



Validación en Tiempo Real del sistema operativo PREDWEEM: herramienta predictiva de ayuda a la toma de decisiones para el manejo de *Lolium multiflorum* Lam.



Guillermo R. Chantre¹; Luis M. Carretto²; Patricia Diez De Ulzurrun³,
Gabriel Picapietra⁴, Santiago Langoni⁵; Ramon Gigón⁵; Jorge Mendoza⁵;
Matias Flores⁵



¹ Dpto. de Agronomía & Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (UNS-CONICET),
Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

² INTA Bordenave

³ Facultad de Ciencias Agrarias-UNMdP

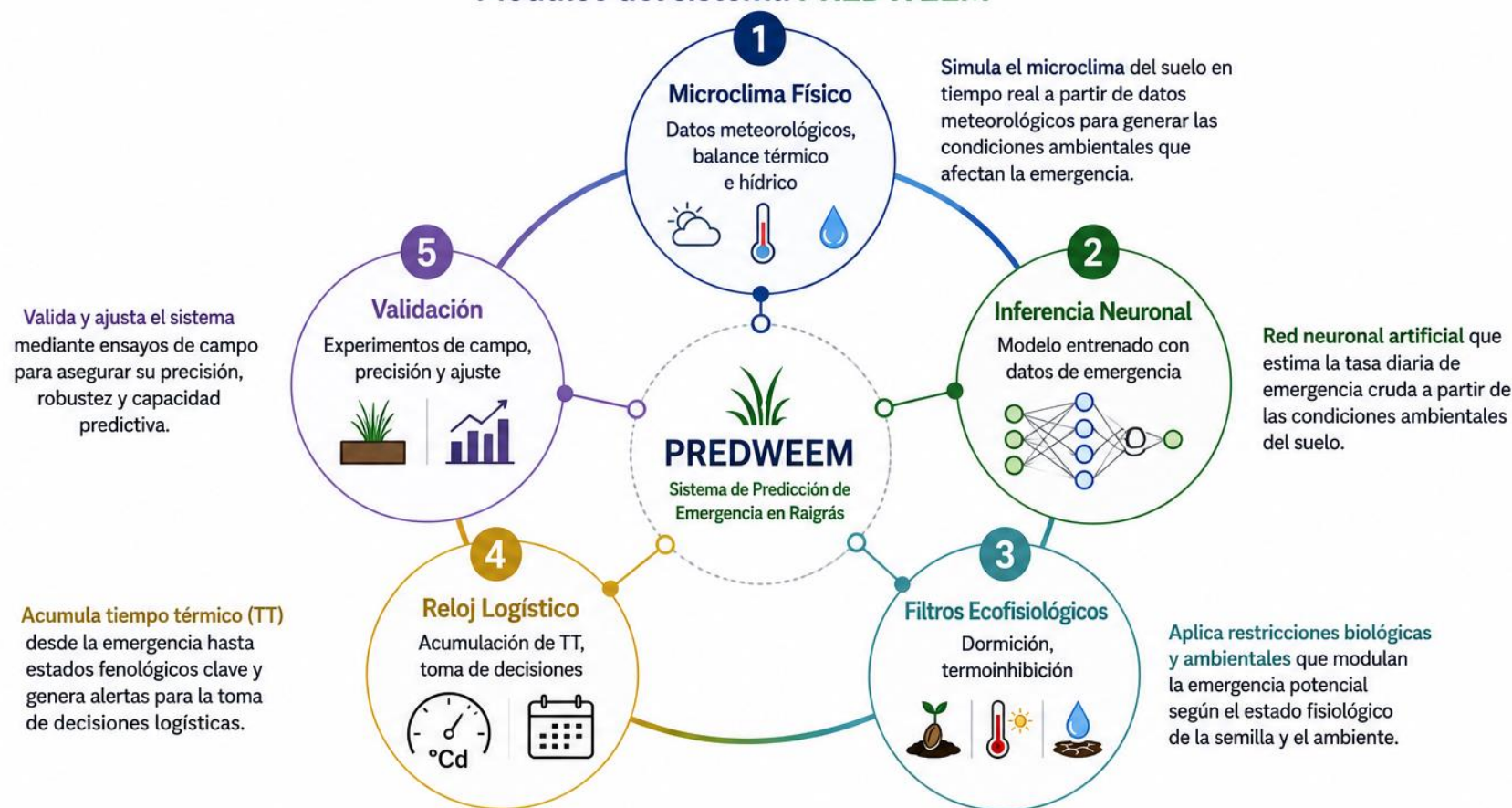
⁴ INTA Pergamino

⁵ Asesor privado.

