

## Manejo Integrado de Malezas: Simulación del sistema multianual AVEFA-Trigo/Cebada

Franco Ariel Molinari<sup>1,2</sup>, Anibal Manuel Blanco<sup>3</sup>, Guillermo Rubén Chantre<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, San Andrés 800, 8000 Bahía Blanca, Argentina.

<sup>2</sup>Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina

<sup>3</sup>Planta Piloto de Ingeniería Química - PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur -CONICET), 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

<sup>4</sup>CERZOS – UNS, CONICET – CCT, Camino La Carrindanga km 7, Bahía Blanca (B8000FWB), Argentina.

franco.molinari@uns.edu.ar

**Resumen.** El presente trabajo propone una herramienta basada en modelos matemáticos para la simulación de escenarios de manejo integrado de malezas. El modelo propuesto permite simular una maleza anual (*Avena fatua* L.) en competencia con cereales de invierno, trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) en un plan de rotación de tres años. Desde la maleza se simula: (i) la dinámica demográfica diaria discriminando la composición numérica de los distintos estados fenológicos, (ii) competencia intraespecífica e interespecífica, (iv) producción de semillas y (v) el efecto de diferentes métodos de control. Referente a los cereales se simula: (i) índice de área foliar (IAF), (ii) competencia sobre la maleza y (iii) rendimiento esperado. El modelo ha sido desarrollado sobre la plataforma Microsoft Excel®, complementado con programación en Visual Basic. Se utilizó como caso de estudio una rotación de 3 años (AVEFA/TRIGO-AVEFA/CEBADA-AVEFA/TRIGO) característica de la región sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** MIM, Demografía de Malezas, *Avena fatua* L., Modelos de simulación.

### 1 Introducción

La agricultura moderna depende operativamente del uso intensivo de insumos (herbicidas, insecticidas, fertilizantes químicos, variedades transgénicas) con la finalidad de maximizar la productividad de los agroecosistemas. Si bien el empleo de herbicidas, desempeña un rol fundamental en el cumplimiento de dicho objetivo en el corto plazo, el efecto de su uso ininterrumpido trae aparejado un consabido riesgo de impacto ambiental y de proliferación de malezas resistentes.

El Manejo Integrado de Malezas (MIM), al combinar distintos métodos de prevención y control, contribuye a mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas, sin per-

judicar necesariamente la ecuación económica de la actividad agrícola. Se busca básicamente mitigar los perjuicios que produce la agricultura moderna al ambiente y a la sociedad, tales como la presencia de residuos en los alimentos, contaminación de suelos y aguas, efectos negativos sobre la flora y fauna natural y disminución de la biodiversidad. Sin embargo, cuantificar el costo/beneficio de las diferentes estrategias o decisiones de manejo no resulta sencillo debido a la gran cantidad de información requerida y a la dificultad de sistematización de la misma para su implementación en un marco decisorio apropiado.

El modelado matemático proporciona una plataforma idónea para sistematizar este tipo de análisis, como lo demuestran variados antecedentes a nivel internacional. [1] presentan una revisión sobre Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones (SSD) desarrollados para distintos países y sistemas agronómicos. Es de destacarse, que actualmente a nivel nacional, no se dispone en la práctica de herramientas agronómicas de SSD basadas en la interacción entre la demografía de malezas, ecofisiología de cultivos y medidas de manejo integradas.

El presente trabajo propone el desarrollo de una herramienta basada en mejoras implementadas sobre una versión previa del modelo propuesto por [2]. La herramienta permite estimar los efectos de las estrategias de control sobre la dinámica demográfica de una maleza anual (*Avena fatua* L.) en competencia con cereales de invierno, trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) en un plan de rotación multi-anual.

## 2 Detalles funcionales y desarrollo del modelo

En esta sección se describen brevemente los principales elementos del modelo. Para mayores detalles consultar [2].

### 2.1 Horizonte de planeamiento

El modelo genera escenarios de manejo multianual (monocultivo o rotación trigo-cebada en un horizonte de hasta tres períodos agronómicos), utilizando un paso diario (cada variable se calcula diariamente a lo largo del ciclo). El cálculo diario asegura una buena aproximación y adaptabilidad a los diferentes sistemas sobre los que se pretende aplicar el modelo, siendo compatible con la frecuencia habitual de toma de muestras a campo, de disponibilidad y pronóstico de datos meteorológicos. La simulación multianual permite visualizar los efectos de las diferentes estrategias de manejo sobre el sistema maleza-cereal.

