

PREDICCIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA EMERGENCIA DE MALEZAS EN BARBECHO OTOÑO-INVIERNAL EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA

Trabajo Final de Grado
del alumno



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino, 11 de junio de 2020

**PREDICCIÓN DE LA EMERGENCIA DE MALEZAS EN BARBECHO OTOÑO-
INVERNAL EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA**

Trabajo Final de Grado
del alumno

Lautaro Ezequiel Ojeda

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Nombre
Evaluador

Nombre
Evaluador

Nombre
Evaluador

H.A. Acciaresi
Director

G. Picapietra
Co-director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Pergamino, 11 de junio de 2020

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Dinámica de emergencia de malezas	3
Predicción de la emergencia de malezas.....	3
Solarización como proceso inhibitor de la germinación de semillas de malezas ...	5
HIPOTESIS	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
RESULTADOS Y DISCUSION	11
Modelización de la emergencia	13
CONCLUSIONES.....	19
BIBLIOGRAFÍA.....	20

Predicción y modelización de la emergencia de malezas en barbecho otoño-invernal en sistemas de siembra directa.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es predecir la emergencia de malezas durante el período de barbecho otoño-invernal previo a la siembra del cultivo de verano. Para esto, se realizó un experimento en la EEA del INTA Pergamino, donde mediante el uso de solarias se generaron condiciones favorables para la germinación de malezas y se midió el flujo de emergencia dentro de las mismas y en parcelas bajo condiciones naturales. De esta manera, se registró la emergencia acumulada de cada especie y se analizaron diferentes modelos de simulación de emergencia, determinando cuál de ellos ajustó de mejor manera para cada maleza y condición.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las malezas y el ajuste de los modelos, las solarias permitieron anticipar la emergencia de malezas como *Bowlesia incana*, *Conyza* spp. y *Chenopodium album*, pero no fue posible predecir la emergencia de *Amaranthus* spp., y *Eleusine indica* debido a que el inicio la emergencia fue posterior a la observada en las parcelas control. Por lo tanto, el uso de solarias permite predecir el comportamiento de algunas especies bajo sistemas de siembra directa, aportando a la planificación del barbecho.

Palabras clave: modelos, emergencia, temperatura.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década en Argentina, la siembra directa (SD) se ha convertido en una de las bases fundamentales de la producción agrícola (Peiretti y Dumanski, 2014). Actualmente, el 90% de la superficie se conduce bajo este sistema de siembra, predominando el cultivo de soja (20 Millones ha) y en segundo lugar maíz (6 Millones ha) (MinAgri, 2017). Junto con el cambio del sistema de labranza, la incorporación de cultivares resistentes a herbicidas y el uso continuo de glifosato, entre otros aspectos, ha provocado un cambio en la comunidad de malezas, favoreciendo a aquellas especies que se adaptaron a los ambientes no disturbados (Tuesca *et al.*, 2001).

Como consecuencia de ello, el importante desarrollo de principios activos de herbicidas se ha presentado como una alternativa eficaz y económica para el control de las malezas (Gianessi y Reigner, 2007). No obstante, el uso indiscriminado y reiterado de los mismos ha provocado un incremento en la presión de selección de biotipos resistentes y la aparición de malezas de difícil control (Powles y Qin, 2010).

En varias ocasiones, las prácticas de manejo y control de malezas durante el período de barbecho otoño-invernal se realizan sin conocer el número de individuos y la diversidad de especies que pudieran existir (Gonzalez Andujar *et al.*, 2016). En el caso de realizar control químico, cuando se utilizan herbicidas post-emergentes no se controlarían malezas que aún no hayan emergido al momento de la aplicación y si el control se realiza demasiado tarde las malezas pueden tener un tamaño que dificulte su control (Dalley *et al.*, 2004).

Por lo tanto, reconocer cuándo y de qué manera emergen las malezas puede favorecer la planificación de programas efectivos de control de malezas. Para esto, se pueden utilizar modelos de emergencia de malezas que permiten

determinar en qué momento es probable que una especie comience a emerger en el campo (Myers *et al.*, 2004).

Dinámica de emergencia de malezas

La emergencia de plántulas es un evento fenológico muy importante que influye en el éxito de una especie anual (Gonzalez Andujar *et al.*, 2016). Es el resultado combinado de la germinación de las semillas en el suelo y del crecimiento post-germinativo de la plántula. Una vez finalizado el proceso de germinación con la protrusión de la radícula, comienza el crecimiento de la plántula. Cada uno de estos procesos fisiológicos está regulado por factores ambientales diferentes (Boydston, 1989; Van der Weide, 1993).

El momento de la aparición de las estructuras vegetativas por sobre la superficie del suelo depende de factores relacionados i) con el suelo (propiedades físicas y químicas: tamaño de agregado y su distribución, nivel de compactación, temperatura y condiciones hídricas, entre otras), ii) con la semilla (tamaño y peso) y iii) la ubicación de la semilla en el suelo (profundidad) (Benech Arnold *et al.*, 2014)

Durante el proceso de emergencia de las plántulas están involucrados diferentes factores importantes, tal como la dormición de las semillas, la germinación, y el alargamiento de las plántulas previo a la emergencia, y debido a la importancia de este proceso, sería muy importante una comprensión de la misma (Forcella *et al.*, 2000).

Predicción de la emergencia de malezas

Es posible que se esté subestimando el uso de modelos de predicción de la dinámica poblacional de malezas en situaciones prácticas, donde se puede predecir

el comportamiento de una maleza. Aunque la manera correcta sería generar un modelo adaptado a las condiciones específicas del sitio donde se desarrolla la maleza, generalmente se utilizan los modelos más estudiados y se adaptan a cada región (Frecktlon y Stephen, 2009).