2 El Enfoque Híbrido (Visión General)

Arquitectura del Sistema

Módulos del sistema **PREDWEEM**



Un sistema híbrido que integra procesos físicos, inteligencia artificial y conocimiento ecofisiológico para predecir la emergencia de raigrás con alta **precisión y utilidad operativa**.

3 Adquisición de Datos Meteorológicos en Tiempo Real



Fuente principal:

- API Open-Meteo (gratuita y de alta resolución)



Actualización:

- Datos en tiempo real (horarios y diarios)



Variables clave:

- Temperatura del aire (máxima y mínima)
- Precipitación



Ventajas:

- Acceso global y escalable
- Latitud y longitud específicas por lote
- Integración automática vía API
- Sin necesidad de estaciones meteorológicas locales



Coordenadas específicas por lote (latitud, longitud)



Sistema de Predicción de Emergencia en Raigrás

Motor Físico (Microclima del Suelo)



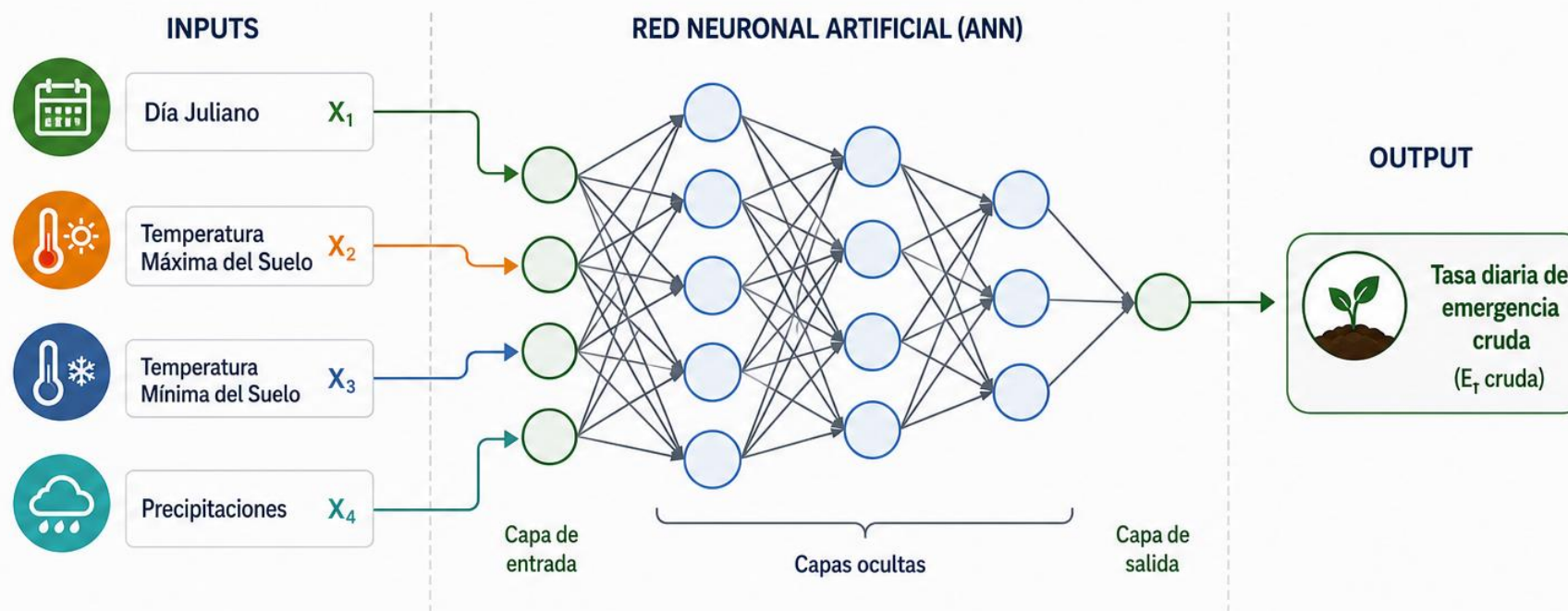
Genera las condiciones del suelo en tiempo real a partir de los datos meteorológicos.