La información agrometeorológica generada a partir de las estaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) sirve de insumo para el modelo. A partir del registro de temperaturas diarias, el modelo calcula el tiempo-térmico (grados-día, °Cd) requerido para cumplimentar las distintas etapas fenológicas de la maleza y del cultivo.

## 2.2 Dinámica demográfica de la maleza

La dinámica demográfica de la maleza fue simulada a partir de cohortes diarias. Cada cohorte se compone de los individuos que emergen de forma simultánea. El ciclo de vida de la maleza se dividió en cinco estados fenológicos. Cada estado se evalúa individualmente por medio de un balance diario en función de la incidencia de los factores demográficos intrínsecos (competencia intraespecífica, supervivencia, crecimiento y fecundidad denso-dependiente) y extrínsecos a la población (competencia interespecífica, prácticas de control) y/o meteorológicos (acumulación de grados-día).

**Emergencia a campo.** La predicción de los patrones de emergencia anual de la maleza se realizó mediante un modelo de redes neuronales artificiales (RNA) utilizando como variables explicativas las temperaturas mínimas y máximas diarias, la precipitación diaria y el día calendario. Para más información sobre el desarrollo y testeo del modelo ver [3].

**Estados fenológicos.** A continuación, se enumeran los *estados fenológicos* considerados en el modelo:

1. **Plántula (cotiledón-1 hoja verdadera).**
2. **Vegetativo temprano (2-4 hojas verdaderas).**
3. **Vegetativo avanzado (macollaje).**
4. **Reproductivo inicial (floración).**
5. **Reproductivo avanzado (senescencia y dispersión).**

A cada uno de los estados descritos se le asigna un valor de tiempo térmico ( $^{\circ}\text{Cd}$ ) que debe acumular y así permitir la transición hacia el estado siguiente (Tabla 1). Para el cálculo de tiempo-térmico se utiliza la ecuación propuesta por [4].

**Tabla 1.** Requerimientos de tiempo térmico para cada estado fenológico y temperatura cardinal base. CE= conocimiento experto.

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
T <sub>b</sub>	Temperatura cardinal base	0 $^{\circ}\text{C}$	[11]
GD <sub>p</sub>	GD plántula	200 $^{\circ}\text{Cd}$	CE
GD <sub>vt</sub>	GD vegetativo temprano	400 $^{\circ}\text{Cd}$	CE
GD <sub>va</sub>	GD vegetativo avanzado	800 $^{\circ}\text{Cd}$	CE
GD <sub>ri</sub>	GD reproductivo inicial	600 $^{\circ}\text{Cd}$	CE

El estado vegetativo avanzado posee determinados requerimientos ambientales adicionales, por ejemplo, el fotoperiodo y la interacción con la temperatura, que condicionan el momento de inducción floral de la maleza. En la región Sur de la provincia de Buenos Aires, estas condiciones se presentan normalmente durante el inicio de la primavera. Por lo tanto, las plantas en estado vegetativo avanzado (macollaje) deben acumular la cantidad de tiempo térmico correspondiente y adicionalmente lograr el efecto de inducción floral para lograr la transición al estado reproductivo inicial.

Deben considerarse también otras condiciones ambientales que restringen el crecimiento y desarrollo de la especie maleza. Por ejemplo, hacia fines del verano se producen condiciones ambientales adversas (altas temperaturas) que generan una alta tasa de mortalidad sobre los individuos en distintos estados fenológicos. Dichas condiciones fueron explícitamente consideradas en el desarrollo del modelo.

**Banco de semillas y procesos demográficos.** A continuación, se detallan los aspectos más relevantes de la dinámica del banco de semillas y los *procesos demográficos* incidentes en la dinámica de la maleza:

*Banco de semillas.* Es una componente demográfica de gran valor ya que permite estimar el riesgo de infestación determinado por los balances interanuales. El balance del banco tiene en cuenta los ingresos y los egresos del sistema. Los ingresos corresponden a la producción de semillas a partir de las plantas que alcanzan el estado reproductivo avanzado. Los egresos resultan de la germinación-emergencia, predación y mortalidad (ej. decaimiento fisiológico, ataque de hongos y bacterias) (Tabla 2). Al final de cada ciclo se obtendrá un valor estimado que permitirá inferir el nivel de riesgo de infestación en los años subsiguientes [2].