Para predecir la emergencia de las malezas se pueden utilizar diferentes modelos de simulación. A tal fin se han desarrollado dos grandes grupos de modelos: modelos mecanicísticos y modelos empíricos. (Myers *et al.*, 2004) Los modelos mecanicísticos intentan representar la causalidad e interacción entre variables a fin de simular la estructura y funcionamiento del proceso biológico de interés. Estos modelos predicen de mejor manera la emergencia de las plántulas, al mismo tiempo que son los más difíciles de desarrollar, ya que necesitan integrar diversas variables ambientales (i.e temperatura del suelo, humedad, aireación del suelo y luz) e intrínsecas de cada especie (i.e tamaño de la semilla, dormición) (Forcella *et al.*, 2000).

Los modelos empíricos están basados en relaciones matemáticas entre algunas variables independientes importantes (tasa de crecimiento, tiempo térmico (grados días), tiempo de emergencia de la maleza con respecto a la del cultivo, entre otras) y una variable dependiente (i.e porcentaje de emergencia), cuyas variaciones deberían ser interpretadas y predichas (Gonzalez Andújar, 2010). De esta manera,, el uso de modelos empíricos más simples permitiría simular el patrón de emergencia, empleando factores del suelo y del microclima (Forcella *et al.*, 2000).

Los modelos empíricos que más se han utilizado para predecir el comportamiento de las malezas son Logístico y Gompertz. Ambos modelos son similares, la principal diferencia es que el modelo de Gompertz se acerca de más gradualmente a la asíntota máxima, lo que a menudo coincide con las plántulas de

emergencia tardía (Gonzalez Andújar *et al.*, 2016; Dorado *et al.*, 2009). Otros modelos, como el hiperbólico y monomolecular, fueron evaluados por Picapietra y Acciaresi (2015), donde mostraron un buen ajuste para predecir el comportamiento de la emergencia de *Echinochloa colona*.

Para la utilización de estos modelos, se puede emplear el tiempo hidrotérmico como variable independiente, logrando buena precisión de predicción. Así mismo, los datos que necesitan integrar estos modelos (potencial agua, grados días del suelo, etc) hace que no sean demasiado prácticos para los productores (Myers *et al.*, 2004). Es por ello que estos modelos suelen ser ajustados utilizando el tiempo térmico como variable predictora, tal como lo demostrado por Ghera *et al.* (1990) quienes lograron adecuados ajustes de los modelos empleando el tiempo térmico.

Por lo tanto, con los datos obtenidos se puede proceder a la elaboración de estos modelos para poder predecir la emergencia de plántulas a lo largo del tiempo, en relación con parámetros ambientales como la temperatura, proporcionando predicciones útiles y precisas a nivel regional. Es por ello que alcanzan una mayor precisión en la predicción cuando las condiciones son similares a aquellas en las que se recopilaron los datos para generar el modelo (Izquierdo *et al.*, 2009).

Solarización como proceso inhibitorio de la germinación de semillas de malezas

La solarización (calentamiento del suelo por medio de film de polietileno) puede servir para la esterilización del suelo y como método de control de malezas, en áreas tropicales con alta radiación solar (Horowitz *et al.*, 1983). Este proceso mata las semillas cuando la temperatura del suelo alcanza 70°C durante siete días o más (Egley, 1990).

Basado en el mismo principio del calentamiento del suelo, Eyherabide *et al.*

(2003) han propuesto el uso de *solarías* (pequeño invernáculo de plástico transparente de 100 μm de espesor) como método de predicción de la emergencia de plántulas de malezas. De esta manera, se ha demostrado que en las zonas templadas de Argentina y EE.UU., bajo sistemas de labranza convencional, las temperaturas generadas por estos dispositivos son lo suficientemente altas como para adelantar la germinación de semillas de malezas, principalmente de *Setaria viridis*, *Chenopodium album* y *Digitaria sanguinalis*, pero no como para eliminarlas, con lo cual es factible predecir la emergencia de las mismas (Eyherabide *et al.*, 2003).

El poder conocer las especies de malezas y el potencial de plántulas con posibilidad de emerger durante un período determinado, resulta una información altamente útil para la gestión integrada de estrategias de manejo, especialmente en los intentos de hacer racional y más eficiente el uso de herbicidas. De este modo, conociendo la proporción de la máxima emergencia representada por cada flujo permite planificar anticipadamente la necesidad y el momento de control (Werle, 2014), siendo esta información particularmente importante cuando las decisiones de control de malezas se basan en modelos bioeconómicos (Lybecker *et al.*, 1991; Wiles *et al.*, 1996).

HIPOTESIS

- El uso de solarias anticipa la emergencia de malezas respecto a la emergencia natural observada en campo.
- La emergencia de plántulas dentro de las solarias tiene un alto grado de ajuste por medio de un modelo matemático basado en el tiempo térmico.
- La emergencia en condiciones naturales es predicha por los modelos ajustados a la emergencia dentro de las solarias.

OBJETIVO GENERAL

Predecir la emergencia de malezas a través de modelos de simulación durante el período de barbecho otoño-invernal previo a la siembra del cultivo de verano, a fin de optimizar el control químico en dicho período.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Cuantificar el flujo de emergencia de malezas modificando las condiciones edafo-climáticas mediante el uso de solarias y bajo condiciones naturales..
- Desarrollar un modelo que permita predecir el comportamiento del flujo de emergencia de las malezas estacionales predominantes durante el período de estudio.
- Relacionar los modelos de emergencia ajustados en ambas condiciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en la campaña 2018/19 en la EEA INTA Pergamino, en un lote de producción con quince años bajo sistema de labranza cero, provenientes de soja en sus últimas dos campañas agrícolas.