Los datos meteorológicos alimentan directamente al **Motor Físico (Microclima)**, permitiendo estimar las condiciones del suelo en tiempo real para la simulación de emergencia de *Lolium*.

5 2. Motor Predictivo (Inteligencia Artificial)

Inferencia mediante Redes Neuronales (ANN)



La ANN aprende relaciones complejas entre las variables de entrada y predice la **tasa diaria de emergencia cruda** del raigrás.

6

3. Ecofisiología

Filtros ecofisiológicos



PASA EL FILTRO

La condición se cumple y el proceso continúa.



NO PASA EL FILTRO

La condición no se cumple y el proceso se detiene.

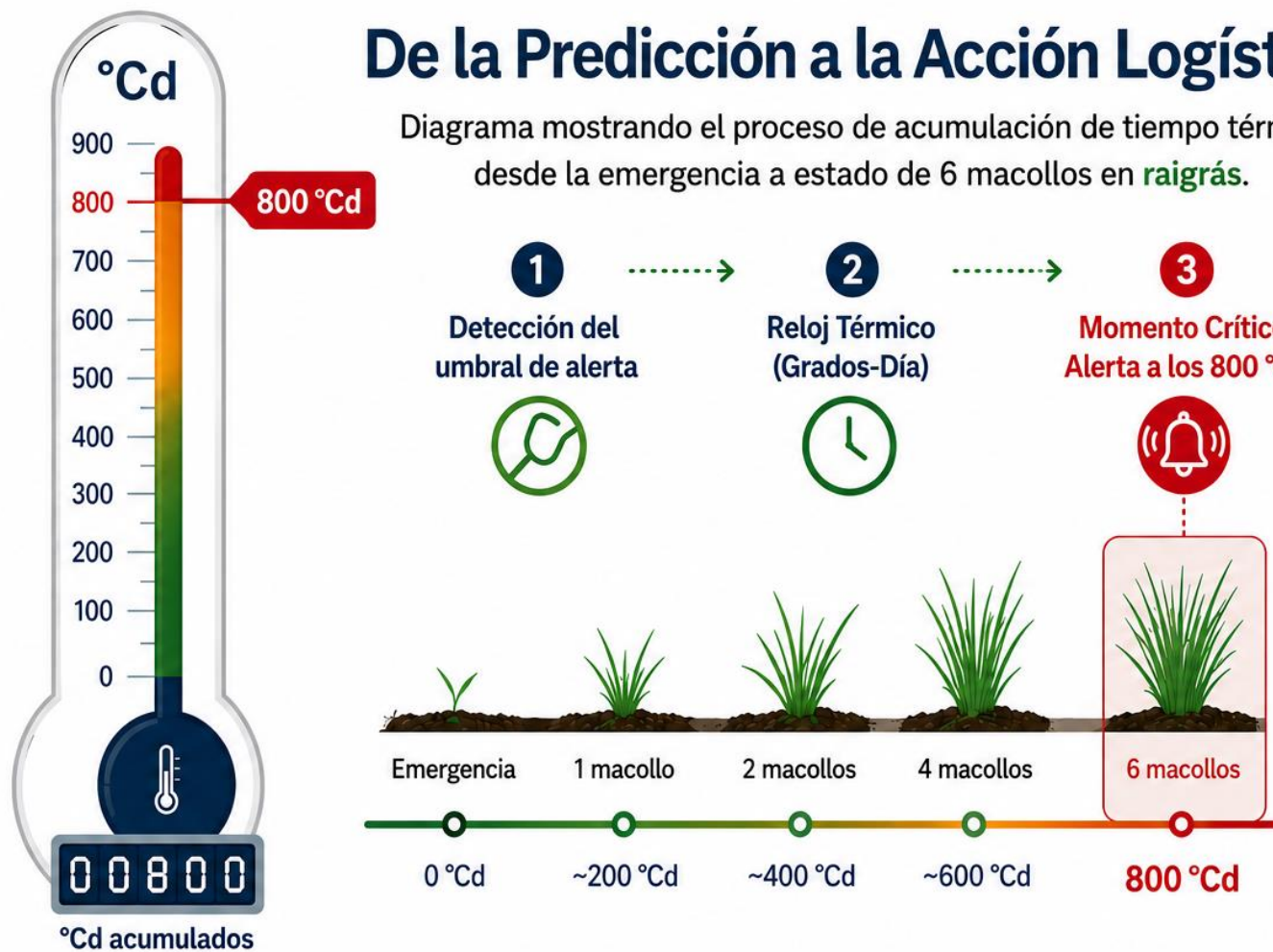


Los filtros ecofisiológicos representan las **restricciones biológicas y ambientales** que determinan la emergencia real del raigrás.