**Tabla 2.** Parámetros demográficos del banco de semillas y producción de semillas de la maleza.

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
<i>BANCO DE SEMILLAS</i>			
D <sub>IBS</sub>	Densidad inicial (semillas m <sup>-2</sup> )	479	[6]
Dep <sub>Bs</sub>	Tasa de depredación durante el barbecho	0,5	[6]
MOBS	Tasa de mortalidad anual	0,0732	[6]
G	Proporción de semillas despiertas	0,33	CE
MO <sub>D</sub>	Pérdidas de semillas al momento de la dispersión natural	0,37	[6]
<i>PRODUCCIÓN DE SEMILLAS</i>			
St	Máxima producción de semillas por planta cuando $\rho_{ri} \rightarrow 0$	149	[5][6]
b <sub>ps</sub>	Proporción de st en condiciones de máxima producción de semillas por unidad de área.	0,048	[5][6]

*Producción de semillas.* Se calcula la fecundidad según la densidad de plantas que alcanzan el estado reproductivo avanzado, utilizando la ecuación propuesta en [5] y adaptada según datos de la región Centro-Sur bonaerense [6] (Tabla 2). La fecundidad y el número de individuos al estado reproductivo avanzado se utilizan para el cálculo de la producción total de semillas.

*Competencia intraespecífica.* La competencia que ejerce cada planta de maleza sobre los individuos de la misma especie se considera mediante la aplicación de una tasa de mortalidad que depende de la capacidad de porte del sistema (K) y la densidad de plantas (ponderada por el estado de fenológico en el que se encuentren). La competencia intraespecífica impacta sobre la incorporación de nuevas plántulas al sistema, y sobre la supervivencia de las plantas presentes (auto-raleo). El impacto de la competencia es

función de la densidad alcanzada en los diferentes estados. Por ende, a medida que la densidad aumenta y supera el valor preestablecido de K se activa el efecto de dicha competencia. Como se ha comentado anteriormente a los fines prácticos se han asignado distintos pesos competitivos según el estado fenológico de la maleza (Tabla 3).

**Tabla 3.** Parámetros demográficos de competencia intraespecífica de la maleza. CE= conocimiento experto.

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
K	Capacidad de porte del agroecosistema	250	CE
Mo <sub>Cia</sub>	Tasa de mortalidad por competencia (solo si $\rho \geq K$ )	0,99	CE
FC <sub>p</sub>	Factor competencia al estado plántula	0,3	CE
FC <sub>vt</sub>	Factor competencia al estado veg. temprano	0,6	CE
FC <sub>va</sub>	Factor competencia al estado veg. avanzado	0,9	CE
FC <sub>ri</sub>	Factor competencia al estado rep. inicial	1	CE

**Tabla 4.** Parámetros ecofisiológicos del cultivo y de competencia interespecífica. CE= Conocimiento experto.

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
<i>CURVA DE CRECIMIENTO DE CEBADA</i>			
A	Pendiente de la curva	0,0091	[5]
b <sub>tt</sub>	TT específico correspondiente a $TPLA_{max}/2$	736	[5]
Rendimiento esperado – Competencia interespecífica Maleza-Cultivo			
P <sub>0c</sub>	Densidad de siembra estandar de Cebada	160	[6]
P <sub>comp c</sub>	Densidad de siembra de Cebada que compite efectivamente con la maleza	280	CE
P <sub>0t</sub>	Densidad de siembra estandar de Trigo	200	CE
P <sub>comp t</sub>	Densidad de siembra de Trigo que compite efectivamente con la maleza	350	CE
M <sub>C</sub>	Maxima proporción de pérdida del rendimiento en Cebada por elevada de densidad de malezas	0,45	[8]
M <sub>T</sub>	Maxima proporción de pérdida del rendimiento en Trigo por elevada de densidad de malezas	0,4	[6]
A <sub>C</sub>	Constante dependiente del cultivo (Cebada)	3	[8]
A <sub>T</sub>	Constante dependiente del cultivo (Trigo)	5	[8]
K <sub>AvC</sub>	Constante que refleja la competitividad de la maleza en un cultivo de Cebada	3,3	[8]
K <sub>AvT</sub>	Constante que refleja la competitividad de la maleza en un cultivo de Trigo	3	[8]
COMPETENCIA INTERESPECÍFICA			
SC <sub>E-PCC</sub>	Susceptibilidad del cultivo desde emergencia a PCC	1	CE
SC <sub>PCC</sub>	Susceptibilidad del cultivo durante PCC	2	CE
SC <sub>PCC-MF</sub>	Susceptibilidad del cultivo desde PCC hasta madurez fisiológica	1	CE
Mo <sub>Cie</sub>	Tasa de mortalidad por competencia interespecífica	0 a 1	CE

