

Efecto de la profundidad de siembra, cobertura de rastrojo y ambiente termico sobre la germinacion y emergencia de *Amaranthus quitensis* K.

Faccini D. y J. Vitta

RESUMEN

La germinación y la emergencia son los estadios más importantes en el proceso de invasión de malezas anuales. El objetivo fue relacionar la germinación y emergencia de *Amaranthus quitensis* con la profundidad de siembra, cobertura de rastrojo y diferencias del ambiente térmico de las semillas en el suelo. Durante 2000 y 2001 se sembraron semillas en bolsas a dos profundidades (0,5 y 4 cm), con dos niveles de rastrojo (0 y 6000 kg/ha) determinándose periódicamente la geminación *in situ*. La emergencia se evaluó en macetas con los mismos tratamientos de profundidad y cobertura. Se registró la amplitud térmica diaria del suelo. La germinación y la emergencia se relacionaron linealmente con la amplitud térmica, siendo máximas a 0,5 cm y sin cobertura de rastrojo. A 4 cm y con rastrojo el retraso en la emergencia y en la tasa de incremento fueron mayores que en los otros tratamientos. La cobertura en superficie y la profundidad de siembra de las semillas afectaron los niveles de amplitud térmica. Esos niveles a su vez condicionaron la pérdida total de la dormición de manera que la germinación y la emergencia fueron menores cuando las semillas estuvieron enterradas y/o con altos niveles de cobertura.

Palabras clave: amplitud térmica, germinación *in situ*, emergencia, *Amaranthus quitensis*.

Faccini D. y J. Vitta, 2007. Effect of seed burial, different residue levels and thermal enviroment on germination and emergence of *Amaranthus quitensis* K. Agriscientia XXIV (1): 19-27

SUMMARY

Germination and emergence are the most important stages in the invasion process of annual weeds. The objective was to relate germination

Fecha de recepción: 27/10/06; fecha de aceptación: 29/06/07

and emergence of *Amaranthus quitensis* with seed sowing depth, crop residue and different thermal environment of seeds in the soil. During 2000 y 2001 seeds were buried in bags at two depths (0.5 and 4 cm), with two residue levels (0 and 6.000 kg/ha). *In situ* germination was periodically recorded. Emergence was evaluated in pots with the same seed sowing depths and residue levels treatments. In all cases, the soil daily thermal amplitude was recorded. Germination and emergence were linearly related with the thermal amplitude and were highest at 0.5 cm and without residue. At 4 cm and with residue the delay in the emergence and the rate of increment of the emergence were higher relative to all other treatments. Daily thermal amplitude was affected both by crop residue levels and seed sowing depth. These changes in seed environment determined the complete loss of dormancy so that germination and emergence were lower when seeds were buried or with high residue levels.

Key words: thermal amplitude, *in situ* germination, *Amaranthus quitensis*.

D. Faccini and J. Vitta. Facultad de Ciencias Agrarias y Consejo de Investigaciones, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. J. Vitta, fallecido en mayo de 2006. Correspondencia a: dfaccini@arnet.com.ar

INTRODUCCIÓN

Las semillas de una maleza están sujetas a fluctuaciones diarias de temperatura, por lo que el número de plántulas que emerge dependerá de la fracción de semillas que pueda germinar a la temperatura imperante en el suelo (Batlla, 2004). La proporción de semillas que responde a dicha temperatura depende del estado de dormición en que ellas se encuentren. La dormición que presenta una maleza dificulta la predicción de la emergencia en condiciones de campo (Benech-Arnold & Sánchez, 1995). Benech-Arnold *et al.* (2000) definen dos tipos de factores ambientales que afectan la dormición: 1) aquellos que gobiernan los cambios en el grado de dormición de una población de semillas (temperatura y su interacción con las condiciones hídricas) y 2) aquellos que remueven los últimos impedimentos para la germinación de semillas una vez que el grado de dormición es suficientemente bajo (luz y fluctuaciones de temperatura).

Muchas malezas experimentan cambios cíclicos en sus requerimientos para germinar. Dichos cambios hacen que semillas sensibles a un determinado estímulo ambiental para germinar al comienzo de la estación de crecimiento, se vuelvan con posterioridad insensibles. Esas variaciones —que involucran la liberación y la reinducción de la dormición (Karszen, 1995)— están reguladas por distintos factores ambientales tales como temperatura, luz,

niveles de oxígeno, CO₂ y etileno en el suelo (Baskin & Baskin, 1987; Bewley & Black, 1994; Lowe *et al.*, 1999;). Estos factores varían tanto durante el día como en el año.