7 4. Motor Logístico (El DSS)

De la Predicción a la Acción Logística

Diagrama mostrando el proceso de acumulación de tiempo térmico desde la emergencia a estado de 6 macollos en **raigrás**.



PREDWEEM – SITIOS DE MUESTREO Y VALIDACIÓN



Muestreo

Registro fotográfico del procedimiento de campo y extracción de plántulas





Hipótesis y enfoque de validación



Hipótesis 1 • Capacidad predictiva

PREDWEEM reproduce satisfactoriamente la ocurrencia y distribución temporal de los principales flujos de emergencia, particularmente el primer flujo significativo, en sitios ambientalmente contrastantes.



Indicadores clave
KGE, NSE, CCC, RMSE,
F1, Δ inicio, $\Delta T50$



Hipótesis 2 • oportunidad del control

El reloj térmico a partir del primer pico validado permite identificar el momento óptimo de control coincidente con la ventana de máxima susceptibilidad.



Indicadores clave
PEC, lag control-pico



Hipótesis 3 • Ventana operativa

La duración calendario de la ventana comprendida entre 600 y 800 °Cd varía entre sitios como consecuencia de las diferencias térmicas regionales, pero proporciona un período operativo cuantificable para planificar la intervención.



Indicadores clave
Lead time, ventana 600-800 °Cd



Diseño de validación



7 sitios de la provincia de Buenos Aires



Comparación
Event-to-Event



Flujos observados
vs. simulados



Decisión agronómica
basada en tiempo térmico



Sitios incluidos

Bordenave, Lartigau, Tres Arroyos,
Olavarría, Azul, Balcarce y Pergamino





Resultados · Hipótesis 1: capacidad predictiva

Reproducción de la ocurrencia y distribución temporal de los flujos de emergencia

Sitio 	KGE 	NSE 	CCC 	RMSE (m³/s)	F1 	Sincronía temporal (días)	
						Δ inicio	ΔT50
Bordenave	0.491	0.402	0.980	0.057	0.800	-11	+13
Lartigau	0.811	0.621	0.940	0.125	0.600	-2	-2
Tres Arroyos	0.470	0.572	0.950	0.141	0.500	+11	+5
Olavarria	0.660	0.357	0.983	0.048	0.889	-4	+10
Azul	0.728	0.763	0.937	0.069	0.750	-9	+9
Balcarce	0.704	0.890	0.921	0.099	0.857	-2	0
Pergamino	-0.196	-1.583	0.860	0.136	0.400	-7	-10

Desempeño
(KGE, NSE, CCC, F1)



Sincronía (días)



Interpretación



6 de 7 sitios mostraron NSE positivo.



La concordancia acumulada fue alta
(CCC medio = 0.939; RMSE medio = 0.096).



La sincronía del inicio fue razonable
(Δ inicio medio = -3.4 días).



Balcarce, Azul y Lartigau mostraron
el mejor desempeño general.



Pergamino fue el sitio más contrastante
y requirió mayor ajuste.



Conclusión: Hipótesis 1

respaldada parcialmente,

con buen desempeño en la mayoría
de los sitios y diferencias locales en
la magnitud de los flujos.

KGE: Kling-Gupta Efficiency · NSE: Nash-Sutcliffe Efficiency · CCC: Concordancia de Lin · RMSE: Raíz del error cuadrático medio · F1: Métrica armónica