Para la construcción de las *solarías* se utilizó una estructura prismática cuadrangular de 0,5 m x 0,5 m de base y 0,1 m de altura, cuyas aristas son de hierro y su lado superior y laterales se encuentran cubiertos de una lámina de polietileno transparente de 100 µm de espesor.

Una vez realizada la cosecha de soja, el día 19 de Julio de 2018, se colocaron en el campo de manera aleatoria cuatro *solarías*, cada una a la par de una parcela de igual superficie (0,25 m²) como control de la emergencia natural. Cabe resaltar que no se realizó ninguna práctica de control de malezas hasta la finalización del experimento en las zonas aledañas a cada parcela.

Se midió el flujo de emergencia de malezas en ambas condiciones de acuerdo a lo propuesto por Eyherabide *et al.* (2003), donde se realizaron recuentos periódicos de tipo destructivo en el cual se eliminaron las plántulas manualmente sin perturbar el suelo. Las malezas evaluadas fueron: *Bowlesia incana*, *Amaranthus* spp., *Conyza* spp., *Eleusine indica* y *Chenopodium album*.

Se registró la temperatura y humedad del suelo y la temperatura en superficie de forma semanal, para caracterizar ambas condiciones. Para ello se utilizaron sensores TC1047 Cavadevices.

Para describir el patrón de emergencia de las especies de interés, se determinaron los valores porcentuales de emergencia acumulada de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\%Emi = \frac{Ei}{Et} \cdot 100$$

Donde %*Emi* es el porcentaje de emergencia acumulada en un momento *i*, *Ei* es la cantidad de plántulas acumuladas en dicho momento y *Et* es el valor de plántulas totales halladas en cada parcela al final del período.

Para describir el patrón de emergencia de las malezas, el porcentaje acumulado (%*Em*) de plántulas se relacionó con el tiempo térmico acumulado, obtenido de acuerdo a la ecuación:

$$TT = \sum_{i=1}^n (Ti - Tb)$$

Dónde: *TT* es tiempo térmico acumulado; *Ti* es la temperatura media ambiente (°C) durante el período del experimento y *Tb* es la temperatura base de cada maleza:

Tb Bowlesia incana: 4,2 °C (Wu *et al.*, 2007)

Tb Amaranthus spp.: 17 °C (Aiub *et al.*, 2014)

Tb Eleusine indica: 16 °C (Chauhan y Johnson, 2008)

Tb Conyza spp.: 4,2 °C (Wu *et al.*, 2007)

Tb Chenopodium album: 6,5 °C (Roman *et al.*, 1999)

Los modelos no-lineales (Di Rienzo *et al.*, 2017) analizados fueron:

Hiperbólico	$Y = \frac{\alpha * x}{\beta + x}$
Logístico	$Y = \frac{\alpha}{1 + (\beta e^{-\gamma x})}$
Gompertz	$Y = \alpha e^{(-\beta e^{(-\gamma x)})}$
Monomolecular	$Y = \alpha (1 + \beta e^{(-\gamma x)})$

Dónde: *Y* es el porcentaje de emergencia, α asíntota máxima, β es el punto de inflexión, γ es la pendiente y *x* es el tiempo térmico (*TT*).

Finalmente y en el mismo programa, se realizaron comparaciones entre modelos para obtener el que mejor ajuste, seleccionados por los criterios de

información de akaike (AIC) y raíz del cuadrado medio del error (*root mean square error* = RMSE) y finalmente por comparación de una prueba T se hallaron diferencias entre parámetros de los modelos y la duración del período de emergencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

El registro de temperaturas medias mensuales de 2018/19 indica que solo hubo diferencias ($p < 0,05$) con respecto al promedio de los últimos diez años en el mes de agosto, que estuvo 1°C por debajo del promedio, y de septiembre, con $2,7^{\circ}\text{C}$ por encima del promedio (figura 1).

En cuanto a las precipitaciones mensuales, las diferencias ($p < 0,05$) se encontraron en los meses de Agosto y Septiembre, donde se registraron 37 y 32 mm menos que el promedio respectivamente, y en noviembre, diciembre y enero, donde se registraron incrementos con respecto al promedio de 32, 91 y 189 mm, respectivamente (figura 1).

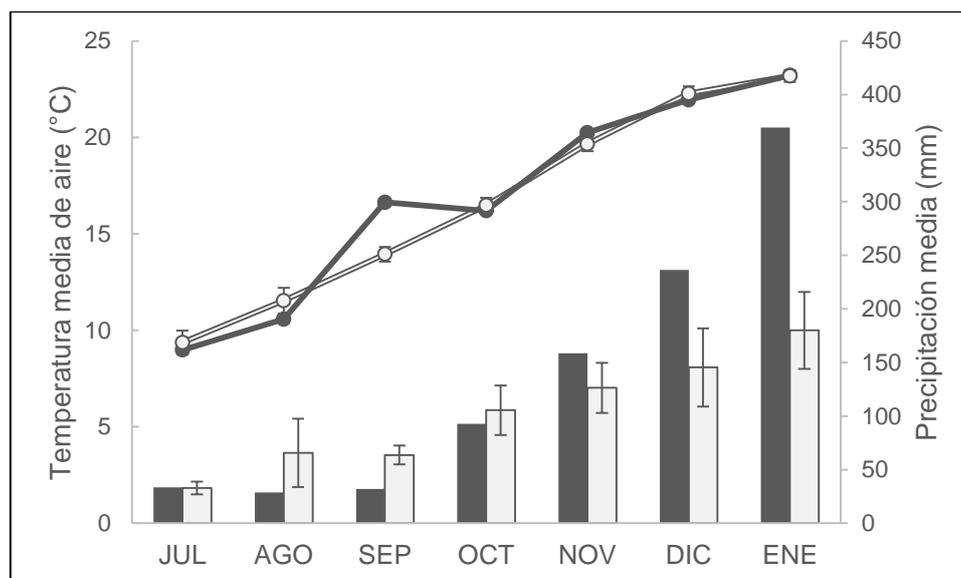


Figura 1. Temperatura media mensual (líneas) y precipitaciones mensuales (barras) para el período de desarrollo del experimento 2018/19 (negro) y el promedio histórico de los últimos diez años (blanco). Datos del Centro Agrometeorológico de INTA EEA Pergamino.