Faccini & Vitta (2005) determinaron que los cambios en el grado de dormición de *A. quitensis* estuvieron asociados con variaciones estacionales de la temperatura. En el caso de semillas de *Polygonum aviculare* L., Batlla *et al.* (2003) encontraron que la velocidad de pérdida de la dormición estuvo inversamente relacionada con la temperatura a la cual fueron expuestas las semillas durante el invierno: temperaturas bajas producen una ruptura más rápida de la dormición que temperaturas relativamente altas. La inclusión de dichos factores en un modelo matemático sirvió de base para la predicción de la dinámica de la emergencia de dicha especie.

Tanto la germinación como la emergencia de malezas están definidas por la interacción entre el estado físico y fisiológico de las semillas y distintas características del sistema de producción. Entre estas últimas, el sistema de laboreo es una variable de importancia (Buhler *et al.*, 1996). El tipo de labores juega un papel fundamental en la definición de ambientes aptos para la germinación de malezas, al afectar tanto la temperatura y humedad del suelo como la cantidad de rastrojo en superficie y la distribución vertical de las semillas (Clements *et al.*, 1996). En particular, la presencia de rastrojo en

+

|

superficie actúa como aislante físico-biológico regulando la entrada y salida de calor del suelo (Bonel *et al.*, 1999), disminuyendo su temperatura (Masiero & Marelli, 1988; Teasdale & Moler, 1993) y las fluctuaciones diarias de (Oryokot *et al.*, 1997; Roman *et al.*, 1999). Es factible que estos factores promuevan modificaciones de las comunidades de malezas debido a la diferencia de requerimientos de las especies, con relación tanto a la temperatura base como a la alternancia térmica necesaria para iniciar la germinación (Wiese & Binning, 1987). Por otra parte, la presencia de rastrojos en superficie prolonga la emergencia de las malezas anuales respecto a situaciones de suelo desnudo (Buhler *et al.*, 1996). La amplitud térmica varía con la profundidad del horizonte del suelo, por lo que las semillas enterradas a diferentes profundidades pueden influir en el nivel de germinación de las semillas de *A. quitensis*. Experimentos preliminares indican que el 86 % de las semillas de *A. quitensis* emergen desde los dos primeros centímetros de suelo (Faccini & Barat, 1989).

La mayoría de las malezas emerge durante ciertos periodos del año y exhiben patrones de emergencia definidos (Egley & Williams, 1991). En el caso de *A. quitensis* el flujo de emergencia se inicia cuando la temperatura media máxima del suelo alcanza 25,4 °C, la media mínima 13,8 °C y la humedad del suelo supera el 40% de la capacidad de campo (Faccini & Nisensohn, 1994). En el sur de la provincia de Santa Fe, la emergencia se concentra en el período noviembre/diciembre y eventualmente puede haber un flujo de emergencia tardío en febrero (Faccini & Nisensohn, 1994).

El conocimiento del efecto de los factores ambientales sobre la dinámica de la emergencia de *A. quitensis* permitirá comprender algunas de las claves de su éxito en los agroecosistemas. Ello a su vez facilitará el establecimiento de las bases ecológicas para el manejo de la maleza y contribuirá a optimizar el uso de la tecnología de control.

El objetivo de este trabajo fue valorar el efecto de la profundidad de siembra y de la cobertura de rastrojo sobre la germinación y emergencia de *A. quitensis* y su vinculación con el ambiente térmico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en el Campo Experimental "J. F. Villarino" de la Facultad de Ciencias Agrarias, en la localidad de Zavalla (Lat. 33° 01' S; Long. 60° 53' O), Santa Fe, Argentina.

Las experiencias se realizaron en condiciones semicontroladas e incluyeron semillas producidas

en distintas etapas del ciclo de crecimiento de la maleza.

Las semillas de *A. quitensis* se cosecharon de una población de plantas presentes en un cultivo de soja durante dos años, en tres épocas del ciclo de la maleza:

1^a época: 24/03/00 y 27/03/01.

2^a época: 24/04/00 y 19/04/01.

3^a época: 08/05/00 y 08/05/01.

