica de métodos de defensa activa en la región (calefacción, aspersión y ventilación). En el caso de calefacción, disertó la ingeniera agrónoma de una finca de la empresa Altos Las Hormigas ubicada en Altamira, San Carlos, zona de altura expuesta a heladas todos los años. La ingeniera contó sobre su rol, la logística en la preparación de todo lo necesario para la temporada de heladas y la experiencia de varias noches de defensa en la finca. Para el caso de aspersión se contó con la presencia del director de la empresa de riego Global Drip, Mauro Gustalla. Como ingeniero agrónomo, contó qué tener en cuenta a la hora de planificar una defensa con agua, casos reales de defensa con aspersión supra y subarbóreo, insumos necesarios, sus ventajas y desventajas. Por último, expuso de la empresa Singelus, Alejandro Ortega, también ingeniero agrónomo agrometeorólogo de gran experiencia en el sector, quien abordó la defensa por ventilación a partir de casos de aplicación en la región. Como cierre los estudiantes pudieron interpelar a los expositores, salvar dudas y comparar los sistemas de defensas planteados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interacción con actores del medio socioproductivo local en una temática tan importante para la región permitió que los estudiantes visualicen la aplicación real de cada tecnología a campo. Durante el desarrollo del panel se evidenció una alta participación de los estudiantes, quienes interpellaron de forma crítica, guiados por el plantel docente de la cátedra, a los panelistas. No sólo se evacuaron dudas sobre el funcionamiento de la tecnología, sino que también se discutió sobre las variables a tener en cuenta para la inversión económica, el impacto ambiental y social. La propuesta didáctica facilitó que los estudiantes dedujeran las ventajas y desventajas de cada sistema para el ejercicio futuro de la profesión contemplando criterios de sustentabilidad.

Resulta relevante destacar el interés particular que despertó la participación de la ing. agrónoma de Altos Las Hormigas contando su desempeño como mujer joven en la dirección operativa de la defensa activa de las noches de heladas en la finca. Su exposición ofreció una valiosa perspectiva sobre el liderazgo generacional y de género en el ámbito rural. El impacto de la experiencia fue más allá de la propuesta didáctica de ese día, evidenciándose el interés del alumnado por establecer redes de contacto profesional con los panelistas. Finalmente, la consolidación del aprendizaje significativo se pudo constatar en los exámenes finales de la materia, donde los estudiantes pudieron incorporar las conclusiones derivadas de la experiencia didáctica.



Figura 1. Exposición de la Ing. Agr. Victoria Maselli (izquierda), elementos utilizados en la defensa por aspersión mostrados a los alumnos durante el panel (derecha).

CONCLUSIONES

La implementación de esta experiencia áulica en vinculación con el medio privado en alumnos de segundo año de la carrera de Ingeniería Agronómica evidenció ser efectiva en la enseñanza. Se facilitó la implementación de conceptos teóricos en la práctica del ejercicio profesional en el territorio. La inclusión de las dimensiones económica, ambiental y social en la gestión del riesgo climático fomentó una visión integral de los futuros ingenieros. Se concluye que este tipo de experiencia motiva a los estudiantes, teniendo un mayor impacto en el aprendizaje que la clase magistral y que esta experiencia de vinculación con el medio socioproductivo es altamente replicable para enriquecer la educación de nivel superior.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los ing. Mauro Guastalla (Global Drip), Victoria Maselli (Alto Las Hormigas) y Alejandro Ortega (Singelus) por su participación en el panel.

REFERENCIAS

Estébanez, M.E.; Di Bello, M.E.; Selva Versino, M. 2022. Universidad y «entornos»: reflexiones sobre la vinculación y el diseño de políticas universitarias en Argentina. Revista reflexiones 101(1):187-205.

PERCEPCIONES ESTUDIANTILES SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL TRABAJO INTEGRADOR FINAL DE LA MATERIA COMPUTACIÓN

Dell'Arciprete Giglio*, L.A.¹; Guaymasí, D.¹; Puig, M.L.¹; Pincirolí, M.¹; Sánchez de la Torre, M.E.¹; Garbí, M.¹; Martínez, S.B.¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, 60 y 119 La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina

*Contacto: luciana.dellarciprete@agro.unlp.edu.ar

Palabras clave: educación; validación; ética; aprendizaje

INTRODUCCIÓN

El uso de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) se ha incrementado notablemente entre los estudiantes universitarios, integrándose a diversas prácticas académicas. La IA se presenta como una tecnología con capacidad para hacer frente a algunos de los mayores desafíos que afronta hoy la educación, como el desarrollar prácticas de enseñanza y aprendizaje efectivas, innovadoras e inclusivas (Dellepiane y Guidi, 2023). Mazzuchi López y Sánchez (2025) destacan su uso en la resolución de consignas específicas en el aula, la redacción de distintos tipos de textos y el armado parcial o total de trabajos domiciliarios. Su irrupción genera importantes desafíos que cuestionan la ética y la integridad académica, la fiabilidad de la información, la transparencia respecto a las fuentes utilizadas o la privacidad y seguridad de los datos (Gallent-Torres *et al.*, 2023). En este contexto, resulta relevante comprender cómo los estudiantes incorporan estas herramientas y si desarrollan estrategias para evaluar de manera crítica la información generada. Computación es una asignatura obligatoria del primer cuatrimestre del primer año de la Tecnicatura Universitaria en Cultivos Protegidos y Ambientes Controlados (FCAyF, UNLP). Como instancia integradora, los estudiantes trabajan en grupos con datos provenientes de diversos ensayos ficticios, que deben organizar, procesar, analizar e interpretar mediante planillas de cálculo durante el desarrollo de parte de la cursada. A partir de estos resultados, deben elaborar un informe escrito con un procesador de texto y diseñar una presentación para realizar una defensa oral de su trabajo. El uso de IA fue habilitado explícitamente para la realización de la actividad. El objetivo de este trabajo fue analizar el uso de la herramienta por parte de los estudiantes durante la realización de la actividad integradora, identificando las etapas de utilización, las motivaciones de uso, las estrategias de validación implementadas y las percepciones sobre su aporte al aprendizaje y al futuro desempeño profesional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recolección de datos se implementó una encuesta en formato papel, anónima, administrada en la última clase del curso. La encuesta fue respondida por 24 estudiantes, cuyo rango etario se ubicó entre los 17 y 26 años en un 84 %, el 16 % restante se ubicó en edades mayores a 41 años. El instrumento combinó preguntas de opción única y de opción múltiple, orientadas a relevar la frecuencia de uso de herramientas de inteligencia artificial en la vida cotidiana, y con respecto al uso en el trabajo integrador se evaluó en qué etapas de su realización se utilizó IA, cuáles fueron los motivos de utilización, qué estrategias de validación fueron empleadas y el impacto percibido en su aprendizaje y en una futura actuación profesional. En el análisis de los datos se excluyeron las respuestas correspondientes a preguntas de opción única cuando los estudiantes seleccionaron más de una alternativa. También se dejó un espacio para comentarios adicionales, reflexiones o sugerencias sobre el uso de la IA en la asignatura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia se relevó la utilización de IA en su vida cotidiana. El 92 % de los encuestados manifestó utilizar herramientas de IA con diferentes frecuencias: diariamente (17 %), frecuentemente (29 %) o pocas veces al mes (46 %) reflejando, en coincidencia con Gallent-Torres *et al.* (2023) y Niño-Carrasco *et al.* (2025), la creciente incorporación de estas herramientas en distintos ámbitos de la vida cotidiana y académica. No obstante, estos autores detallan que la comprensión y la capacidad para utilizar estas herramientas con fines educativos aún son limitadas. De nuestro relevamiento, surge que el 92 % de los estudiantes encuestados utilizaron herramientas de IA en al menos una etapa del trabajo integrador. El uso más frecuente fue en la elaboración de la presentación oral (63 %), seguido por la redacción del informe (29 %) y el análisis de datos (21 %). Además, un estudiante comentó usarla para “comprender textos”. Coincidente con esta observación, Niño-Carrasco *et al.* (2025) señalan que la IA aparece también para enriquecer la comprensión de los conceptos académicos y ofrecer nuevas perspectivas para abordarlos. La habilitación explícita para usar la IA se reflejó en las presentaciones: un grupo generó el esquema del ensayo a campo y otro incluyó una imagen creada por IA de una estudiante realizando las mediciones.

Respecto de las motivaciones de uso, la categoría más mencionada fue el apoyo a la creatividad (33 %), seguida por la posibilidad de superar bloqueos y optimizar el tiempo de trabajo (26 %). Como bien señala Niño-Carrasco *et al.* (2024, p. 103) “el verdadero valor de una tecnología educativa no radica simplemente en su capacidad para acelerar la

realización de una tarea o producto, sino en sus potenciales beneficios para apoyar el desarrollo de aprendizajes más ricos y profundos”.