De acuerdo con la temperatura registrada por los sensores, se observó que las diferencias entre los valores dentro de las solarias y las parcelas control se ajustaron a una función polinómica (figura 2).

Se pudo observar en base al ajuste de la función polinómica que las temperaturas en invierno fueron inferiores dentro de las solarias en relación con los datos registrados en las parcelas bajo condiciones naturales, y en los meses de primavera/verano las temperaturas generadas por las solarias fueron mayores a las condiciones naturales.

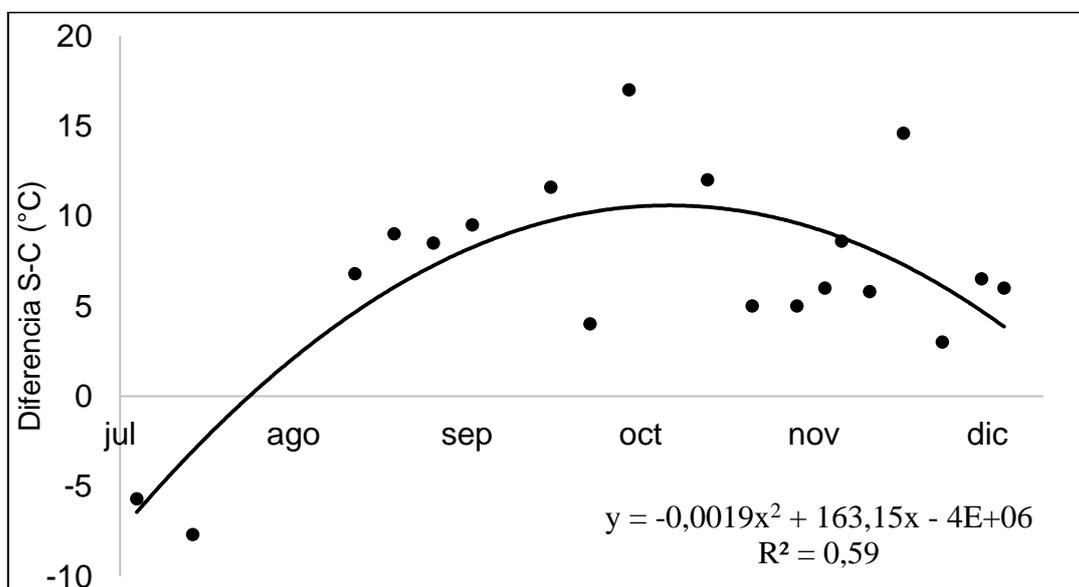


Figura 2. Diferencias de la temperatura del aire entre las solarias y las parcelas control (S-C, °C) en los distintos momentos del registro (puntos) y el ajuste de la función polinómica (línea).

Teniendo en cuenta las mediciones de temperatura, se puede deducir que las solarias incrementaron, en promedio, 6,6 °C los valores en los meses de primavera y verano con respecto a las parcelas control. Por lo tanto, de acuerdo con lo planteado por Eyherabide *et al.* (2003) para sistemas de labranza convencional,

las solarias generan condiciones favorables para la germinación de las plántulas en sistemas bajo labranza cero.

En base a las mediciones de humedad del suelo, no se lograron establecer valores lo suficientemente confiables debido a fallas en los sensores. Por este motivo, dichos valores no se tuvieron presentes en el análisis final.

Modelización de la emergencia

En base a los valores de AIC y RMSE, se observó que la emergencia de *Bowlesia incana*, *Amaranthus* spp. y *Eleusine indica* se ajustó al modelo de Gompertz (figura 3), tanto en las solarias como en las parcelas bajo condiciones naturales (tabla 1).

En cuanto a *Conyza* spp., los modelos Hiperbólico y Monomolecular presentaron los menores valores de AIC para la emergencia acumulada dentro de las solarias, no obstante, el valor de RMSE es elevado. Por lo tanto, el modelo que mejor ajustó dentro de las solarias y en las parcelas bajo condiciones naturales fue el de Gompertz (tabla 1).

La emergencia de *Chenopodium album* se ajustó al modelo de Gompertz dentro de las solarias y al modelo Logístico en las parcelas bajo condiciones naturales.

Tabla 1. Parámetros y sus errores estándares (entre paréntesis) de los modelos Hiperbólico (HIP), Logístico (LOG), Gompertz (GOM) y Monomolecular (MON) para la emergencia acumulada de *Bowlesia incana*, *Amaranthus* spp., *Conyza* spp., *Eleusine indica* y *Chenopodium album* dentro de las solarias y en las parcelas control. Criterio de información de Akaike (AIC) y raíz del cuadrado medio del error (RMSE).