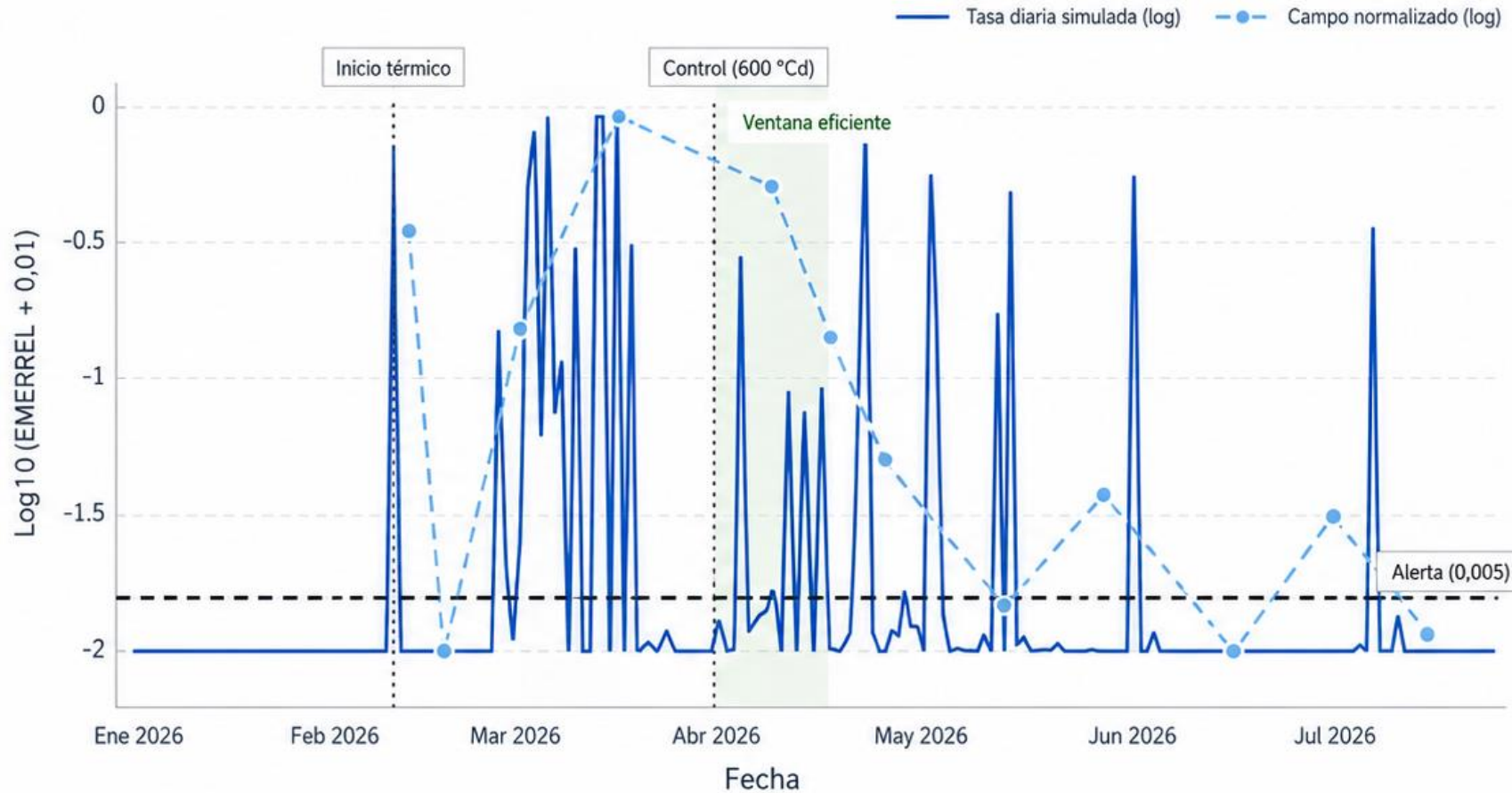




Visualización operativa de PREDWEEM – Lartigau

Dinámica fisiológica de emergencia, validación a campo y tiempo térmico post-emergencia

Dinámica fisiológica de emergencia (intervalos reales de monitoreo)



TT POST-EMERGENCIA (°Cd)



Lectura operativa



Seguimiento diario del flujo de emergencia



Comparación simulación vs. campo



Ventana de manejo basada en tiempo térmico



Salida integrada para monitoreo y toma de decisiones en *Lolium multiflorum*

HIPÓTESIS 2

EL RELOJ TÉRMICO A PARTIR DEL PRIMER PICO VALIDADO PERMITE IDENTIFICAR EL MOMENTO ÓPTIMO DE CONTROL COINCIDENTE CON LA VENTA DE MÁXIMA SUSCEPTIBILIDAD