Los estudiantes mostraron una actitud crítica de validación frente a las respuestas generadas por la IA. Este resultado sugiere que los estudiantes no adoptaron una actitud completamente pasiva frente a las respuestas generadas, sino que implementaron mecanismos de contraste y verificación. No obstante, la capacidad para detectar errores conceptuales o metodológicos continúa representando un desafío formativo. Ningún estudiante indicó haber aceptado la respuesta sin algún tipo de comprobación: la mitad verificó la información con la bibliografía o búsquedas complementarias en internet. Es interesante observar que un estudiante indicó haber utilizado otra herramienta de IA para contrastar la información obtenida por otra. Aunque se trata de un caso aislado, muestra que la validación ya no ocurre únicamente contra fuentes tradicionales (bibliografía, artículos, sitios web), sino también mediante la confrontación entre distintos modelos de IA. En este sentido, Mazzuchi López y Sánchez (2025) señalan que la IA aparece como un canal de consulta entre los estudiantes, ya sea para profundizar en contenidos tras la explicación docente o para corroborar información que les llega de diversas fuentes. En cuanto a la detección de errores sobre la información obtenida mediante IA fue variable. El 42 % de los estudiantes detectó errores o inconsistencias en los conceptos teóricos y definiciones, sólo el 4 % detectó errores en los cálculos o en la lógica de las fórmulas, el 33 % verificó y no encontró errores, y el 21 % restante no estaban seguros si la información contenía errores o no habían prestado atención. Aunque los estudiantes tendieron a contrastar la información proporcionada por la IA, dicha verificación no siempre derivó en la detección de errores. Mazzuchi López y Sánchez (2025) advierten sobre el “sesgo de automatización” y la aceptación acrítica de las respuestas generadas por la IA. Sin embargo, en la experiencia los estudiantes manifestaron la necesidad de utilizarla con criterio y verificar la información obtenida. Esto se refleja en algunos de sus comentarios: “hay que usarla con criterio”, “siempre hay que corroborar” y “siempre chequear de qué fuente la IA extrae información”.

En relación con el impacto percibido sobre la experiencia de aprendizaje, el 63 % de los estudiantes coincidió que fue “facilitadora”, ayudándolos a concentrarse en lo importante, mientras que el 21 % se mostró neutral, no sintiendo que cambie significativamente su forma de aprender o trabajar. La percepción mayoritaria de la IA como una herramienta facilitadora coincide con estudios previos que destacan los beneficios inmediatos percibidos por los estudiantes, particularmente en términos de ahorro de tiempo y apoyo para la realización de tareas (Niño-Carrasco *et al.*, 2025). Sin embargo, existen también algunas percepciones críticas que contrastan con la valoración predominantemente positiva observada en el resto de la encuesta. Un estudiante señaló que el uso de la IA le produjo cierta confusión, le generó más dudas de las que resolvió y le produjo errores que tuvo que corregir, mientras que otro la catalogó como “Sustitutiva, dado que sentí que la IA hizo parte del esfuerzo mental que debería haber hecho yo”.

Por último, con respecto a su utilización en el desarrollo profesional, el 54 % sostuvo que es un complemento útil pero secundario frente al conocimiento teórico y práctico, el 21 % consideró que constituye un riesgo si se usa sin criterio, ya que puede llevar a errores profesionales graves y el 13 % que es una herramienta indispensable.

CONCLUSIONES

Día a día se observa un incremento en el uso de las herramientas de IA en nuestras prácticas docentes. En este trabajo es interesante observar que muchos estudiantes procuran utilizarla con criterio y reconocen la necesidad de no dar por válidas las respuestas generadas de forma automática. La detección de errores no siempre fue efectiva, especialmente en aspectos técnicos y procedimentales, lo que pone de manifiesto la necesidad de fortalecer competencias vinculadas al pensamiento crítico, la alfabetización digital y la evaluación de fuentes. Se hace imprescindible fortalecer el pensamiento crítico y dotar a los estudiantes de herramientas para identificar los posibles errores. La amplia adopción de la IA observada refuerza la necesidad de generar instancias formativas que promuevan un uso reflexivo, ético y responsable de estas tecnologías.

REFERENCIAS

- Dellepiane, P.; Guidi, P. 2023. La inteligencia artificial y la educación. Retos y oportunidades desde una perspectiva ética. *Question/Cuestión* (76):3.
- Gallent-Torres, C.; Zapata-González, A.; Ortego-Hernando, J.L. 2023. El impacto de la inteligencia artificial generativa en educación superior: una mirada desde la ética y la integridad académica. *Relieve* 29(2):M5.
- Mazzuchi Lopez, M.B.; Sánchez, P. 2025. Reflexiones en torno a la Inteligencia Artificial. Perspectivas y desafíos en el ámbito educativo. Objeto de conferencia. En: XVI Congreso Argentino, XI Latinoamericano y III Internacional de Educación Física y Ciencias, 2025, Ensenada, Argentina.
- Niño-Carrasco, S.A.; Castellanos-Ramírez, J.C.; Perezchica Vega, J.E.; Sepúlveda Rodríguez, J.A. 2025. Percepciones de estudiantes universitarios sobre los usos de inteligencia artificial en educación. *Revista Fuentes* 27(1):94–106.

COMUNICACIÓN AGROMETEOROLÓGICA EN LAS ACTIVIDADES SOCIOPRODUCTIVAS

Fernández López*, C.¹; Hamze, L.²; Almirón, M.A.²; Fernández, J.³; Escalante, S.³

¹ EEA INTA-Corrientes, Ruta 12 Km 1008, CP: 3416, El Sombrero (Corrientes), Argentina

² EEA INTA-Bella Vista, Ruta 27 - Km 38,3, CP: 3432, El Sombrero (Corrientes), Argentina

³ EEA INTA-Mercedes, Juan Pujol al este s/n, CP: 3470, Mercedes (Corrientes), Argentina

*Contacto: fernandez.carolina@inta.gob.ar

Palabras claves: WhatsApp; Corrientes; eventos extremos

INTRODUCCIÓN

Se considera que la comunicación es un aspecto fundamental en la vida del ser humano, pues es el elemento básico de las relaciones interpersonales (Guerrero, 2012). En relación con las actividades socioproductivas llegar de la forma más rápida, sencilla y específica es un desafío que se plantea a las innovaciones que deben llevar adelante técnicos de instituciones públicas como ser el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Entre los temas más destacados se puede mencionar al Clima y la Meteorología que en distintas formas afecta a la planificación de actividades productivas y a la producción en sí misma ante eventos extremos en épocas no habituales. Como lo cita De La Rosa (2008) que, a pesar de la variabilidad natural de clima, la evidencia científica nos muestra el calentamiento global que ha sufrido la tierra en el último siglo; por ello, por ejemplo, se esperan cambios en la distribución de lluvias acompañados de una mayor frecuencia de las situaciones extremas: sequías e inundaciones. En este contexto, el Servicio Meteorológico Nacional a partir del 2012 avanzó en la profesionalización del área de comunicación bajo la premisa de que no es posible un buen pronóstico sin una buena comunicación (De Diego y Fernandez, 2024). Sin embargo, el impacto de esta estrategia masiva, para llegar al sector productivo todavía necesita de un intermediario más, la función del extensionista local que, junto al equipo de investigación local pueden hacer de nexo entre los datos meteorológicos y la producción agropecuaria.

Principalmente luego de los años de Pandemia 2020/21, las Tecnologías de la Información y la Comunicación se fortalecieron como herramientas necesarias para agilizar los procesos de comunicación grupales, entre ellos la utilización del WhatsApp®, estos favorecen la atención de demandas específicas y de emergencias de los productores y al conocimiento sobre posibles situaciones específicas como ser eventos extremos (CEPAL, 2023).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el interés de la comunicación agroclimática a través del grupo de WhatsApp.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Centro Regional Corrientes de INTA tiene una incumbencia sobre toda la provincia a través de tres Estaciones Experimentales Agropecuarias, cada una con sus responsables del área: 1) EEA Mercedes: Susana Escalante y Juan Fernández, 2) EEA Bella Vista: Leila Hamze y Mario Almirón, 3) EEA Corrientes: Carolina Fernández López. Cada una interactúa además con sus Agencias de Extensión Rural. Considerando el impacto sobre gran parte de la población se dio inicio al grupo Agroclimatología INTA CRC (23/08/2023), en el cual se analizan los miembros, su distribución teórica (considerando características de números telefónicos); y la interacción ante eventos extremos (comunicación directa de los usuarios con los administradores); relevando además el interés a través de “Encuesta”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el 2020 cada EEA comunicaba los datos de registros propios y los pronósticos elaborados desde Centro de Investigación de Recursos Naturales de INTA Castelar. Así se difundía a través de correos electrónicos, página web de cada EEA, listas de difusión, mensajería, y en grupo de WhatsApp. En febrero del 2024 luego de una reunión para consensuar estrategias donde participaron responsables del área de Agroclimatología y de Comunicación se decidió seguir en un único grupo que incluya a todo el Centro Regional Corrientes.