		Solaria				Control			
		HIP	LOG	GOM	MON	HIP	LOG	GOM	MON
<i>Bowlesia incana</i>	α	177,4 (20,2)	96,8 (2,4)	101,6 (2,6)	116,3 (7,5)	382,9 (182,8)	98,6 (1,6)	101,1 (1,9)	157,4 (31,9)
	β	579,2 (131,1)	59,4 (35,5)	3,9 (0,5)	1,0 (0,03)	2217,8 (1383,7)	265,5 (138,1)	13,4 (3,1)	1,1 (0,03)
	γ		0,017 (0,003)	0,007 (0,001)	0,003 (0,004)		0,017 (0,002)	0,009 (0,001)	0,001 (0,004)
	AIC	242,0	233,3	220,9	238,0	260,7	204,2	200,2	255,9
	RMSE	9,7	8,2	6,8	142,3	12,9	65,1	4,9	234,0
<i>Amaranthus</i> spp.	α	556,6 (508,3)	101,7 (3,9)	104,26 (5,1)	100,3 (15,7)	255,5 (64,5)	78,1 (2,9)	97,7 (2,3)	123,1 (13,9)
	β	1358,7 (1465,7)	670,3 (1086,5)	16,5 (9,2)	1,18 (0,08)	509,8 (184,8)	307,2 (551,3)	4,3 (0,6)	1,08 (0,03)
	γ		0,05 (0,01)	0,024 (0,004)	0,007 (0,002)		0,07 (0,02)	0,016 (0,001)	0,005 (0,001)
	AIC	313,2	275,8	280,5	317,1	277,8	281,9	263,2	270,0
	RMSE	17,3	11,1	10,7	141,0	10,6	10,9	8,6	164,5
<i>Conyza</i> spp.	α	192,2 (30,8)	85,7 (4,6)	100,2 (5,1)	121,4 (12,9)	188,0 (25,3)	94,4 (2,4)	92,2 (2,6)	116,2 (7,9)
	β	491,4 (137,4)	133,9 (318,9)	3,3 (0,5)	1,03 (0,03)	960,6 (241,6)	126,4 (106,5)	4,7 (0,8)	1,07 (0,03)
	γ		0,036 (0,019)	0,009 (0,001)	0,003 (0,001)		0,014 (0,002)	0,005 (0,001)	0,0019 (0,0003)
	AIC	178,4	199,2	179,0	178,7	312,3	302,7	286,1	305,3
	RMSE	20,1	13,9	6,6	3627,9	11,1	14,8	8,4	4633,0
<i>Eleusine indica</i>	α	196,1 (54,0)	100,7 (5,1)	100,0 (4,9)	118,8 (16,5)	242,1 (83,9)	92,1 (5,2)	99,9 (6,2)	100,4 (12,5)
	β	353,0 (176,9)	263,3 (370,7)	3468,5 (13154,7)	1,09 (0,07)	578,5 (309,5)	343,3 (1093,2)	9,8 (8,7)	1,11 (0,08)
	γ		0,034 (0,044)	0,061 (0,027)	0,005 (0,002)		0,042 (0,022)	0,018 (0,006)	0,006 (0,002)
	AIC	291,0	277,8	276,9	289,7	277,5	278,7	276,6	281,0
	RMSE	21,9	17,5	17,3	4649,8	17,8	17,9	17,2	4347,2
<i>Chenopodium album</i>	α	2575920,4 (10711802,9)	88,9 (12,1)	99,9 (25,7)	99,6 (48,8)	827,6 (1024,8)	96,1 (2,9)	98,7 (3,7)	99,6 (14,3)
	β	31901838,4 (132776288,4)	841,1 (2766,4)	15,2 (22,4)	1,1 (0,1)	10351,5 (14294,7)	488,9 (447,8)	30,9 (17,8)	1,2 (0,1)
	γ		0,010 (0,005)	0,005 (0,003)	0,001 (0,001)		0,009 (0,002)	0,006 (0,001)	0,001 (0,001)
	AIC	336,0	344,4	344,4	342,8	376,1	333,1	339,0	387,0
	RMSE	23,6	24,4	23,6	123,0	16,1	10,5	10,6	130,2