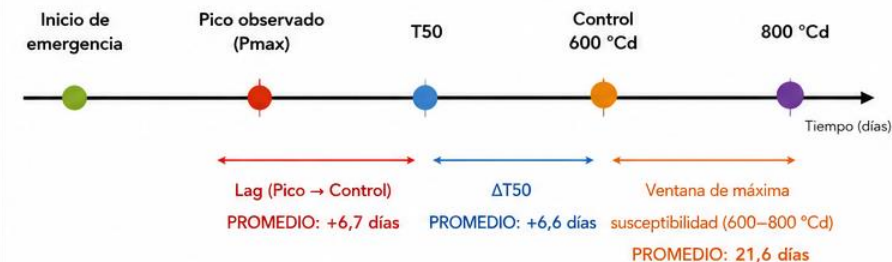
Resultado general:
RESPALDADA

El control a 600 °Cd se ubica cerca del período de máxima susceptibilidad y captura en promedio el 73,8 % de la cohorte emergida.

RESULTADOS CLAVE POR SITIO

Sitio	PEC al control 600 °Cd (%)	Lag (Pico → Control) (días)	ΔT50 (días)	¿Control dentro de la ventana 600–800 °Cd?
Bordenave	70,5	+6	+6	✓
Lartigau	81,8	+11	+16	✓
Tres Arroyos	67,0	+10	+12	✓
Olavarría	55,3	+10	+3	✓
Azul	72,6	+5	+3	✓
Balcarce	71,2	+6	0	✓
Pergamino	89,0	-1	+6	✓
PROMEDIO (±DE)	73,8 (±10,8)	+6,7 (±3,7)	+6,6 (±5,5)	7 / 7

SECUENCIA TEMPORAL PROMEDIO (todos los sitios)



EN SÍNTESIS



73,8 %

de la cohorte emergida
capturada al control
(PEC 600 °Cd)



+6,7 días

en promedio después
del pico observado



7 / 7

sitios con el control
dentro de la ventana
600–800 °Cd)

CONCLUSIONES

- ✓ El reloj térmico iniciado a partir del primer pico validado permite programar el control, en promedio, 6,7 días después del pico observado, coincidiendo con el período de mayor susceptibilidad.
- ✓ Al momento del control (600 °Cd) se ha emergido en promedio el 73,8 % de la cohorte, superando el umbral operativo del 70 % en 5 de 7 sitios.
- ✓ La coincidencia con T50 es alta (ΔT50 promedio +6,6 días), indicando que el control se ubica próximo al punto medio de la emergencia, fase de máxima vulnerabilidad de la maleza.

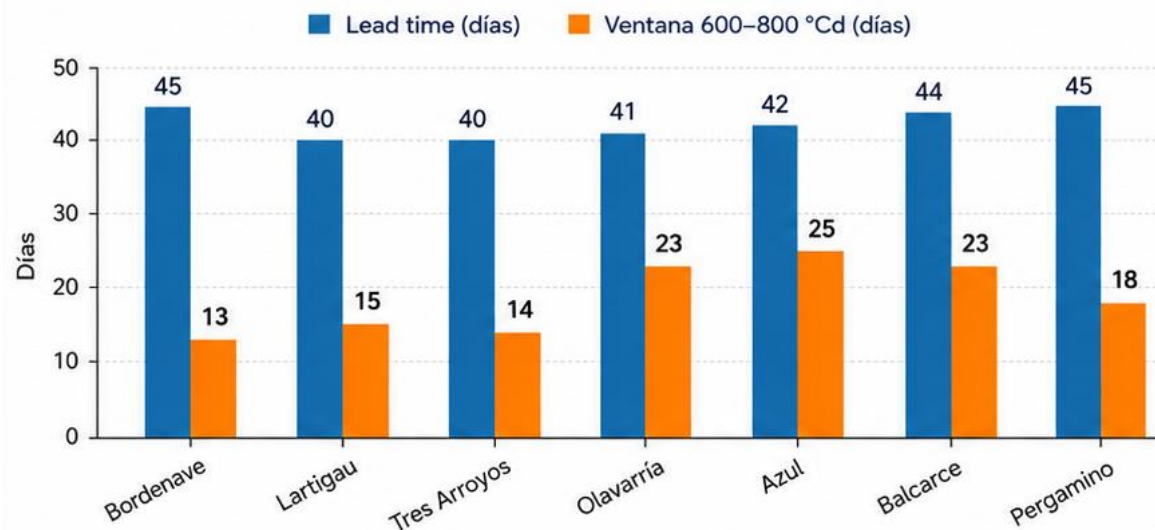
Estos resultados respaldan la **Hipótesis 2**: el modelo permite identificar el momento óptimo de control dentro de la ventana de máxima susceptibilidad, con alta proporción de la cohorte emergida y buena coincidencia temporal con el pico y T50.