*Competencia interespecífica.* A fin de cuantificar el efecto competitivo del cereal sobre la maleza se aplicó una tasa de mortalidad sobre el primer estado fenológico de la maleza. La tasa de mortalidad depende de la simulación del crecimiento del cultivo, a través del área foliar total del cereal [7] y luego ajustada mediante un factor de competencia diario (Tabla 4).

Para la simulación del crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo se utilizó en primera instancia la herramienta Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Dicha herramienta permite simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento esperado de cultivos, como también otras variables de interés agronómico a través de funciones que relacionan información geográfica y ambiental, con información de los cultivos involucrados. La simulación mediante DSSAT se ajustó a las condiciones de la región bajo estudio y a partir de los resultados obtenidos se desarrolló una ecuación simplificada de crecimiento y desarrollo del cultivo de fácil implementación al modelo propuesto en [2].

El efecto de la competencia interespecífica ejercida por la maleza sobre el cultivo se modeló utilizando la función de rendimiento esperado [8] adaptada por [2].

### 3 Sistema AVEFA-Cebada/Trigo

El presente trabajo representa la aplicación del enfoque propuesto a la dinámica demográfica de la especie maleza *Avena fatua* L. (AVEFA) en competencia con el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) o cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.), para un sistema agrícola típico del sur bonaerense. Para este estudio se utilizaron datos climáticos obtenidos de la EEA-Bordenave [9]. En particular se seleccionaron las campañas 1993, 1994 y 1995 por disponerse de información específica sobre AVEFA [6]. El Periodo Crítico de Competencia (PCC) se estimó utilizando el software *CronoCebada*® y *CronoTrigo*® [10].

A continuación, se proporcionan los detalles de la información empleada para la simulación.

#### 3.1 Control de AVEFA

A continuación, se detallan los métodos de control considerados:

- Control químico:
  - Herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>).
  - Herbicida Selectivo para trigo y cebada (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L ha<sup>-1</sup>).
  - Herbicida Selectivo para trigo con efecto residual (Flucarbazone sódico WDG 70%, 80 g ha<sup>-1</sup>).
- Control mecánico:
  - Labranza

**Tabla 5.** Eficiencias del control mecánico y químico (%) según el estado fenológico de AVEFA para herbicidas con efecto No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>), Selectivo (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L ha<sup>-1</sup>) y con efecto residual (Flucarbazone sódico WDG 70%, 80 g ha<sup>-1</sup>).

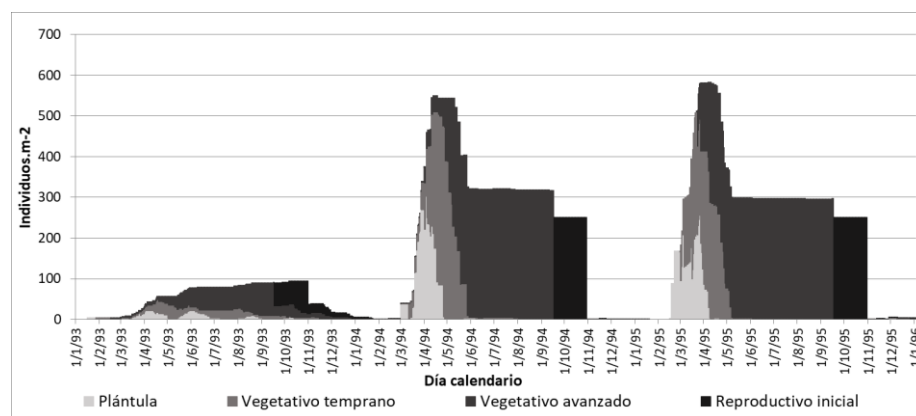
Método de control	Plántula	Vegetativo temprano	Vegetativo avanzado	Reproductivo Inicial	Residualidad (días)	Eficiencia de control Residual
Glifosato LS 48%	99	99	99	50	0	0
Pinoxaden CE 6%	100	90	70	20	0	0
Flucarbazone WDG 70%	100	90	30	0	20	50
Labranza	100	100	100	100	0	0