De los 538 miembros que cuenta al día 26/06/2026, se rescata que participan productores, profesionales de las actividades agropecuarias, personas de distintos ejidos urbanos, periodistas agropecuarios de radio, televisión y diversos canales de Streaming. Entre ellos agrupando los participantes por EEA (Tabla 1). El mayor porcentaje de participaciones (Figura 1) corresponde al sector Centro-Sur (EEA Mercedes); seguido del Noroeste (EEA Corrientes) cabe aclarar que muchos números corresponden a la capital por lo cual no necesariamente el usuario corresponde a ese lugar; y el sector del Suroeste con la menor participación porcentual a la fecha. En categoría “otros” se reconocieron características de Buenos Aires y distintas provincias argentinas.

Entre las publicaciones se encuentran: reportes mensuales de registros convencionales, pronósticos semanales; informes diarios de precipitaciones, resúmenes estacionales (demanda atmosférica), alertas y seguimientos de tormentas por radar (Convenio con la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) (Figura 2) y registros fotográficos aportados por los participantes de algunos eventos en particular (Figura 3).

Tabla 1: Localidades identificadas según EEA, incluyen provincias vecinas.

EEA	Localidades					
Mercedes	Santo Tomé	Ituzaingó	Misiones	La Cruz	Chajarí	Mercedes
	Curuzú Cuatiá	Entre Ríos (E)	Monte Caseros	Sauce	Cnia. Liebig	
Corrientes	Capital	Resistencia (Ch)	Empedrado	Riachuelo	Gral. San Martín (Ch)	
Bella Vista	Esquina	Goya	Bella Vista	Santa Rosa	Federal (ER)	Feliciano (ER)
	Reconquista (SF)					
Otros	Buenos Aires	Sáenz Peña (Ch)	Córdoba	Formosa	Santiago del Estero	
	San Andrés de Giles		Ushuaria			

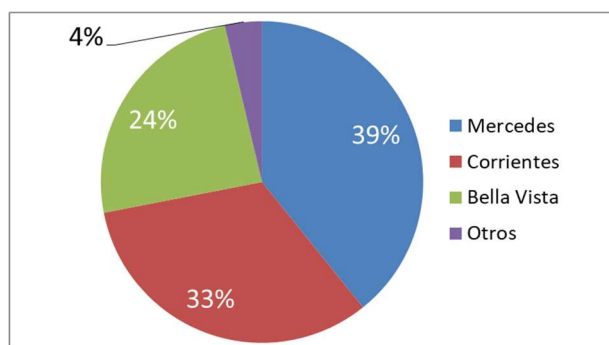


Figura 1: Composición porcentual de los participantes.

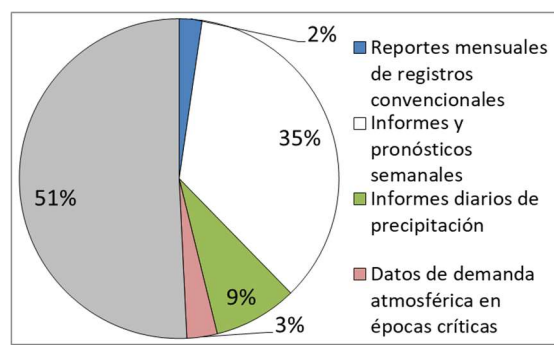


Figura 2: Porcentaje de interés en publicaciones.



Figura 3: a. b. Helada Agrometeorológica 26/06/2026 (Ramada Paso, Cnia. Liebig), c. Pluviómetro local 07/06/2026 (Esquina), d. Lluvia 07/04/2026 Campo Grande (Segunda Sección Empedrado), e. Ráfagas fuertes 25/11/24 (Esquina).

CONCLUSIONES

Después de dos años de comunicar eventos diarios, alertas y resúmenes, el grupo de WhatsApp de Agroclimatología INTA CRC se mantiene activo con más de 500 participantes los cuales se renuevan con bajas y altas. Siendo más demandadas las alertas y los pronósticos semanales. El mismo además de transmitir información desde INTA hacia la población recibe retroalimentación con datos e imágenes de los distintos puntos cardinales de la provincia de Corrientes.

AGRADECIMIENTOS

RIST 067 (INTA), PD I091 (INTA).

REFERENCIAS

- CEPAL. 2023. Extensionismo agropecuario y TICs. La experiencia ICAFE. <https://www.cepal.org/es/notes/list/country/CO/project/53646>, Consultado 20/06/2026.
- De Diego M.; Fernández, C. 2024. Comunicación meteorológica en redes sociales Servicio Meteorológico Nacional – ARGENTINA. En: Comunicación de información meteorológica y climatológica a través de las redes sociales, 2024, Centro de Formación de la Cooperación Española (CFCE).
- De la Rosa D. 2008. Evaluación agroecológica de los suelos. Para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 404 p.
- Guerreo I. 2012. El coraje de ser libres. Ed. Ciudad Nueva, Buenos Aires, Argentina. 159 p.

IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA IoT COMO RECURSO DIDÁCTICO

Flores*, C.A.¹

¹ Cátedra de Meteorología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Almirante Brown 500. Chacras de Coria. Luján de Cuyo. M5528AHB. Mendoza. Argentina

*Contacto: cflores@fca.uncu.edu.ar

Palabras clave: hardware abierto; transferencia tecnológica; microclima

INTRODUCCIÓN

La medición de variables micrometeorológicas en cultivos de alta especialización, como *Cannabis sativa* L. de grado medicinal, resulta crítica para evaluar con precisión los factores ambientales que condicionan tanto la biomasa vegetal como el rendimiento y perfil de sus fitocannabinoides, terpenos y flavonoides. Factores como la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) y las dinámicas térmicas y lumínicas son cruciales para el funcionamiento estomático y la síntesis de estos metabolitos secundarios de interés medicinal. No obstante, la transferencia de estos conceptos teóricos a los productores suele verse limitada por el elevado costo del instrumental meteorológico de referencia. La aparición de plataformas basadas en el Internet de las Cosas (IoT) y el hardware y software de código abierto, representa una oportunidad pedagógica para democratizar el acceso al monitoreo del microclima. La incorporación de plataformas de hardware libre como recurso didáctico responde a una tendencia más amplia dentro de la educación superior en ingeniería. En este sentido, El-Abd (2017) relevó numerosas experiencias universitarias que integran Arduino en asignaturas de sistemas embebidos, y destacó que su bajo costo y su entorno de programación accesible facilitan la apropiación de conceptos técnicos complejos por parte de estudiantes. Por otra parte, Tselegkaridis *et al.* (2024), documentaron mejoras significativas en el proceso de enseñanza - aprendizaje tras una intervención con placas Arduino.

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de una experiencia de enseñanza - aprendizaje llevada a cabo en el marco de la “Diplomatura en Cultivo de *Cannabis sativa*”, que se dicta en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO), fundamentada en la demostración de un dispositivo de bajo costo (Arduino) para analizar la percepción de utilidad y la apropiación tecnológica y de conceptos por parte de los estudiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cohorte 2026 de la Diplomatura en Cultivo de *Cannabis sativa*, dictada en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCUYO), estuvo compuesta por estudiantes con un perfil sumamente heterogéneo desde lo etario, formación académica y experiencia práctica. Esta heterogeneidad planteó un gran desafío desde la planificación del diseño tecnopedagógico de la clase hasta la ejecución de esta.

La experiencia se desarrolló en el marco de la unidad temática “Clima y Cannabis” de la Diplomatura, con un total de 5 horas. El dispositivo utilizado como recurso didáctico consistió en una placa microcontroladora Arduino MKR WiFi 1010 acoplada a un módulo de sensores MKR ENV Shield Rev. 2. El mismo integra sensores de medición de presión atmosférica (sensor LPS22HB), temperatura y humedad relativa del aire (sensor HTS221) e intensidad lumínica en LUX (sensor TGMT6000).

El lenguaje C++ es un lenguaje de programación de propósito general, utilizado habitualmente en sistemas embebidos como Arduino. Con el fin de atenuar el ruido sensorial intrínseco, el código desarrollado en dicho lenguaje fue programado para promediar las lecturas obtenidas cada 60 segundos de PPFD (calculada a partir de la intensidad lumínica), temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Si bien la presión atmosférica no es una variable que impacte directamente en el cultivo, dicho sensor está integrado al módulo utilizado, y los valores obtenidos no tenían otro objetivo más que mostrar la tendencia de esta variable.