Las épocas escogidas se corresponden con el período de dispersión de las semillas de esta maleza (Faccini *et al.*, 1987). En cada época se sacudieron las inflorescencias provocando la dehiscencia de semillas con el mismo grado aparente de madurez. El número de semillas cosechadas fue similar en cada una de las tres épocas de cosecha. Dichas semillas se guardaron en bolsas de papel a temperatura ambiente (15-20 °C) hasta el momento de su utilización.

Evaluación del efecto de la profundidad de siembra y distintos niveles de cobertura de rastrojo sobre la germinación de *A. quitensis*

La metodología aplicada fue utilizada previamente por los autores (Faccini & Vitta, 2005). Lotes de cien semillas de cada una de las tres épocas de recolección antes descritas se colocaron en bolsas de tela de gasa de 5 por 7 cm. Las bolsas se enterraron el 3/7/2000 y el 27/6/2001 a profundidades de 0,5 y 4 cm, en suelo desnudo y con 6000 Kg/ha de cobertura de rastrojo de trigo, de acuerdo a un diseño factorial. El experimento fue completamente aleatorizado, con tres repeticiones. Las bolsas se desenterraron periódicamente durante 2000 y 2001. En la extracción realizada en diciembre de cada año se cuantificó el número de semillas germinadas *in situ* en todos los tratamientos. Los resultados que se presentan se reelaboraron a partir de datos originales publicados por los autores (Faccini & Vitta, 2005).

Evaluación del efecto de la profundidad de siembra y distintos niveles de cobertura de rastrojo sobre la emergencia de *A. quitensis*

En terrinas de plástico de 20 cm de diámetro, rellenas con 6 kg de tierra esterilizada, se sembraron 500 semillas, correspondientes a las tres épocas de recolección antes mencionadas. Las terrinas se colocaron en el campo. Al momento de la siembra, las semillas poseían un 99% de viabilidad. Los tratamientos incluyeron dos profundidades de siembra (0,5 cm y 4 cm) y dos niveles de cobertura de rastrojo de trigo, equivalentes a 0 y

6000 kg/ha, de acuerdo a un diseño factorial. El experimento se repitió durante dos años y las fechas de siembra fueron el 04/07/2000 y el 27/06/2001. El diseño del experimento fue completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones. Los ensayos se mantuvieron en condiciones no limitantes de humedad. Se realizaron recuentos periódicos de las plántulas emergidas. Dichas plántulas fueron eliminadas inmediatamente después de cada recuento. Una planta se consideraba emergida cuando aparecía la primera hoja verdadera.

En ambos años, a través de sensores de temperatura (Licor 1.400) se registraron las temperaturas máximas y mínimas diarias en las dos profundidades (0,5 cm y 4 cm) y con los dos niveles de cobertura (0 y 6000 kg/ha de rastrojo). A partir de dicha información se calculó la temperatura media mensual y la amplitud térmica en cada uno de los tratamientos.

Se realizó el análisis de la variancia tanto del número de semillas germinadas en diciembre como del número de plántulas emergidas en los distintos

tratamientos. En ambos casos, para homogeneizar la variancia los datos fueron previamente transformados a $x + 1$. Las diferencias entre medias fueron analizadas mediante el test LSD ($p=0,05$). Se realizó un análisis de regresión para evaluar la relación entre la germinación y la emergencia de la maleza con la amplitud térmica registrada en cada uno de los tratamientos. Las comparaciones de los parámetros de las regresiones obtenidas fueron realizadas por una prueba de t ($p=0,05$).

La relación entre el porcentaje de emergencia acumulada para las tres épocas de recolección y el tiempo térmico en los tratamientos 0,5 y 4 cm de profundidad de siembra en suelo desnudo y con un nivel de 6000 kg/ha de rastrojo ajustó a la siguiente ecuación doble exponencial:

$$y = \exp(-(A * \exp(-B * TT))) * 100 \quad [1]$$

Dónde y es el porcentaje de emergencia acumulada, TT es el tiempo térmico acumulado. A y B

Tabla 1: Valores promedios de temperatura máxima, mínima y amplitud térmica durante el período julio-diciembre de 2000 y 2001, en dos profundidades de siembra (0,5 y 4 cm) y con dos niveles de rastrojo en superficie (0 y 6000 kg/ha).