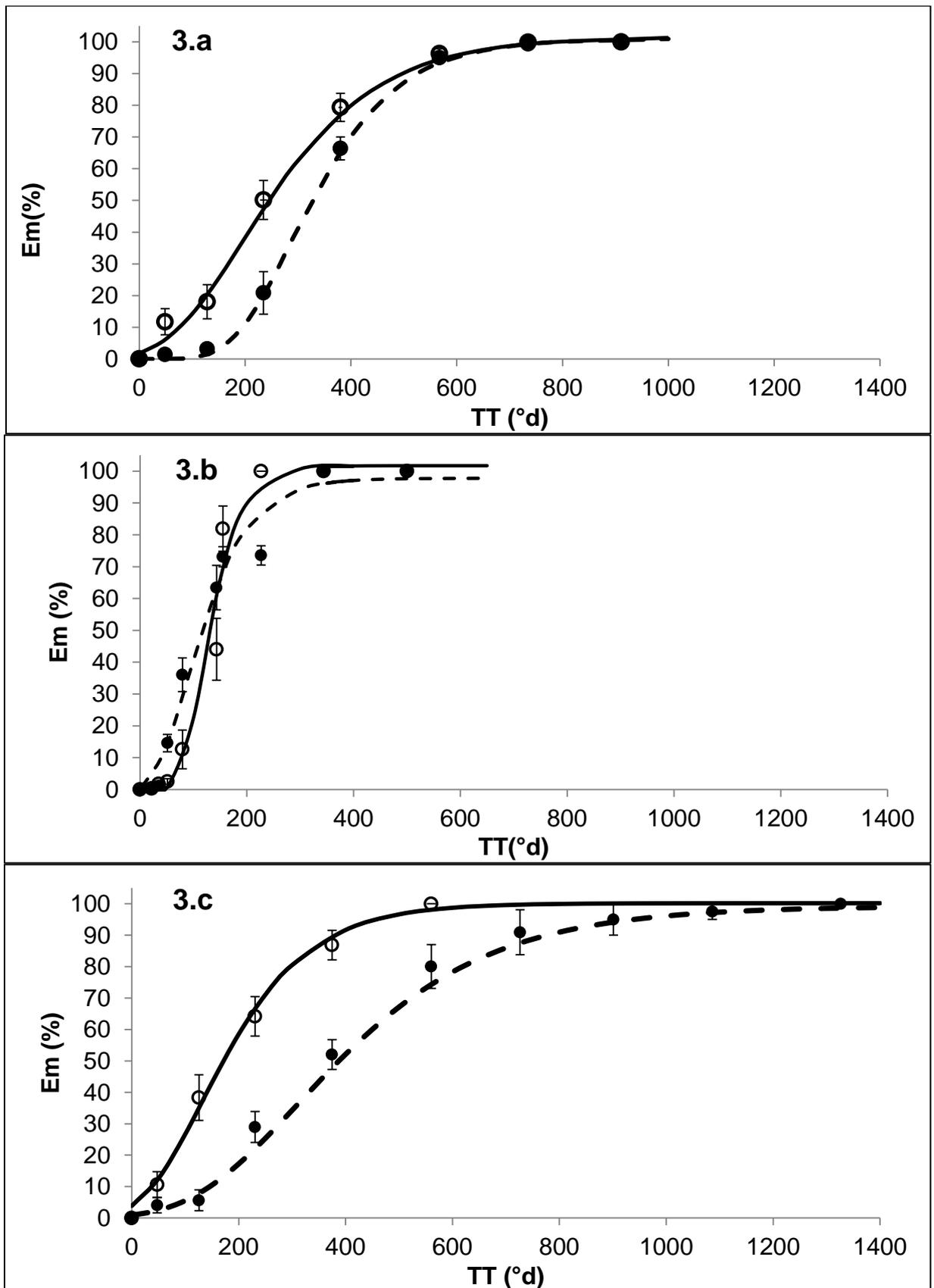
Para el uso de estos modelos empíricos se relacionó una variable independiente como lo es el tiempo térmico con una variable dependiente, porcentaje de emergencia, como menciona Gonzalez Andujar (2010) (Figura 3).

Tal como plantea Forcella *et al.* (2000), el uso de modelos de simulación empíricos permitió describir el patrón de emergencia de las malezas empleando factores del microclima (temperatura ambiente). Además, al igual que lo demostrado por Ghera *et al.* (1990), se logró un adecuado ajuste de los modelos utilizando el tiempo térmico como variable predictora.

Dentro de los modelos evaluados, como mencionan Gonzalez Andujar *et al.* (2016) y Dorado *et al.* (2009), los modelos Logístico y Gompertz que son los más utilizados fueron los que presentaron un mejor ajuste, principalmente Gompertz.

Teniendo en cuenta lo evaluado por Picapietra y Acciaresi (2015) en base a *Echinochloa colona*, los modelos monomolecular e hiperbólico, no presentaron un buen ajuste a las malezas evaluadas en el presente trabajo.

De acuerdo con lo planteado por Myers *et al.* (2004), los modelos de emergencia permitieron determinar en qué momento comenzaron a emerger las especies en el campo, sirviendo como un aporte a la predicción de aplicación en tiempo de herbicidas específicos.