Mediante las relaciones matemáticas descriptas por Meek *et al.* (1984), las lecturas fotométricas del sensor de luz (Lux) se transformaron a unidades de radiación fotosintéticamente activa (PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) utilizando un factor de conversión corregido de 0,0185 a efectos prácticos. Asimismo, los datos de presión atmosférica se estandarizaron a hectopascales (hPa). La visualización remota de los valores de estas variables, en tiempo real y en registro histórico, se implementó en la nube a través de un panel de control interactivo (Arduino IoT Cloud). El dispositivo se puso en funcionamiento un momento antes de dar inicio a la clase, estando planificada la demostración unos 45 minutos previos al final de esta.

El impacto pedagógico se evaluó al finalizar la práctica mediante un cuestionario estructurado en Google Forms que indagó sobre el conocimiento previo, las variables de mayor asimilación cognitiva y las dificultades y oportunidades de la adopción de esta tecnología. Para evaluar el impacto de la experiencia sobre la percepción de utilidad y la apropiación tecnológica y conceptual por parte de los estudiantes, el cuestionario fue diseñado en cuatro bloques. En primer lugar, indagó de manera retrospectiva el nivel de conocimiento previo a la clase, tanto sobre la influencia de las

variables meteorológicas en el cultivo como sobre el monitoreo ambiental con hardware libre, mediante escalas de tipo Likert de 5 puntos. En segundo lugar, incorporó una grilla que permitió estimar el aporte cognitivo diferencial de cada una de las variables monitoreadas en función de lo abordado previamente en la clase teórica (radiación solar en su cantidad -PPFD-, calidad espectral y duración -fotoperíodo-, temperatura y humedad relativa). En tercer lugar, relevó mediante afirmaciones en escala Likert, la percepción de utilidad de la visualización gráfica del tablero de control implementado en Arduino IoT Cloud y del dispositivo Arduino en general para proyectos productivos propios. Finalmente, se relevó el perfil de "Grower" de los estudiantes (nivel de experiencia en cultivo Indoor, Invernadero y Outdoor), lo que permitió caracterizar la heterogeneidad de la cohorte, junto con la descripción previamente proporcionada por la Coordinación de la Diplomatura. Se incluyeron, además, preguntas abiertas para relevar dificultades técnicas, intereses de profundización y demandas para futuras ediciones del curso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización retrospectiva del perfil de los estudiantes, relevada al finalizar la práctica, reveló una marcada asimetría entre el conocimiento empírico agronómico y el tecnológico. El nivel de conocimiento previo sobre la influencia de las variables meteorológicas promedió un valor de 2,73 en una escala de tipo Likert del 1 al 5, mientras que el dominio sobre monitoreo ambiental mediante hardware libre se situó en un nivel de 1,91 sobre 5,00. Respecto del perfil de "Grower", el 81,8 % de los encuestados manifestó poseer "mucho experiencia" en esquemas de cultivo en exterior (Outdoor), un rasgo representativo de la matriz productiva del *Cannabis* sp. en Mendoza.

La evaluación de las variables meteorológicas explicadas en la clase teórica y mediante la estación IoT evidenció un impacto cognitivo diferencial. La cantidad de radiación expresada como PPFD y su calidad espectral fueron las variables que mayor conocimiento nuevo aportaron a los encuestados, por encima del fotoperíodo, la temperatura y la humedad del aire.

Respecto a la interfaz del usuario en el tablero de control, el 72,7 % de los alumnos estuvo "De acuerdo" o "Totalmente de acuerdo" en que la visualización del registro histórico a través de gráficos lineales resultó superior al monitoreo puntual mediante indicadores de tipo reloj. No obstante, surgieron desafíos en la apropiación de la técnica: un segmento de los estudiantes reportó dificultades asociadas a la "puesta a punto" del sistema, la lectura e interpretación integrada de gráficos concurrentes y los fundamentos lógicos de la programación orientada a objetos.

A pesar de las barreras técnicas iniciales, el 72,7 % afirmó que Arduino constituye una herramienta útil y viable para ser implementada en sus propios proyectos locales. Al indagar sobre demandas de profundización para futuras ediciones del curso, los estudiantes señalaron la necesidad de incorporar el cálculo del Déficit de Presión de Vapor (VPD) en el código, la automatización del software para el manejo de extractores y la inclusión de otros sensores, tales como humedad y conductividad eléctrica en el sustrato. Asimismo, se destacó el potencial de esta tecnología para la automatización de procesos vinculados al control micro climático en sistemas de producción en ambientes controlados ("Indoor") y cultivos bajo cubierta.

CONCLUSIONES

La integración de plataformas IoT de bajo costo en el ámbito educativo de la agrometeorología funciona como un puente efectivo entre la teoría y la práctica de campo. La visualización gráfica e interactiva de variables tradicionalmente abstractas o invisibles, como la Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos (PPFD), mejoraría la alfabetización científica de este perfil de estudiantes. Además, el uso de hardware libre reduciría de forma drástica las barreras de costos, promoviendo una transición exitosa desde esquemas de cultivo netamente empíricos hacia prácticas agrícolas de precisión basadas en datos meteorológicos rigurosos.

REFERENCIAS

- El-Abd, M. 2017. A review of embedded systems education in the Arduino age: lessons learned and future directions. *International Journal of Engineering Pedagogy* 7(2):79–93.
- Meek, D.W.; Hatfield, J.L.; Howell, T.A.; Idso, S.B.; Reginato, R.J. 1984. A generalized relationship between photosynthetically active radiation and solar radiation. *Agronomy Journal* 76:939–945.
- Tselegkaridis, S.; Sapounidis, T.; Papakostas, D. 2024. Learning circuits and coding with Arduino board in higher education using tangible and graphical user interfaces. *Information* 15(5):245.

MÁS ALLÁ DE LOS DATOS: LA ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA DE LA FCA-UNR COMO AULA ABIERTA A LA COMUNIDAD

Gastaudo*, J.¹; Anibalini, V.A.¹; Barbero, S.¹; Jozami, E.¹; Pistarelli, D.¹; Dickie, M.J.¹

¹ Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Campo Experimental Villarino - C.C. 14 (S2125ZAA) Zavalla - Santa Fe, Argentina

*Contacto: gastaudojulia@fcv.unr.edu.ar

Palabras clave: estación convencional; extensión universitaria; financiamiento

INTRODUCCIÓN

Las estaciones agrometeorológicas convencionales (EAC) constituyen pilares fundamentales para el desarrollo territorial, tanto como fuentes generadoras de series históricas de datos climáticos continuos y confiables, así como espacios de transferencia, vinculación sociocomunitaria y formación académica (OMM, 2014). En entornos universitarios, estos espacios adquieren una dimensión multidimensional al articularse de forma directa con los tres pilares de la educación superior: docencia, investigación y extensión. La EAC de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (FCA-UNR), ubicada en su Campo Experimental J. F. Villarino en Zavalla, Santa Fe (33°01' S; 60°53' O; 50 m s.n.m.), inició sus actividades operativas continuas el 1 de enero de 1973. Desde sus orígenes, se incorporó formalmente a la Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y funciona mediante convenio de cooperación con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Esta trayectoria de más de medio siglo le otorga un alto valor patrimonial y científico para el monitoreo de la variabilidad climática en el sur de la provincia de Santa Fe. Sin embargo, en las últimas décadas, el advenimiento de los sistemas de adquisición automática de datos ha generado debates sobre la continuidad de las observaciones humanas y el financiamiento de la infraestructura convencional (OMM, 2014). En este contexto, resulta fundamental visibilizar el rol de las estaciones tradicionales dentro de las instituciones educativas y los sistemas productivos locales. El objetivo de este trabajo es describir la gestión integral de la EAC de la FCA-UNR, evaluando su impacto en la docencia, su rol en las líneas de investigación agroclimatológica y sus acciones de extensión comunitaria, analizando asimismo los desafíos operativos actuales frente al escenario de desfinanciamiento presupuestario.

MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo agrometeorológico de la FCA-UNR se compone de dos sistemas complementarios emplazados en el mismo predio del Campo Experimental. Por un lado, la EAC dispone de una parcela que cumple con los estándares internacionales establecidos por la OMM (OMM, 2014), donde se aloja el instrumental. Dentro del abrigo meteorológico, se encuentran instalados el par psicrométrico, los termómetros de máxima y de mínima y un termohigrógrafo mecánico de registro diario. A la intemperie, el instrumental se completa con un pluviómetro tipo "B", un heliófanógrafo de Campbell-Stokes, geotermómetros de varilla dispuestos a profundidades de 5, 10, 20, 50 y 100 cm, un tanque de evaporación tipo "A", una veleta para la determinación de la dirección y velocidad del viento instalada en una torre a 10 metros de altura junto a un anemómetro pendular para determinar intensidad del viento, y un freátimetro para el registro semanal de la profundidad de la napa freática. La rutina de observación y registro de las variables se realiza de forma manual dos veces al día, a las 09:00 y a las 15:00 h, debido a restricciones operativas y de seguridad que impiden el ingreso al predio para la observación nocturna tradicional de las 21:00 h. Las lecturas son procesadas por el coordinador principal y la coordinadora auxiliar, docentes de la cátedra de Agroclimatología de la FCA, mientras que las tareas operativas de observación diaria y mantenimiento del instrumental recaen sobre tres estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica. Estos estudiantes reciben una beca institucional y son previamente capacitados por el coordinador principal. Así mismo, la formación se complementa, cuando existe disponibilidad, con el curso oficial de observadores meteorológicos dictado por el SMN. Los datos validados se remiten mensualmente al SMN y se incorporan al sistema SIGA2 del INTA, consolidando una base de datos abiertos y de libre acceso. Por otro lado, el predio incorpora desde septiembre de 2015 una Estación Meteorológica Automática (EMA) Tecmes-Pegasus 201, que cuenta con sensores de radiación global, precipitaciones, temperatura de suelo, temperatura del aire (Ta), humedad relativa (HR), presión atmosférica y viento. Los cuatro últimos, en 2017, fueron homologados por el SMN. La EMA cuenta con tecnología de transmisión GSM (2G/3G) que envía registros cada 15 minutos a la nube. Respecto al control de calidad de la información, recientemente el equipo de cátedra realizó cotejos y comparaciones entre los datos de Ta y HR del instrumental convencional y los sensores automáticos encontrando valores entre 0,81 a 0,96 de R² acompañados por valores de consistencia bajos (Barbero *et al.*, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anualmente, un promedio de 150 estudiantes de las carreras de Ingeniería Agronómica y Licenciatura en Recursos Naturales visita el espacio para conocer el funcionamiento de los instrumentos durante el cursado de las asignaturas Agroclimatología y Climatología, respectivamente, permitiendo consolidar la teoría de las variables físicas mediante la práctica observacional directa. Por otro lado, la estación actúa como proveedora de datos históricos y en tiempo real para los trabajos prácticos y demandas específicas de otras asignaturas de la FCA, así como para el personal no docente encargado de la planificación y toma de decisiones en el Campo Experimental. A nivel de posgrado, la estación provee el soporte material para el curso 'Climatología aplicada a los sistemas naturales y productivos' de la Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales de la institución.

La disponibilidad de la serie histórica de más de 50 años generada por la EAC ha permitido el desarrollo de numerosas investigaciones locales y regionales. Entre los proyectos aplicados, tesinas de grado y tesis de posgrado desarrolladas por el personal de la cátedra y profesionales asociados, se destacan líneas de investigación con alta pertinencia para la Región Pampeana, tales como: la correlación estacional entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y los regímenes térmicos locales; la caracterización cuantitativa de las sequías hidroclimáticas en Zavalla; el análisis retrospectivo y las proyecciones futuras de la ocurrencia de heladas agrometeorológicas; y la evaluación de eventos extremos de precipitación anual, entre otros. Del mismo modo, los datos de la EAC permitieron modelar la variabilidad interanual de la duración del período crítico en cultivos de maíz temprano y tardío según diferentes fechas de siembra, y establecer las relaciones ecofisiológicas entre la fenología de especies arbóreas nativas en el sur de Santa Fe y las fluctuaciones de temperatura y precipitación. Toda esta producción científica ratifica que los datos que produce la estación generan conocimiento aplicado para mitigar el riesgo climático agropecuario.

En la dimensión de la extensión y vinculación, el programa de visitas para establecimientos educativos de la región, impulsado de manera continua desde el año 2022, ha permitido recibir a más de 200 estudiantes de los niveles primario, secundario y terciario. Estas experiencias permiten alfabetizar científicamente a las infancias y juventudes respecto al cambio climático y la meteorología aplicada a la producción de alimentos. En paralelo, desde la cátedra se confeccionan de manera ininterrumpida, boletines agrometeorológicos mensuales y cuatrimestrales, para difusión pública. A estos se suman ediciones especiales como los de fin de campaña agrícola y los de heladas. La estrategia de comunicación de estos productos abarca múltiples canales adaptados a diversos públicos, incluyendo la página oficial y las redes institucionales de la facultad y perfiles académicos en LinkedIn, entre otros, de manera de maximizar el alcance social del dato meteorológico.

La discusión en torno a la sostenibilidad de la estación revela una situación crítica compartida por gran parte de las estructuras científicas y universitarias del país. El marcado desfinanciamiento que afecta a las universidades nacionales y a los organismos nacionales de ciencia y técnica se traduce en problemáticas operativas concretas que ponen en riesgo la continuidad de la serie histórica de datos de la FCA-UNR. En primer lugar, la naturaleza importada de la gran mayoría de los componentes e instrumental convencional genera severas dificultades para la adquisición de repuestos debido a la falta de partidas presupuestarias específicas y las restricciones económicas generales. En segundo lugar, los costos de mantenimiento preventivo y correctivo de los sensores electrónicos de la EMA son muy altos para poder financiarlos con recursos propios de la cátedra. Por último, la depreciación económica de los recursos destinados a bienestar estudiantil genera un escenario de alta vulnerabilidad y riesgo de discontinuidad para las becas de los estudiantes observadores, cuya labor es el núcleo operativo de la EAC.

CONCLUSIONES

A pesar de las tendencias globales hacia la automatización total de los sistemas de medición, la experiencia de esta cátedra demuestra que las estaciones convencionales resultan insustituibles en el ámbito académico, ya que constituyen el patrón de validación de las nuevas tecnologías y el entorno donde se forman los futuros profesionales del sector. Resulta indispensable que las autoridades institucionales y gubernamentales garanticen canales de financiamiento estables que protejan las series de datos históricas y aseguren la continuidad de las becas estudiantiles, resguardando un patrimonio científico y social.

REFERENCIAS

- Barbero, S.; Sola, F.; Venturini, E.; Anibalini, V.; Coronel, A.; Jozami, E. 2022. Comparación entre datos registrados por estación convencional, automática y datalogger, en el sur de Santa Fe. En: CONGREMET XIII, 2022, Rosario, Argentina.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) N°8. 2014. Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. OMM-N° 8. Ginebra, Suiza. 1150 p.

INSTAGRAM E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA ENSEÑAR AGROMETEOROLOGÍA Y FISIOLÓGIA VEGETAL EN LA FCA-UNCUYO

Hidalgo*, V.G.¹; Arancibia, C.^{2,3}; Domínguez, D.L.E.^{2,4}; Aguilera, R.B.¹; Flores, C.A.¹; Cavagnaro, M.A.¹; Caretta, A.I.¹

¹ Cátedra de Meteorología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, CP 5528, Argentina

² Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, CP 5528, Argentina

³ Laboratorio de Biología Molecular, IBAM, CONICET UNCuyo, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, CP 5528, Argentina

⁴ Laboratorio de Fisiología Vegetal y Microbiología, IBAM, CONICET UNCuyo, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, CP 5528, Argentina

*Contacto: yahidalgo@fca.uncu.edu.ar

Palabras clave: comprensión de los conceptos “heladas” y “requerimiento de horas de frío”; innovación pedagógica; medios digitales

INTRODUCCIÓN

La comprensión de las adversidades climáticas constituye uno de los desafíos centrales en la formación de estudiantes de Ingeniería Agronómica e Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. A partir de un diagnóstico docente realizado entre las cátedras de Meteorología Agrícola y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo desde el ciclo lectivo 2024, se identificó que los estudiantes suelen presentar dificultades para interpretar conceptos vinculados con las heladas, así como para comprender la importancia del requerimiento de horas de frío en los procesos fisiológicos normales de los cultivos. Este diagnóstico motivó al equipo docente a pensar una herramienta de apoyo al aprendizaje formal en el espacio áulico tradicional y aprovechar los entornos digitales que forman parte de la vida cotidiana de los estudiantes. En este sentido, se eligió la red social Instagram como escenario de educación en contextos no formales, entendiendo que los entornos digitales amplían las oportunidades de aprendizaje y favorecen experiencias educativas flexibles, participativas y contextualizadas (UNESCO, 2023). Además, la propuesta se sustentó en la perspectiva de Litwin (2008), quien sostiene que la incorporación de tecnologías digitales adquiere verdadero sentido cuando favorece nuevas configuraciones didácticas capaces de enriquecer la enseñanza y promover aprendizajes significativos. Desde esta concepción, la tecnología dejó de ocupar un lugar meramente instrumental para transformarse en una mediación pedagógica orientada a fortalecer la comprensión de contenidos complejos mediante formatos audiovisuales accesibles y cercanos a los estudiantes. Esta experiencia constituyó, además, un antecedente directo de una línea de trabajo institucional fortalecida en el marco de la convocatoria “Proyectos de Ciencia Abierta y Comunicación Pública de la Ciencia” de la Universidad Nacional de Cuyo, a través del proyecto “Ciencia vegetal abierta: estrategias digitales para la comunicación pública desde la FCA-UNCuyo”. En este sentido, la propuesta se inscribe en una trayectoria orientada a producir contenidos visuales, accesibles y rigurosos para comunicar procesos de la fisiología vegetal, la meteorología agrícola y otras áreas vinculadas con las ciencias agrarias.