## 4 Resultados

A continuación, se presentan los resultados de simulaciones multianuales considerando una secuencia de rotación trianual Trigo/Cebada/Trigo con infestaciones iniciales de 479 semillas m<sup>-2</sup> de AVEFA en el banco del suelo.

### 4.1 Caso I

Simulación de la dinámica poblacional de AVEFA sin medidas de control (Fig. 1; Tabla 6). El objetivo fue evaluar el efecto de la competencia intraespecífica y la capacidad de porte del agroecosistema (K).



**Fig. 1.** Dinámica demográfica multianual de AVEFA sin aplicación de medidas de control mostrando la composición relativa de cada estado fenológico.

**Tabla 6.** Rendimiento esperado del cultivo, densidad y producción de semillas de AVEFA y balance del banco de semillas, para una serie de tres años sin aplicación de medidas de control.

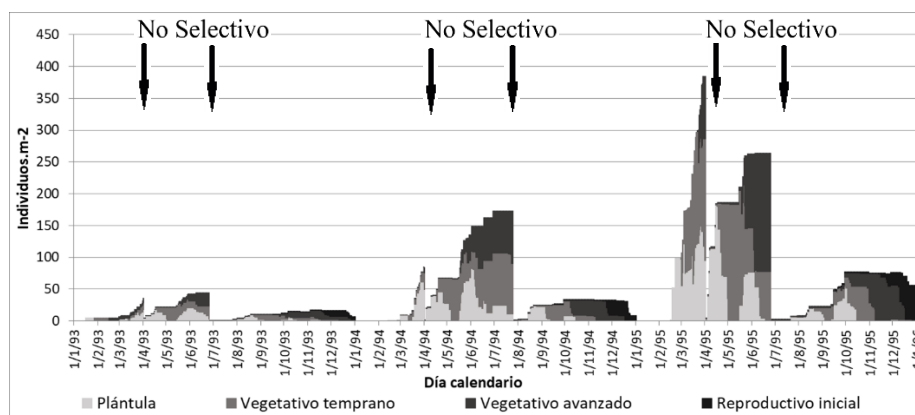
Variable	Caso I		
	1	2	3
Período anual	1	2	3
Cultivo	Trigo	Cebada	Trigo
Rendimiento esperado (%)	78,8	64,7	69,4
Densidad de AVEFA ponderada por competencia (plantas m <sup>-2</sup> )	77	180	224
Producción de semillas (semillas m <sup>-2</sup> )	6430	3624	2941
Balance del banco (semillas m <sup>-2</sup> )	6121	-824	-594

En la Fig. 1, se observa durante el primer año de la secuencia de rotación la amplitud del periodo de emergencia de AVEFA predicho por el modelo predictivo RNA [3] y el aumento poblacional hasta principios de noviembre. En el segundo año se observa el efecto del auto-raleo generado por la competencia intraespecífica, reduciéndose significativamente la supervivencia y el establecimiento de los individuos de AVEFA a partir del mes de abril. El balance del banco de semillas resulta positivo en el primer año para luego hacerse negativo por efecto de la alta competencia interespecífica. El rendimiento esperado de los cereales resultó fuertemente afectado en todos los años simulados (Tabla 6).

#### 4.2 Caso II

Se simulan acciones de control químico, específicamente dos aplicaciones de herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>) aplicado durante el período de barbecho correspondiente a cada año.

En la Fig. 2 se observa el impacto de los controles sobre la dinámica demográfica de AVEFA y en la Tabla 7 se detallan los resultados finales de cada año.



**Fig. 2.** Dinámica demográfica multianual de AVEFA mostrando la composición relativa de cada estado fenológico y el efecto de control químico con herbicida (glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>) al barbecho. Las flechas indican momento de control.



**Tabla 7.** Rendimiento esperado, densidad y producción de semillas de AVEFA y balance del banco de semillas, para una serie de tres años con aplicación de medidas de control, dos aplicaciones de un herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>) durante el barbecho.