Profundidad (cm)	Nivel de rastrojo (kg/ha)	Meses	2000			2001		
			Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Amplitud térmica (°C)	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Amplitud térmica (°C)
0,5	0	Julio	6,2	19,7	13,5	4,6	19,6	15,0
		Agosto	9,9	24,5	14,6	8,6	21,5	12,9
		Set.	11,0	23,8	12,8	11,2	27,8	16,6
		Oct.	17,2	27,7	10,5	15,0	29,5	14,5
		Nov.	21,3	36,0	14,7	17,3	32,2	14,9
		Dic.	22,5	39,9	17,4	21,0	34,9	13,9
0,5	6000	Julio	6,3	17,7	11,4	5,9	15,2	9,3
		Agosto	10,4	20,0	9,6	8,5	17,7	9,2
		Set.	11,5	20,7	9,2	11,5	25,7	14,2
		Oct.	16,9	25,3	8,4	15,8	26,9	11,1
		Nov.	20,0	33,4	13,4	17,5	30,9	13,4
		Dic.	22,0	36,1	14,1	21,3	33,9	12,6
4	0	Julio	7,3	15,8	8,5	6,0	14,2	8,2
		Agosto	10,9	18,9	8,0	9,1	16,8	7,7
		Set.	11,6	19,6	8,0	11,0	24,4	13,4
		Oct.	16,5	24,1	7,6	14,5	26,5	12,0
		Nov.	19,2	31,4	12,2	17,0	31,1	14,1
		Dic.	21,3	34,5	13,2	20,4	33,3	12,9
4	6000	Julio	8,2	14,3	6,1	6,8	12,8	6,0
		Agosto	11,4	18,0	6,6	9,6	15,5	5,9
		Set.	12,2	17,9	5,7	11,5	21,2	9,7
		Oct.	17,0	22,9	5,9	15,8	24,2	8,4
		Nov.	19,6	30,5	10,9	17,5	29,3	11,8
		Dic.	21,1	33,1	12,0	21,2	32,9	11,7

son parámetros. El parámetro A representa el retraso en el inicio de la emergencia y B es la tasa de incremento (Forcella *et al.*, 2000). En ambos años estudiados, se realizó un análisis de la variancia de los parámetros obtenidos en los diferentes tratamientos.

El TT se determinó de acuerdo a la siguiente fórmula (Ritchie & Nesmith, 1991):

$$TT = \sum_{1-1}^n (T_a - T_b)$$

Dónde n es el número de días desde la siembra.

RESULTADOS

La amplitud térmica fue máxima en la superficie y con suelo desnudo, disminuyendo progresivamente con la presencia de rastrojo y con la profundidad (Tabla 1). Los valores promedio de temperaturas mínimas fueron menos variables entre tratamientos que los valores correspondientes a las temperaturas máximas. A su vez, se observaron diferencias entre años: los valores de temperatura mínima y máxima fueron en general inferiores en 2001 en comparación a los registrados en 2000. En particular, la temperatura media del período julio-agosto de 2001 (estimada a partir del promedio de la temperatura mínima y máxima de cada mes) fue entre 1 y 4,2 °C menor que la del mismo período de 2000.

La germinación de semillas *in situ* varió significativamente en función del año, de la profundidad y del nivel de rastrojo, pero no entre épocas de recolección (Tabla 2). La germinación fue mayor en superficie y en ausencia de rastrojo. A su vez, la germinación fue mayor en 2001 que en 2000. No se detectaron interacciones significativas entre los factores. La germinación de semillas *in situ* se relacionó

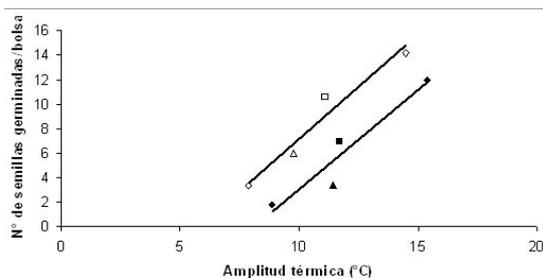


Figura 1: Relación entre el número de semillas germinadas *in situ* en cada bolsa y la amplitud térmica correspondiente a dos profundidades (0,5 y 4 cm) y dos niveles de rastrojo (0 y 6000 kg/ha). Año 2000 (símbolos llenos) $y = 1,694x - 9,82$; $r^2 = 0,94$. Año 2001 (símbolos vacíos) $y = 1,593x - 12,90$; $r^2 = 0,91$. \diamond \blacklozenge 0,5 cm - 0 kg/ha; \square \blacksquare 0,5 cm - 6000 kg/ha; \triangle \blacktriangle 4 cm - 0 kg/ha; \circ \bullet 4 cm - 6000 kg/ha.