El objetivo de esta experiencia fue diseñar, implementar y analizar una estrategia interdisciplinaria de mediación pedagógica y comunicación pública de la ciencia, basada en Instagram y en recursos audiovisuales elaborados con apoyo de inteligencia artificial. La propuesta buscó ampliar los espacios de aprendizaje más allá del aula, favorecer el acceso a conceptos vinculados con las heladas y el requerimiento de horas de frío, y analizar su circulación y recepción digital en un contexto de educación no formal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desde el ciclo lectivo 2024 se diseñaron y publicaron cinco reels educativos en las cuentas @climafca_uncuyo y @fisiologiavegetal.y.micro.bio. La propuesta integró, por un lado, una dimensión pedagógica, basada en los contenidos previstos en los programas oficiales de ambas cátedras, priorizando aquellos conceptos considerados críticos para la comprensión de la relación entre el clima y la fisiología vegetal, detectados en el diagnóstico docente. Por otro, una dimensión comunicacional, orientada a transformar contenidos académicos en narrativas audiovisuales breves, comprensibles y atractivas para el público universitario (y público en general), utilizando el lenguaje propio de las redes sociales. Los videos abordaron heladas blancas y negras, heladas tempranas y tardías, metodologías activas de lucha contra heladas y requerimiento de horas de frío. La producción combinó explicaciones docentes con recursos visuales elaborados mediante ChatGPT y Microsoft Copilot, y edición final en CapCut. Su uso se realizó bajo revisión docente y criterios de responsabilidad académica, en línea con los principios institucionales para el uso de inteligencia artificial generativa en la UNCuyo (Universidad Nacional de Cuyo, 2026). Cada pieza fue revisada por el equipo docente para asegurar rigurosidad disciplinar, secuenciación conceptual y adecuación al lenguaje de redes sociales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cinco publicaciones alcanzaron 14.897 visualizaciones, 7.673 cuentas y 870 interacciones, superando el grupo de estudiantes que cursaba las asignaturas y llegando a una comunidad digital más amplia interesada en meteorología agrícola y fisiología vegetal (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de desempeño de reels educativos publicados en Instagram durante 2024. Interacciones incluye me gusta, comentarios, compartidos y guardados.

Publicación	Visualizaciones	Cuentas alcanzadas	Interacciones
Heladas blancas y negras	4.281	2.014	222
Heladas tempranas y tardías	2.653	1.410	176
Metodologías activas contra heladas	3.404	1.753	269
Horas de frío, parte 1	2.553	1.400	104
Horas de frío, parte 2	2.006	1.096	99
Total	14.897	7.673	870

El reel sobre metodologías activas contra heladas presentó el mayor nivel de interacción, con predominio de contenidos de aplicación práctica regional. Heladas blancas y negras registró el mayor alcance y visualizaciones, evidenciando interés por contenidos introductorios sobre adversidades climáticas. Aunque las publicaciones referidas al requerimiento de horas de frío presentaron menores niveles de interacción, lograron un alcance superior a las mil cuentas en ambos casos, logrando posicionar contenidos de mayor complejidad fisiológica dentro de un entorno digital de educación no formal. Si bien estos indicadores no permiten medir de manera directa el aprendizaje alcanzado, sí evidencian circulación, alcance e interacción con los contenidos, aspectos relevantes para valorar el potencial de Instagram como entorno complementario de educación no formal y comunicación pública de la ciencia.

CONCLUSIONES

La experiencia permitió evidenciar que las redes sociales pueden constituirse en escenarios educativos valiosos cuando su utilización responde a una planificación didáctica fundamentada y a objetivos de aprendizaje claramente definidos. Lejos de representar únicamente espacios de entretenimiento, plataformas como Instagram ofrecen oportunidades para ampliar los contextos de enseñanza, favorecer la divulgación científica y académica y fortalecer el vínculo entre la universidad y la sociedad. Los indicadores obtenidos evidencian el alcance y la interacción generada por la propuesta, y sugieren que los contenidos aplicados a la resolución de problemas concretos vinculados con la producción agrícola, el ambiente y los recursos naturales favorecen una mayor participación de las audiencias y una aproximación más accesible al conocimiento en entornos digitales. Aunque estos datos no permiten medir de manera directa el aprendizaje alcanzado, sí permiten reconocer el valor de estos recursos como apoyo complementario a la enseñanza formal y como estrategia de comunicación pública de la ciencia. La incorporación de imágenes generadas mediante inteligencia artificial no reemplazó el trabajo docente ni el rigor disciplinar; por el contrario, actuó como un recurso de mediación que facilitó la representación visual de procesos atmosféricos y fisiológicos complejos, enriqueciendo la comunicación académica y favoreciendo su comprensión. Asimismo, la experiencia destacó el valor del trabajo interdisciplinario entre las cátedras de Meteorología Agrícola y Fisiología Vegetal, demostrando que la integración de saberes disciplinares, estrategias comunicacionales y tecnologías emergentes posibilita el diseño de propuestas innovadoras acordes con las prácticas de aprendizaje de la cultura digital. En este sentido, la experiencia reafirma que las redes sociales pueden trascender su función comunicacional para consolidarse como espacios de enseñanza y de aprendizaje, capaces de ampliar el acceso al conocimiento académico, promover la alfabetización digital y fortalecer el compromiso de la universidad con la transferencia social del conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las cátedras de Meteorología Agrícola y Fisiología Vegetal de la FCA UNCuyo por el trabajo articulado, a los docentes que revisaron los contenidos y a la SIIP UNCuyo por el financiamiento del proyecto “Ciencia vegetal abierta: estrategias digitales para la comunicación pública desde la FCA-UNCuyo” (80020250200062UN), línea institucional con la cual se vincula este trabajo.

REFERENCIAS

- CapCut. 2024. CapCut [software de edición de video]. <https://www.capcut.com/>, Consultado 29/06/2026.
- Litwin, E. 2008. El oficio de enseñar: condiciones y contextos. Paidós, Buenos Aires, Argentina. 226 p.
- Microsoft. 2024. Microsoft Copilot [herramienta de inteligencia artificial]. <https://copilot.microsoft.com/>, Consultado 29/06/2026.
- OpenAI. 2024. ChatGPT [herramienta de inteligencia artificial]. <https://chatgpt.co/>, Consultado 29/06/2026.
- UNESCO. 2023. Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. París, Francia. 44 p.
- Universidad Nacional de Cuyo. Secretaría Académica. 2026. Principios para el uso responsable de la Inteligencia Artificial Generativa en la UNCuyo (Resolución 262/2026 CS, Anexo I). UNCuyo. Mendoza, Argentina.

INTEGRACIÓN DE PRÁCTICAS SOCIO-COMUNITARIAS EN EL ABORDAJE DE ADVERSIDADES CLIMÁTICAS: UNA EXPERIENCIA EN LA FORMACIÓN AGRONÓMICA

Paton*, L.¹; Rivarola, A.¹; Salusso, F.¹; Pautasso, G.¹; Ramos, D.¹; Accastello, N.¹; Cabrera, R.¹; Llames, A.¹; Ledesma, M.¹; Palermo, J.¹

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nacional 36 Km 601, Río Cuarto, CP5800, Argentina

*Contacto: lpaton@ayv.unrc.edu.ar

Palabras clave: trayectorias académicas; trabajo interinstitucional; producción hortícola

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2009 la Universidad Nacional de Río Cuarto (U.N.R.C.) ofrece la posibilidad de incorporar como herramienta pedagógica en los programas de las asignaturas las Prácticas Socio-Comunitarias (P.S.C.). Las P.S.C. constituyen una estrategia clave para la integración de la UNRC con la comunidad, promoviendo experiencias formativas que combinan el aprendizaje académico con el compromiso social. A través de estas prácticas, se fortalece la formación integral de los estudiantes, fomentando el desarrollo de capacidades críticas y la responsabilidad social en contextos reales. Esto permite que, mediante el trabajo comunitario, los estudiantes apliquen los contenidos de las asignaturas y participen en la elaboración de proyectos que contribuyan a la comprensión y resolución de problemas, junto a diversos actores o instituciones de la comunidad, constituyendo verdaderas asociaciones de aprendizaje (U.N.R.C., 2018).