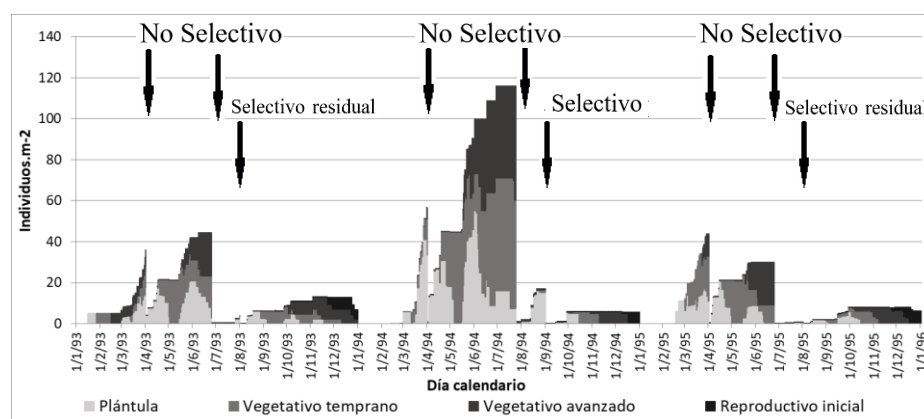
Variable	Caso II		
	1	2	3
Período anual	1	2	3
Cultivo	Trigo	Cebada	Trigo
Rendimiento esperado (%)	94,8	84,7	83,9
Densidad de AVEFA ponderada por competencia (plantas m <sup>-2</sup> )	10	25	46
Producción de semillas (semillas m <sup>-2</sup> )	1305	2894	2730
Balance del banco (semillas m <sup>-2</sup> )	1012	1884	662

En la Fig. 2 se observa el efecto de las medidas de control químico adoptadas en el presente caso de estudio. Se puede apreciar el efecto de una aplicación temprana de herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>) a principios de abril, y una segunda aplicación previa a la siembra del cultivo. A diferencia del caso anterior, las acciones de control químico generaron un balance positivo del banco de semillas de AVEFA, con una alta producción de semillas, aunque con pérdidas de rendimiento significativamente menores al caso I (Tabla 7).

### 4.3 Caso III

Se simulan combinaciones de acciones de control químico, tanto durante el barbecho como en post-emergencia del cultivo.

En la Fig. 3 se observa el impacto de los controles en la dinámica demográfica de AVEFA y en la Tabla 8 se detallan los resultados finales de cada año.



**Fig. 3.** Dinámica demográfica multianual de AVEFA mostrando la composición relativa de cada estado fenológico con el efecto del control químico con herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>), Selectivo con efecto residual (Flucarbazone sódico WDG 70%, 80 g ha<sup>-1</sup>) y Selectivo (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L ha<sup>-1</sup>). Las flechas indican los momentos de control.

**Tabla 8.** Rendimiento esperado, densidad y producción de semillas de AVEFA y balance del banco de semillas, para una serie de tres años y aplicación combinada de medidas de control químico al barbecho (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>) y en post-emergencia de trigo (Flucarbazone sódico WDG 70%, 80 g. ha<sup>-1</sup>) y cebada (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L ha<sup>-1</sup>).

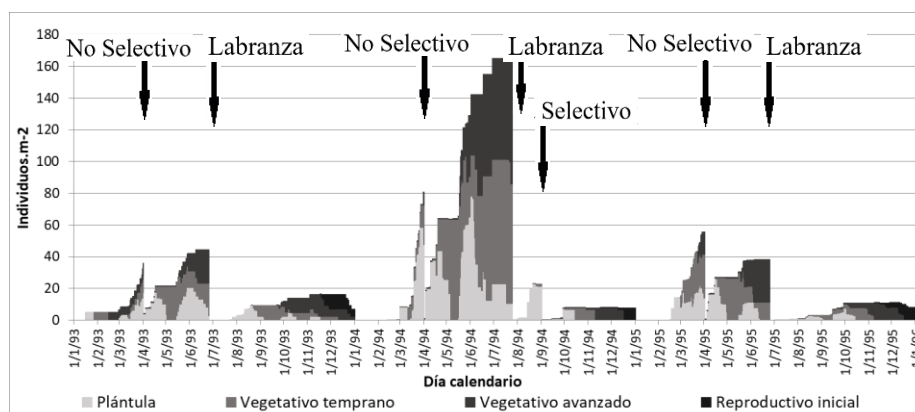
Variable	Caso III		
	1	2	3
Período anual	1	2	3
Cultivo	Trigo	Cebada	Trigo
Rendimiento esperado (%)	96,1	96,7	97,4
Densidad de AVEFA ponderada por competencia (plantas m <sup>-2</sup> )	7	4	5
Producción de semillas (semillas m <sup>-2</sup> )	813	59	275
Balance del banco (semillas m <sup>-2</sup> )	522	-613	38