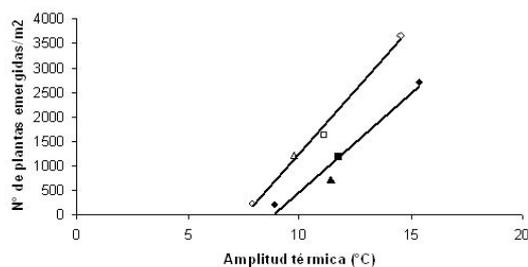


Figura 2: Relación entre el número de plántulas emergidas y la amplitud térmica correspondiente a dos profundidades (0,5 y 4 cm) y dos niveles de rastrojo (0 y 6000 kg/ha).

Año 2000 (símbolos negros): $y = 400,8x - 3542,6$; $r^2 = 0,96$
Año 2001 (símbolos blancos): $y = 516,7x - 3908,2$; $r^2 = 0,99$
 \diamond \blacklozenge 0,5 cm - 0 kg/ha; \square \blacksquare 0,5 cm - 6000 kg/ha; \triangle \blacktriangle 4 cm - 0 kg/ha; \circ \bullet 4 cm - 6000 kg/ha.

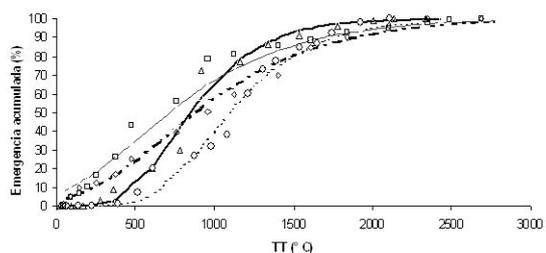


Figura 3: Relación entre la emergencia acumulada y el tiempo térmico (TT) a dos profundidades (0,5 y 4 cm) y con dos niveles de rastrojo (0 y 6000 kg/ha).

$-\diamond-\diamond-$ 0,5 cm (0 y 6000 kg/ha) y 4 cm (0 kg/ha). Año 2000 $y = \exp(-3,68 \cdot \exp(-0,00190 \cdot TT)) \cdot 100$; $r_2 = 0,88$.
 $-\square-\square-$ 0,5 cm (0 y 6000 kg/ha) y 4 cm (0 kg/ha). Año 2001 $y = \exp(-2,71 \cdot \exp(-0,00195 \cdot TT)) \cdot 100$; $r_2 = 0,86$.
 $-o-o-$ 4 cm (6000 kg/ha). Año 2000. $y = \exp(-16,6 \cdot \exp(-0,00289 \cdot TT)) \cdot 100$; $r_2 = 0,90$.
 $-\triangle-\triangle-$ 4 cm (6000 kg/ha). Año 2001. $y = \exp(-12,5 \cdot \exp(-0,00342 \cdot TT)) \cdot 100$; $r_2 = 0,94$.

linealmente con la amplitud térmica registrada en cada uno de los tratamientos (Figura 1). La pendiente no difirió significativamente entre años. Por extrapolación de las rectas de regresión hasta su intercepción con la abscisa es posible definir la amplitud térmica mínima por debajo de la cual ninguna semilla de *A. quitensis* germina. Dicha amplitud fue 8,1 °C y 5,8 °C para 2000 y 2001, respectivamente.

En ambos años, no se registraron diferencias significativas en el número total de plántulas emergidas correspondientes a las distintas épocas de recolección y sí hubo diferencias significativas ($P=0,05$) entre los dos niveles de rastrojo, entre ambas profundidades y entre años (Tabla 3). No hubo interacción significativa entre los factores. El total de plántulas emergidas fue siempre mayor a 0,5 que a 4 cm de profundidad y a su vez fue mayor con 0 que con 6000 kg/ha de rastrojo. En 2001 la emergencia fue mayor que en 2000.

Tabla 2: Número de germinadas *in-situ* en diciembre de 2000 y 2001. Las semillas corresponden a tres épocas de recolección, sembradas a dos profundidades (0,5 y 4 cm) y con dos niveles de rastrojo (0 y 6000 kg/ha).