En la Facultad de Agronomía y Veterinaria (F.A.V.), el área de Agrometeorología dicta el curso optativo "Adversidades climáticas en la producción agropecuaria" para estudiantes avanzados de Ingeniería Agronómica. En este espacio se analizan los elementos del clima que actúan como limitantes o amenazas para los sistemas productivos regionales. Es en este espacio curricular en donde se incorpora a la P.S.C. como una valiosa herramienta pedagógica para complementar la última etapa de formación por parte de los estudiantes avanzados que optan por realizar este curso. El objetivo de este trabajo es socializar el uso de una herramienta pedagógica, como es la P.S.C. para propiciar una transición efectiva desde el rol de estudiantes hacia el de profesionales activos, haciendo hincapié en las competencias transversales y habilidades blandas que demanda el nuevo mercado laboral agropecuario. El escenario agronómico contemporáneo caracterizado por la alta variabilidad climática global, la incertidumbre económica y la necesidad de ir hacia sistemas sustentables, ya no solo requiere profesionales con sólida solvencia teórica o disciplinar. Los futuros profesionales deben ser capaces de demostrar comunicación asertiva (tanto oral como escrita), aptitud para el trabajo en equipos interdisciplinarios, liderazgo, capacidad de vinculación interinstitucional y adaptabilidad frente a entornos dinámicos. Asimismo, la resiliencia se vuelve una competencia crítica: el profesional debe estar preparado para gestionar crisis, reconfigurar estrategias agroambientales y comunicar el riesgo climático con claridad a los productores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La P.S.C. se desarrolló en el marco del espacio curricular Adversidades climáticas en la producción agropecuaria, perteneciente al ciclo superior de Ingeniería Agronómica de la FAV-UNRC. Participaron docentes de las áreas de Agrometeorología y Horticultura, estudiantes de ambas asignaturas, becarios del Programa Manuel Belgrano, técnicos del INTA Río Cuarto y estudiantes de nivel medio del ciclo orientado de la Escuela de Agronomía como beneficiarios de la P.S.C. El proyecto de P.S.C. llevado a cabo en esta asignatura se estructura sobre dos ejes de acción, la primera de ella es una pasantía de identificación y diagnóstico realizada en colaboración con el área de Horticultura y la AER Río Cuarto del INTA. El objetivo es que el estudiante logre una caracterización técnica de las adversidades climáticas y evalúe las estrategias de manejo (mitigación y prevención) implementadas en el cinturón hortícola local. En la pasantía se trabajó sobre tres actividades principales, que fueron un análisis documental en base a revisión bibliográfica y de bases de datos meteorológicos; entrevistas cualitativas a técnicos asesores referentes del cinturón hortícola de Río Cuarto y a través de imágenes satelitales se relevó el uso de estructuras de protección y técnicas de manejo de adversidades climáticas.

El segundo eje de acción se basó en realizar un encuentro de saberes, como una instancia de articulación pedagógica entre el nivel universitario y el nivel medio. Los estudiantes de grado asumen un rol de facilitadores, coordinando el intercambio de conocimientos sobre los desafíos climáticos en la producción. Para el encuentro de saberes, se realizaron reuniones de articulación docente entre niveles para definir los contenidos pedagógicos, seleccionando cultivos y adversidades específicas según las necesidades curriculares de los estudiantes beneficiarios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo 2024, la pasantía denominada “Identificación de las principales adversidades climáticas y caracterización de las técnicas de manejo” permitió identificar a la helada y el granizo como las adversidades climáticas de mayor impacto socio-económico en el cinturón hortícola de Río Cuarto. Mediante el procesamiento de imágenes satelitales y su posterior validación en campo con informantes clave, se caracterizaron las principales tecnologías de protección de cultivos (Figura 1): instalación de malla antigranizo, uso de mantas térmicas y producción bajo cubierta (invernaderos).

En octubre de 2025, se llevó a cabo el encuentro de saberes centrado en el manejo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Se seleccionó como caso de estudio el noreste de la provincia de San Luis, dada su marcada diferenciación agroclimática respecto a Río Cuarto, además de ser un tema abordado por el plan de estudio de los estudiantes beneficiarios. El abordaje fue liderado por el estudiante Pablo Aguilera, quien aportó su experiencia doble como becario y productor en la región de San Pablo (San Luis). Este intercambio facilitó el debate sobre los requerimientos ecofisiológicos del cultivo, sus umbrales de tolerancia y las respuestas fenológicas frente a eventos climáticos extremos (Figura 2).



Figura 1. Relevamiento uso de tecnología para la protección de cultivos en el cinturón hortícola de Río Cuarto, expresado en porcentajes (%).



Figura 2. Instancia de intercambio técnico-pedagógico entre estudiantes universitarios y del nivel medio sobre el manejo de adversidades en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

CONCLUSIONES

La implementación de las P.S.C. demuestra ser una estrategia eficaz para estrechar vínculos entre la Universidad y el sector productivo-educativo regional, enriqueciendo la formación profesional mediante el intercambio de saberes. Desde la perspectiva pedagógica, los estudiantes no solo consolidan conocimientos técnicos, sino que desarrollan competencias críticas para su futuro desempeño laboral: capacidad de síntesis, oratoria técnica y resolución creativa de problemas en territorio.

Actualmente, el proyecto avanza hacia una mayor solidez interinstitucional, integrando las pasantías de forma transversal entre asignaturas y el INTA para la generación de productos de transferencia (cartillas técnicas y talleres de difusión) que contribuyan a la resiliencia del sector hortícola local.

AGRADECIMIENTOS

Sebastián Muñoz, Laura Tamiozzo, Pablo Aguilera, Enzo Chiapella, Agustín Righetti y estudiantes y docentes de la Escuela de Agronomía de Río Cuarto.

REFERENCIAS

U.N.R.C. -Universidad Nacional de Río Cuarto-. 2018. Aprendiendo en comunidad: un camino en consolidación. PSC 2016-2017. Secretaría de Planeamiento y Relaciones Institucionales. Mesa de Prácticas Socio-comunitarias. UNRC. Disponible en: <https://www.unrc.edu.ar/unrc/planeamiento/docs/psc/libro-psc.pdf>, Consultado 12/09/2026.

PROPUESTA PEDAGÓGICA DE AGROMETEOROLOGÍA EN NIVEL PRIMARIO. EL CLUB DE LOS MEDIDORES

Zeman*, E.^{1,2}; Biaggi, C.¹; Portocarrero, R.^{1,2}; D'Acunto, L.³; Valeiro, J.⁴; Bazán, W.¹

¹ Estación Experimental INTA Famaillá. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta 301, Km 32, CP 4032, Famaillá, Tucumán, Argentina

² Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, Universidad Nacional de Tucumán, Av. Pte. N. Kirchner 1900, CP 4000, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina

³ Instituto de Clima y Agua-CIRN. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Las Cabañas y Los Reseros s/n, CP 1712, Castelar, Buenos Aires, Argentina

⁴ Comunicador audiovisual independiente. Roosevelt 1877 CP 1430; Belgrano; CABA, Argentina

*Contacto: zeman.eugenia@inta.gob.ar

Palabras clave: alfabetización científica; ciencias atmosféricas; interdisciplinariedad