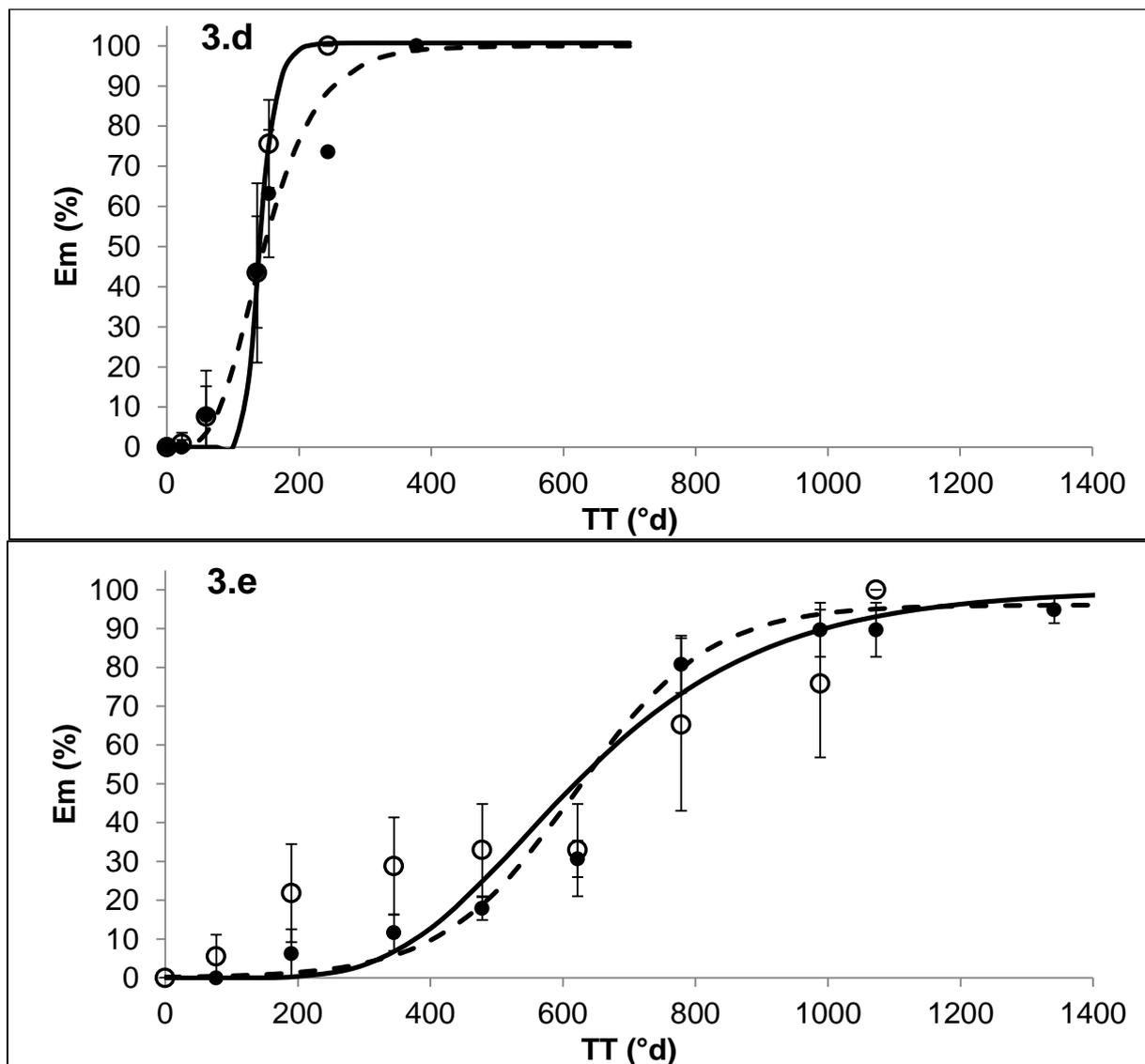


Figura 3. Porcentaje de emergencia acumulada (Em, %) de *Bowlesia incana* (3.a), *Amaranthus* spp. (3.b), *Conyza* spp. (3.c), *Eleusine indica* (3.d) y *Chenopodium album* (3.e) en las solarias (círculos vacíos) y en las parcelas control (círculos negros), y el ajuste a los modelos no-lineales (curvas) en función del tiempo térmico acumulado (TT, °d), en las solarias (línea continua) y en las parcelas control (línea discontinua).

En base a las mediciones de los flujos de emergencia en ambas condiciones, y al ajuste de los modelos, se pudo observar que el uso de solarias permitió adelantar la emergencia de plántulas de las malezas *Bowlesia incana*, *Conyza* spp. y *Chenopodium album*. Esto se ve reflejado en la pendiente de las

curvas (valor β del modelo), donde en dichas malezas es mayor dentro de las solarias que en las parcelas bajo condiciones naturales.

El presente resultado permite llegar a la conclusión de que las solarias anticiparon la emergencia de malezas de hábito de crecimiento otoño-invernal, no siendo así en el caso de malezas con hábito de crecimiento primavero-estival, como *Amaranthus* spp. y *Eleusine indica*, donde se observa que la emergencia ocurrió de manera anticipada en las parcelas bajo condiciones naturales.

Este comportamiento diferencial por parte de las especies *Amaranthus* spp. y *Eleusine indica*, puede ser atribuido en el primer caso a la dormición y necesidad de horas de frío para germinar por parte de la semilla de dicha maleza (Faccini y Vitta, 2005), y en el caso de *Eleusine indica*, al no tener dicho impedimento para germinar (Masin *et al.*, 2005), el comportamiento puede ser atribuido, posiblemente, a la baja frecuencia de la especie en el banco de semillas.

De esta manera, es posible generar una predicción de la emergencia de malezas con hábito de crecimiento otoño-invernal bajo sistemas de labranza cero, al igual que lo demostrado por Eyherabide *et al.* (2003) en sistemas de labranza convencional.

CONCLUSIONES

Lo expuesto en el presente trabajo permite aceptar las hipótesis planteadas y concluir que:

- El uso de solarias en sistemas de siembra directa anticipa la emergencia de determinadas malezas respecto a la emergencia natural observada en campo. Esto permite predecir los posibles nacimientos a campo y de esta manera planificar un método de control eficiente. .
- La emergencia de plántulas bajo condiciones controladas generadas por las solarias, posee un alto grado de ajuste al modelo de Gompertz, que permite describir el patrón de emergencia de las malezas.
- La emergencia en condiciones naturales (parcelas control) de *Bowlesia incana*, *Conyza* spp., y *Chenopodium album*, es predicha por los modelos ajustados a la emergencia dentro de las solarias. La emergencia natural de *Eleusine indica* y *Amaranthus* spp. no es predicha por los modelos que ajustaron dentro de las solarias.