La aplicación de herbicidas Selectivos con y sin efecto residual durante post-emergencia del cultivo (cebada o trigo) permite un control eficiente de AVEFA y de las nuevas cohortes minimizando la competencia interespecífica. Como respuesta a una baja competencia los resultados obtenidos de rendimiento esperado del cultivo y balance de semillas son satisfactorios (Tabla 8).

#### 4.4 Caso IV

Se simula una combinación de acciones de control químico, mecánico y de manejo cultural (MIM). Específicamente se simularon una aplicación de herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>) durante cada período de barbecho, una práctica de Labranza previa a cada siembra y una única aplicación de un herbicida Selectivo (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L ha<sup>-1</sup>) en el cultivo de cebada. Se simuló una medida de manejo cultural, mediante el aumento de la densidad de siembra en ambos cereales, correspondiente a un 75% frente a los casos anteriores.

En la Fig. 4 se observa el impacto de los controles en la dinámica demográfica de AVEFA y en la Tabla 9 se detallan los resultados finales de cada año.



**Fig. 4.** Dinámica demográfica multianual de AVEFA mostrando la composición relativa de cada estado fenológico y el efecto del control químico con herbicida No Selectivo (Glifosato LS 48%, 2 L ha<sup>-1</sup>), Selectivo (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L ha<sup>-1</sup>), combinado con control mecánico (Labranza) y manejo cultural (incremento de un 75% en la densidad de siembra de los cereales). Las flechas indican los momentos de control.

**Tabla 9.** Rendimiento esperado, densidad y producción de semillas de AVEFA y balance del banco de semillas, para una serie de tres años de rotación de cultivos utilizando manejo cultural, y distintos tipos de medidas de control en el período de barbecho, previo a la siembra y en post-emergencia del cultivo.

Variable	Caso IV		
Período anual	1	2	3
Cultivo	Trigo	Cebada	Trigo
Rendimiento esperado (%)	97,3	97,9	98,4
Densidad de AVEFA ponderada por competencia (plantas m <sup>-2</sup> )	10	5	6
Producción de semillas (semillas m <sup>-2</sup> )	1239	22	427
Balance del banco (semillas m <sup>-2</sup> )	946	-936	128

La combinación de medidas de manejo cultural, mecánico y químico permite un control eficiente de AVEFA, minimizando la competencia con los cereales. Como respuesta a una baja competencia los resultados obtenidos de rendimiento esperado del cultivo son superiores al caso III (Tabla 9).

#### 4.5 Comparación de variables de interés agronómico

En la Tabla 10 se exponen las variables de interés agronómico (% de rendimiento esperado, producción de semillas, balance interanual del banco de semillas y densidad de AVEFA ponderada por competencia).

**Tabla 10.** Variables promedio de cada caso de estudio, rendimiento esperado de los cultivos, densidad y producción de semillas de AVEFA y balance del banco de semillas.

Variable	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV
Rendimiento esperado (%)	71	88	97	98
Densidad de AVEFA ponderada por competencia (plantas m <sup>-2</sup> )	160	27	5	7
Producción de semillas (semillas m <sup>-2</sup> )	4332	2310	382	563
Balance del banco (semillas m <sup>-2</sup> )	4703	3558	-53	138

En la Tabla 10 se observa que en los casos sin control y con control de AVEFA durante el barbecho (casos I y II, respectivamente), los rendimientos esperados de los cultivos se vieron afectados por las altas densidades de AVEFA que compitieron fuertemente con ambos cereales de invierno. La cantidad de semillas producidas fue muy elevada y el balance del banco de semillas resultó muy favorable para el aumento de la infestación. Contrariamente, en los casos con alta presión de herbicidas (caso III) o mediante la combinación de medidas de manejo mecánico, químico y cultural con menor presión de herbicidas (caso IV), el rendimiento esperado se acercó al potencial como resultado de una baja cantidad de plantas de AVEFA compitiendo con el cultivo. En ambos casos, la cantidad de semillas producidas se redujo drásticamente evidenciando balances negativos o levemente positivos del banco de semillas.