Resultados · Hipótesis 3: ventana operativa

Tiempo disponible para planificar y ejecutar la intervención

Lead time vs. duración de la ventana 600–800 °Cd por sitio



Lead time (días)

Media **42.4** días



Ventana 600–800 °Cd (días)

Media **18.7** días

Ventana 600–800 °Cd por sitio (temporada 2025/26)

Sitio	Inicio	Fin	Duración (días)
Bordenave	08/03/2026	21/03/2026	13
Lartigau	29/03/2026	13/04/2026	15
Tres Arroyos	11/04/2026	25/04/2026	14
Olavarría	26/04/2026	19/05/2026	23
Azul	28/04/2026	23/05/2026	25
Balcarce	01/05/2026	24/05/2026	23
Pergamino	21/05/2026	08/06/2026	18



Hallazgos clave

- ✓ Lead time consistente entre **40 y 45 días** (media = 42.4 días).
- ✓ La duración de la ventana 600–800 °Cd varió entre **13 y 25 días** (media = 18.7 días).
- ✓ Azul, Olavarría y Balcarce presentaron las ventanas **más extensas**.
- ✓ Bordenave, Tres Arroyos y Lartigau mostraron **ventanas más cortas**, asociadas a una acumulación térmica más rápida.



Conclusión: Hipótesis 3 respaldada.

La ventana de control fue cuantificable en todos los sitios y mostró diferencias regionales relevantes para la planificación.

SÍNTESIS FINAL Y CONCLUSIONES

Validación multisitio de PREDWEEM en siete ambientes de la provincia de Buenos Aires



Resultado general

**RESPALDO GLOBAL CON
HETEROGENEIDAD ENTRE SITIOS**



7

sitios validados



CCC medio

0,939



Lead time medio

42,4 días



Ventana 600–800 °Cd
media

18,7 días



Hipótesis 1 · Capacidad predictiva

PARCIALMENTE RESPALDADA

- F1 medio = 0,685
- $|\Delta \text{ inicio}|$ medio = 6,6 días; 5/7 sitios dentro de ± 10 días
- Buena trayectoria acumulada (CCC medio = 0,939), pero menor ajuste de flujos en algunos sitios



Sitio con mayor desajuste: **Pergamino.**



Hipótesis 2 · Momento óptimo de control

RESPALDADA

- El reloj térmico desde el primer pico validado ubicó el control dentro de la ventana de máxima susceptibilidad
- PEC medio = 63,3 %; 6/7 sitios superaron 50 %
- El control se ubicó próximo a T50 ($\Delta T50$ medio = +3,6 días)



Hipótesis 3 · Ventana operativa

RESPALDADA

- La ventana 600–800 °Cd fue cuantificable en todos los sitios
- Duración media = 18,7 días (rango: 13–25 días)
- El sistema otorgó anticipación logística (lead time medio = 42,4 días)



Conclusiones

- ✓ PREDWEEM reprodujo adecuadamente la dinámica temporal de emergencia en la mayoría de los ambientes evaluados.
- ✓ La sincronía del inicio y la alta concordancia acumulada respaldan su uso como herramienta de alerta regional.
- ✓ El control a 600 °Cd se ubicó, en general, dentro de la franja de máxima susceptibilidad y con tiempo suficiente para planificar la intervención.
- ✓ La variabilidad entre sitios indica que la calibración ecofisiológica local sigue siendo necesaria, especialmente en ambientes con menor ajuste predictivo.



Sitios evaluados: Bordenave, Lartigau, Tres Arroyos, Olavarría, Azul, Balcarce y Pergamino.

MUCHAS GRACIAS



Validación multisitio de PREDWEEM para la predicción de la emergencia de *Lolium multiflorum*



Contacto

Guillermo R. Chantre

Universidad Nacional del Sur – CONICET

Bahía Blanca, Argentina