Como conclusión final del presente trabajo se puede argumentar que el uso de solarias es un método práctico para anticipar la emergencia a campo de malezas con hábito de crecimiento otoño-invernal. Esto es particularmente útil a la hora de optimizar y racionalizar el uso de herbicidas, y consecuentemente minimizar el impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Aiub Vila, M; De la Fuente, E; Kruk, B. 2014. Biología y estrategias de manejo en especies malezas. Módulo 2. Curso de resistencia y tolerancia de malezas a herbicidas.
- Benech Arnold, RL; Ghersa, CM, Sanchez, RA; Insaust, P. 1990. A mathematical model to predict *Sorghum halepense* (L.) Pers. Seedling emergence in relation to soil temperature. *Weed Research* 30: 91–99
- Benech Arnold, RL; Batalla, D; Guglielmini, AC; Kruk B C. 2014. Ecología de malezas II: la reanudación del crecimiento y el aumento del área. Capítulo V. En Fernández O.A.; Leguizamón; Acciaresi H.A (Eds.) Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo. EdiUNS. Bahía Blanca. Argentina. Pp. 15–16.
- Boydston, RA. 1989. Germination and emergence of Longspine Sandbur (*Cenchrus longispinus*). *Weed Science* 37: 63–67.
- Calviño, P; Eyherabide, J. 2006. Use of *solaria* to predict weed density and floristic composition in no-till cropping systems. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41(3): 409–413.
- Chauhan, BS; Johnson, DE (2008). Germination ecology of goosegrass (*Eleusine indica*): an important grass weed of rainfed rice. *Weed Science* 56(5): 699–706.
- Dalley, CD; Kells, J; Renner, K. 2004. Effects of glyphosate application timing and row spacing on corn and soybean yields. *Weed Technology* 18 (1): 165-176.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo CW. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL. <http://www.infostat.com.ar>
- Dorado, J; Sousa, E; Calha, IM; Gonzalez Andujar, JL; Fernandez, C. 2009. Predicting weed emergence in maize crop under two contrasting climatic condition. *Weed Research* 49: 251–260.
- Egley GH. 1990. High-temperature effects on germination and survival of weed seeds in soil. *Weed Science* 38: 429–435.
- Eyherabide, J; Calviño, P; Forcella, F; Cendoya, G; Oskout, K. 2003. Solaria help predict in-crop weed densities. *Weed Technology* 17: 166–172.
- Faccini, D; Vitta, JI. 2005. Germination characteristics of *Amaranthus quitensis* as affected by seed production date and duration of burial. *Weed research* 45: 371–378.
- Forcella, F; Benech Arnold, R; Sanchez, R; Ghersa, C. 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research* 67: 123–139.

- Freckleton, RP; Stephens, PA. 2009. Predictive models of weed population dynamics. *Weed Research* 49: 225–232.
- Ghersa, CM; Satorre, EH, Van Esso, MI; Pataro, A; Elizagaray. 1990. The use of thermal calendar models to improve the efficiency of herbicide applications in *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Research* 30: 153–160.
- Gianessi, LP; Reigner, NP. 2007. The value of herbicides in U.S. crop production. *Weed Technology* 21(2): 559–566.
- Gonzalez Andujar, JL. 2010. Modelos de emergencia de malezas. XIII Congreso de la sociedad Venezolana para el combate de malezas.
- Gonzalez Andujar, JL; Chantre, GR; Morvillo C; Blanco, AM; Forcella F. 2016. Predicting field weed emergence with empirical models and soft computing techniques. *Weed Research*: 56(6):415-423.
- Grenón, DA; Mansilla, CM. 2014. Las características y los tipos de modelos aplicados en la producción agropecuaria. Cátedra de Agromática I. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Link: <http://www.fca.unl.edu.ar/Agromatica-docs.htm>.
- Horowitz, M; Rogers, Y; Herlinger, G. 1983. Solarization for weed control. *Weed Science* 31: 70–179.
- Izquierdo, J; González Andújar, JL; Bastida, F; Lezaún, JA; Sánchez del Areco, MJ; 2009. A thermal time model to predict corn poppy (*Papaver rhoeas*) emergence in cereal fields. *Weed Science* 57(6): 660–664.
- Lybecker, DW; Schweizer, EE; King, RP. 1991. Weed management decisions in corn based on bioeconomic modelling. *Weed Science*, 39, 124-9.
- Masin, R; Zuin, MC.; Zanin, G. 2005. Phenological observations on shrubs to predict weed emergence in turf. *International Journal of Biometeorology* 50: 23–32.
- Ministerio de trabajo y producción. 2018. Agroindustria. Datos agroindustriales. Disponible en <https://datos.agroindustria.gob.ar/>.
- Myers M; Curran W; Van Gessel M; Calvin D; Mortensen D; Majek B; Karsten H; Roth G. 2004. Predicting weed emergence for eight annual species in the northeastern United States. *Weed Science* 52: 913–919.
- Peiretti, R; Dumanski, J. 2014. The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation. *International soil and water conservation research* 2(1): 14–20.
- Powles S; Qin Y. 2010. Evolución en acción: las plantas resistentes a los herbicidas. *Annual Review of Plant Biology* 61: 317–347.
- Picapietra G; Acciaresi H,A. 2015. Uso del tiempo térmico para predecir la emergencia de capín (*Echinochloa colona* L.Link) bajo sistemas de labranza

- cero. In I Congreso Argentino de Malezas. Disponible en <http://www.asacim.org.ar/wp-content/uploads/2019/10/ActasArgentina2015.pdf>
- Roman, E. S.; Gordon Thomas, A.; Murphy, S.D.; Swanton, C.J. 1999. Modeling germination and elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science*. 47(3): 298–308.
- Tuesca D; Puricelli E; Papa J C. 2001. A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Research* 49: 369–382.
- Van der Weide, RY. 1993. Population dynamics and population control of *Galium aparine* L. PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 141 p.
- Werle. 2014. Performance of postemergence herbicides applied at different carrier volume rates. *Weed Technology* 29(3): 611–624.
- Wiles, LJ; Lybecker, DW; Schweitzer, EE. 1996. Important biological information needed for bioeconomic weed management models. *Advance in Soil Science*.
- Wu, H; Walder, S.; Rollin, MJ, Tan, DKl; Robinson, G; Werth, J. 2007. Germination persistence and emergence of flaxleaf fleabane (*Conyza bonariensis* [L.] Cronquist). *Weed Biology and Management* 7: 192–199.