## 5 Conclusión y trabajo futuro

El presente modelo de simulación permite estudiar el impacto de diferentes estrategias de manejo de la maleza *Avena fatua* en un sistema de rotación de cereales de invierno (Trigo y Cebada) a lo largo de tres años.

En el presente trabajo se simularon aplicaciones de herbicidas, No Selectivos (Glifosato LS 48%, 2 L.ha<sup>-1</sup>), Selectivos (Pinoxaden CE 6%, 0,8 L.ha<sup>-1</sup>) y Selectivos con efecto residual (Flucarbazone sódico WDG 70%, 80 g. ha<sup>-1</sup>). Estas acciones fueron combinadas con medidas de control mecánicas (Labranzas) y culturales (aumento de la densidad de siembra de los cultivos).

Se pretende ampliar las prestaciones del modelo propuesto, incorporando módulos de evaluación económica y de impacto medioambiental que permitan su utilización como un Sistema de Soporte a la Toma de Decisiones (SSD) de la actividad agrícola. El módulo económico permitirá evaluar el beneficio de la actividad calculando los ingresos por venta de los cereales (dependiente de los rindes correspondientes) y los costos asociados a la implementación de cada acción de control (química o mecánica). El módulo medioambiental posibilitará la estimación de indicadores que permitan cuantificar el impacto ambiental de cada estrategia de manejo.

Se prevé realizar futuras validaciones del SSD con datos experimentales generados en las estaciones experimentales del INTA (EEA Bordenave y CHEI-Barrow).

## 6 Referencias

1. Lodovichi, M.V., Blanco, A.M., Chantre, G.R., Bandoni, J.A., Sabbatini, M.R., López, R., Vigna, M., Gigón, R., (2013). Operational planning of herbicide-based weed management. *Agricultural Systems* 121, 117–129.
2. Molinari, F.A., Blanco, A.M., Chantre, G.R., (2017). Manejo Integrado de Malezas: un enfoque de simulación. Aplicación al sistema AVEFA-Cebada. 46 JAIIO – CAI – ISSN: 2525-0949 ,180-193
3. Chantre, G.R.; Vigna, M.R.; Renzi, J.P y Blanco, A.M. (2018) A flexible and practical approach for real-time weed emergence prediction based on Artificial Neural Networks. *Bio-systems Engineering* 170, 51-60.
4. Begon, M.; Townsend, C.R.; Harper, J.L. (2006) *Ecology: From Individuals to Ecosystems*, 4th Edition. Wiley-Blackwell, Oxford. 752 p.
5. González-Andújar, J.L., Fernández-Quintanilla, C. (1991). Modelling the population dynamics of *Avena sterilis* under dry-land cereal cropping systems. *J. Appl. Ecol.*28, 16–27.
6. Scursoni, J. L. (2001). Demografía de *Avena fatua* L. en sistemas de producción de Cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) bajo diferentes prácticas de manejo agronómico. Tesis de Magister UBA. 129 p.
7. Milroy, S. P., Goyne, P. J. (1995). Leaf Area Development in Barley-Model Construction and Response to Soil Moisture Status. *Aust. J. Agric. Res.* 46, 845-860
8. Pannell, D., Stewart, V., Bennett, A., Monjardino, M., Schmidt, C. and Powles, S. (2004). RIM: a bioeconomic model for integrated weed management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79, 305-325.
9. INTA Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. <http://inta.gob.ar/documentos/informacion-agrometeorologica> Accedido (29/04/2018).
10. Alzueta, I., Arisnabarreta, S., Abeledo, L. G., Miralles, D. J. (2014). A simple model to predict phenology in malting barley based on cultivar thermo-photoperiodic response. *Computers and Electronics in Agriculture* 107, 8–19.
11. Shirliffe, S. J., M. H. Entz, and R. C. Van Acker. (2000). *Avena fatua* development and seed shatter as related to thermal time. *Weed Science* 48(5), 555-560. 2000.