Año	Época de recolección	Profundidad de siembra (cm)	Nivel de rastrojo (kg/ha)	N° de semillas germinadas/bolsa	
2000	1 ^a	0,5	0	12,0 (3,5 ± 2,4)	
			6000	8,0 (2,8 ± 2,9)	
		4	0	5,0 (2,2 ± 0,8)	
	2001	2 ^a	0,5	0	11,3 (3,4 ± 16,0)
				6000	4,7 (2,2 ± 4,5)
		3 ^a	0,5	0	12,3 (3,5 ± 11,1)
				6000	8,0 (2,8 ± 7,5)
		1 ^a	0,5	0	15,7 (3,9 ± 5,2)
				6000	10,3 (3,2 ± 0,8)
4	0		5,7 (2,4 ± 1,7)		
2001	2 ^a	0,5	0	13,7 (3,7 ± 1,7)	
			6000	11,7 (3,4 ± (1,7)	
	3 ^a	0,5	0	13,3 (3,5 ± 2,5)	
			6000	12,0 (3,5 ± 6,5)	
	1 ^a	4	0	5,3 (2,3 ± 3,1)	
			6000	3,3 (1,8 ± 2,5)	

Los valores entre paréntesis son los datos transformados ($\sqrt{x+1}$) ± error estándar

El número de plántulas emergidas se relacionó positivamente con las amplitudes térmicas registradas en cada uno de los tratamientos (Figura 2). La pendiente de la regresión obtenida en 2001 fue significativamente mayor que en 2000. Al igual que en el caso de la Figura 1, por extrapolación de las rectas de regresión se obtuvieron los valores de alternancia mínimos para la emergencia: 8,8 °C (2000) y 7,6 °C (2001).

La dinámica de la emergencia en función del tiempo térmico varió de acuerdo al año y al tratamiento (Figura 3). En los dos años, ambos parámetros del modelo doble exponencial no se modificaron de acuerdo a la época de recolección de la semilla. Los parámetros tampoco difirieron en los tratamientos a 0,5 cm _con y sin rastrojo_ y a 4 cm, sin rastrojo. En cambio, en ambos años, en el tratamiento a 4 cm y con rastrojo, tanto el parámetro *A* (que representa el retraso en el inicio de la emergencia) como el parámetro *B* (que indica la tasa de incremento de la emergencia) fueron significativamente mayores que en el resto de los tratamientos. En 2001, en todos los tratamientos los dos parámetros

fueron significativamente mayores que en 2000.

DISCUSIÓN

Una importante fracción (40 a 50%) de las semillas de *A. quitensis* está dormida inmediatamente después de la dispersión. La mayoría de esas semillas pierde la dormición durante el invierno, de manera que las temperaturas favorables de la primavera las inducen a germinar (Faccini & Vitta, 2005). En el presente trabajo se pone de manifiesto que la mayor germinación y emergencia se produce en aquellas condiciones donde se registra una mayor amplitud térmica, es decir, en los estratos superficiales del suelo y en ausencia de cobertura vegetal. Puede deducirse que la temperatura juega un doble papel en la liberación de la dormición de *A. quitensis*. Por un lado, las bajas temperaturas invernales disminuyen el grado de dormición que poseen las semillas recién dispersadas; por otro lado, la alternancia térmica registrada por las semillas durante la primavera remueven los últimos impedimentos para la germinación (Benech-Arnold *et al.*,

Tabla 3: Número total de plántulas emergidas de *A. quitensis* durante 2000 y 2001. Las semillas provenían de tres épocas de recolección sembradas a dos profundidades (0,5 y 4 cm) y con dos niveles de rastrojo (0 y 6000 kg/ha).

Año	Época de recolección	Profundidad de siembra (cm)	Nivel de rastrojo (kg/ha)	N° plántulas/m ²
2000	1 a	0,5	0	2264 (47,5 ± 13,3)
			6000	686 (24,8 ± 9,4)
	4	0	0	554 (22,8 ± 6,9)
			6000	192 (12,0 ± 8,4)
	2 a	0,5	0	2722 (52,2 ± 10,6)
			6000	1204 (33,0 ± 11,9)
	4	0	0	716 (27,2 ± 14,4)
			6000	313 (16,2 ± 7,4)
	3 a	0,5	0	2553 (50,5 ± 14,0)
6000			939 (28,8 ± 12,1)	
4			891 (28,6 ± 9,6)	
2001	1 a	0,5	0	1842 (42,4 ± 6,9)
			6000	1204 (32,2 ± 15,4)
	4	0	0	1156 (29,3 ± 19,9)
			6000	252 (17,7 ± 2,7)
	2 a	0,5	0	3444 (58,3 ± 6,9)
			6000	1638 (40,1 ± 6,3)
	4	0	0	1228 (34,8 ± 3,7)
			6000	216 (14,3 ± 3,7)
	3 a	0,5	0	2673 (51,6 ± 4,3)
6000			1397 (35,1 ± 13,8)	
4			1662 (40,2 ± 8,1)	
			6000	385 (19,3 ± 3,9)

Los valores entre paréntesis son los datos transformados ($\sqrt{x+1}$) ± error estándar

2000).