INTRODUCCIÓN

La adquisición de conocimientos significativos requiere estrategias pedagógicas, que varían en su significancia para generar aprendizajes significativos (Hernández *et al.*, 2021). En este contexto, incorporar recursos alternativos y tecnológicos, es necesario para alentar la participación estudiantil (García y Hurtado, 2022). Las ciencias atmosféricas tienen un elevado nivel de abstracción que suele complejizar el aprendizaje en edades tempranas. Ante este desafío, la observación atmosférica se presenta como una herramienta agrometeorológica fundamental, accesible y concreta para introducir de manera gradual conceptos científicos abstractos mediante el monitoreo ambiental y agropecuario cotidiano. La propuesta permite introducir nociones básicas de agrometeorología mediante el reconocimiento de variables meteorológicas utilizadas cotidianamente en el monitoreo agropecuario y ambiental. Asimismo, favorece la comprensión del valor de las redes de observación meteorológica para la generación de información aplicada a la producción y al estudio del clima. El diseño se desarrolla mediante una dinámica creativa que incluye el uso de videos, lecturas, visitas, dibujos y producciones escritas, recursos que reflejan distintas fases del proceso de aprendizaje (Cañon-Vargas *et al.*, 2025). En este marco, el uso de la metáfora y del cuento favorece la comprensión de conceptos científicos y el fortalecimiento de la lectoescritura. Tal como señala Soto Reátiga (2017), el empleo de cuentos en metodologías audiovisuales constituye una estrategia innovadora de promover competencias lectoras y la construcción de significados en el aula. Incorporar un enfoque interdisciplinario, integrando contenidos de lengua, matemática, ciencias naturales y sociales, permite enriquecer el proceso de enseñanza y aprendizaje. Así los estudiantes asumen un rol activo en la construcción del conocimiento, promoviendo una actitud autónoma y participativa (Hernández *et al.*, 2021). El enfoque sitúa al estudiante en el centro del proceso mediante acción, reflexión e interacción con el entorno (Coleman *et al.*, 2024). Así, se busca superar la repetición de conceptos para promover habilidades científicas, conciencia ambiental y una asunción progresiva de responsabilidades en el manejo de la información climática. El objetivo del presente trabajo es presentar el diseño de una propuesta pedagógica basada en material didáctico original destinado a estudiantes del segundo ciclo de nivel primario, que facilite la introducción de conceptos básicos de agrometeorología mediante una estrategia didáctica creativa, interdisciplinaria y centrada en el aprendizaje activo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta se estructura en base a los siguientes recursos didácticos; un audiovisual, un cuento, un audiolibro y una guía de actividades para realizar en el aula dirigida a estudiantes y docentes. El tiempo de ejecución es flexible y estará determinado por la cantidad de perspectivas curriculares que el docente opte por abordar.

- Audiovisual: Video en formato .mp4 (6 min 38 s), “El Club de los Medidores. Visita al Observatorio Agrometeorológico” (Valeiro, 2024), filmado en el Observatorio Agrometeorológico de la EEA INTA Famaillá (Red Agromet INTA). Su valor pedagógico radica en funcionar como anclaje empírico y motivacional que contextualiza la temática en un entorno real.
- Cuento: El Club de los Medidores (40 min) (Palomo Zeman *et al.*, 2024). Su estructura narrativa utiliza la metáfora y la personificación para humanizar el instrumental meteorológico convencional y automático. El relato sintetiza tensiones epistemológicas actuales, como la complementariedad entre tecnologías manuales y digitales, el valor del trabajo colectivo y la honestidad científica. Como recurso pedagógico, actúa como un puente cognitivo que transpone conceptos abstractos a un lenguaje accesible y cercano para la infancia.
- Audiolibro: Versión de soporte auditivo (25 min) diseñada para acompañar la lectura física y visual de la obra. Su inclusión responde al principio pedagógico de accesibilidad universal, equilibrando la comprensión lectora en aulas con diversos niveles de alfabetización y ritmos de aprendizaje (Zeman, 2024).
- Guía de actividades para trabajar en el aula: Destinada para trabajar el contenido del cuento desde diversas perspectivas curriculares (40 min). Incluye preguntas orientadas al análisis y la reflexión, así como una guía

complementaria para docentes con posibles respuestas y aclaraciones conceptuales que facilitan su implementación en el aula.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conjunto de recursos propuestos aborda la enseñanza de la agrometeorología desde una perspectiva dinámica, interdisciplinaria y centrada en el estudiante. Se identifican las siguientes potencialidades pedagógicas:

- El audiovisual pretende ser la estrategia disparadora del interés. En él, un grupo de niños se cuestiona activamente sobre la variabilidad climática actual y decide responder su pregunta tomando acción y visitando un observatorio agrometeorológico. Esta experiencia favorece la comprensión de la importancia de la medición sistemática de las variables atmosféricas y posiciona a los estudiantes en un rol activo dentro del proceso de conocimiento. Asimismo, el cuento constituye un recurso que permite integrar diversas dimensiones curriculares:
- Dimensión científico-ambiental (Ciencias naturales): Estructura el pensamiento científico temprano y la alfabetización agrometeorológica a través de la aproximación a la observación crítica, el registro sistemático y la interpretación de la red meteorológica, fortaleciendo la conciencia ambiental y la comprensión del cambio climático.
- Dimensión cuantitativa (Matemáticas): Las variables meteorológicas presentadas en el relato permiten iniciar a los estudiantes en el proceso de medición y registro de magnitudes tales como temperatura, lluvia, viento, longitud, peso y tiempo, facilitando la construcción de nociones cuantitativas en contextos significativos.
- Dimensión lingüística (Lengua): El uso de la metáfora plantea el desafío de interpretar significados, fomentando construcciones textuales más profundas. Los personajes actúan como disparadores para ampliar la producción lingüística, y la comprensión lectora.
- Dimensión socio-histórica (Ciencias sociales – Historia): El cuento introduce hitos de la humanidad que pueden abordarse de acuerdo al contexto educativo, tales como la Revolución Francesa, como ejemplo de transformación social; la proscripción social durante la última dictadura militar en Argentina, visibilizando la continuidad del trabajo científico en contextos adversos; y la revolución pacifista de Mahatma Gandhi, retomada como una forma de resolución ética y colectiva del conflicto narrativo.
- Dimensión territorial (Ciencias sociales – Geografía): Se promueve el pensamiento espacial mediante la cartografía y localización de los observatorios meteorológicos en Argentina (incluyendo la Antártida) y el mundo, conectando el entorno productivo local con las redes globales de monitoreo climático.

Finalmente, la articulación del audiolibro y la guía de actividades garantiza la viabilidad del proyecto, proporcionando las herramientas necesarias para una transposición didáctica efectiva y equitativa del conocimiento agrometeorológico en contextos escolares.

CONCLUSIONES

La incorporación de recursos narrativos, audiovisuales y actividades interdisciplinarias se proyecta como una estrategia eficaz para introducir contenidos de agrometeorología y concientizar sobre el valor de las redes de observación en el segundo ciclo del nivel primario. El enfoque adoptado está diseñado para favorecer la participación estudiantil, la comprensión de los fenómenos atmosféricos aplicados y el desarrollo de habilidades vinculadas al pensamiento científico. La propuesta posee el potencial de contribuir a fomentar la conciencia ambiental, el pensamiento crítico y la valoración de la recopilación de datos históricos y el monitoreo ambiental, configurándose como una alternativa didáctica relevante, transferible y alineada con el abordaje de la educación atmosférica en edades tempranas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los proyectos: Abordaje para la prevención y mitigación de la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad en la región NOA. 2023-PE-L03-I055 y a la Red de Agrometeorología. 2029-RIST-E3-I067-001.

REFERENCIAS

- Cañon-Vargas, A.; Melo-Mora, S.; Sosa, E. 2025. School gardens as a research setting for early childhood children to strengthen their environmental awareness and scientific skills. *Discover Education* 4:320.
- Coleman, B.; Bunch, J.; Roberts, G. 2024. Experiential learning in Agricultural Education: a philosophical discussion. *American Journal of Agricultural Education* 65:283-302.
- García, Y.; Hurtado, B. 2022. La huerta escolar como estrategia pedagógica para el fortalecimiento de la cultura ambiental en los estudiantes de grado quinto de básica primaria. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar* 6(6):11705-11729.
- Hernandez, I.; Lay, N.; Herrera, H.; Rodriguez, M. 2021. Estrategias pedagógicas para el aprendizaje y desarrollo de competencias investigativas en estudiantes universitarios. *Revista de Ciencias Sociales* 27(2):242-255.
- Palomo Zeman, G.; Palomo Zeman, A.; Zeman, E. 2024. El Club de los Medidores. Tucumán: Publicación independiente.
- Soto Reatiga, M. 2017. El cuento como mediación pedagógica para el fortalecimiento de la lectoescritura. *Zona Próxima* 27:51-65.
- Valeiro, J. (Dirección). 2024. El Club de los Medidores [Película]. <https://www.youtube.com/watch?v=7jBQ9Z41ZD4&t=2s>
- Zeman, E. (Dirección). 2024. Audiolibro: El Club de los Medidores [Película]. <https://www.youtube.com/watch?v=CUB7YWQTpmE>



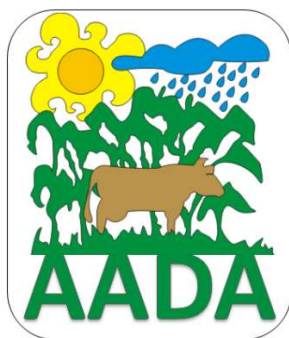


XXI Reunión Argentina y X Latinoamericana de Agrometeorología

Agrometeorología: respondiendo al futuro

- 23 al 25 de septiembre de 2026 -

Organizan



Facultad de
Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Empresas que nos acompañan



ESPECIALISTAS EN
NUTRICIÓN VEGETAL

ISBN 978-631-01-8347-3