La mayor germinación *in situ* y emergencia obtenidas en 2001 respecto de 2000 puede asociarse a que las temperaturas registradas durante los meses de julio y agosto fueron inferiores durante el segundo año en todos los tratamientos. Batlla *et al.* (2003) demostraron, a través de un modelo, que las semillas de *P. aviculare* pierden más rápidamente la dormición cuando la temperatura de estratificación es 1,7 °C que cuando es 12,8 °C. En otras malezas anuales de ciclo primavero-estival la disminución del grado de dormición también se encuentra correlacionada negativamente con la temperatura invernal (Batlla *et al.*, 2003).

El efecto de temperaturas alternadas sobre la germinación puede ser un mecanismo que suministre información posicional a la semilla, de manera que la germinación no se desencadene en profundidades a las cuales no sería posible la emergencia (Vleeshouwers, 1997). En este sentido, la alternancia mínima calculada para la germinación de *A. quitensis* fue levemente inferior a la alternancia mínima para su emergencia (entre 0,7 y 1,8 °C inferior, de

acuerdo al año). Este hecho indica que las semillas de la maleza germinan recién a partir de alternancias térmicas que permiten la emergencia de las plántulas. La menor amplitud térmica a mayor profundidad del suelo favorece el mantenimiento de la dormición y puede ser una de las causas de la mayor longevidad de las semillas de *A. quitensis* una vez enterradas. Por el contrario, la no remoción del suelo que lleva implícito una mayor amplitud térmica otorgándole mayores posibilidades favorables para la germinación y emergencia de semillas ubicadas en la superficie, permite reducir sustancialmente el banco de semillas superficial de *A. quitensis*. Baskin & Baskin (1998) sostienen que, en general, las semillas pequeñas como las de *A. quitensis* tienen alta probabilidad de formar bancos persistentes. En concordancia con esta aseveración, Faccini & Nisensohn (1994) determinaron que el porcentaje de semillas de esta maleza que dan lugar a plántulas en una estación de crecimiento es relativamente bajo, del orden del 0,4%.

La incorporación de rastrojo en superficie y el entierro de las semillas de la maleza afectaron no

sólo el número de plántulas emergidas sino también la dinámica de la emergencia, expresada en tiempo térmico. Cuando las semillas fueron enterradas a 4 cm y en presencia de alto contenido de rastrojo, se observó un retraso en la emergencia de las plántulas respecto al resto de los tratamientos. En ese caso las semillas estuvieron sometidas a la menor alternancia térmica. Es factible que en estas condiciones las semillas puedan requerir una mayor cantidad de ciclos de alternancia de temperatura para terminar de remover la dormición. En el caso de semillas de *Sorghum halepense* (L.) Pers., existen cambios en la sensibilidad a las fluctuaciones de temperatura como resultado de cambios en el grado de dormición. Por ejemplo, poblaciones que posmaduraron enterradas _con un menor grado de dormición_ requirieron menores amplitudes y un menor número de ciclos de alternancia para germinar en comparación a poblaciones recién dispersadas, con un mayor grado de dormición (Benech-Arnold *et al.*, 1990).

Por otra parte, en condiciones de entierro y presencia de rastrojo, el mayor retraso en la emergencia se vio compensado por una mayor velocidad de incremento de la emergencia (estimada por el parámetro B de la ecuación [1]). Como consecuencia, en esa condición la emergencia se concentró en un período de tiempo térmico más corto.

En 2000 se registró un mayor retraso en la emergencia en comparación al año siguiente, en todos los tratamientos. Este hecho indica un mayor grado de dormición de las semillas en el primero de los años, puesto ya de manifiesto en el menor número de plántulas emergidas. El mayor grado de dormición parece incrementar el número de ciclos de alternancia necesarios para terminar de remover la dormición, postergando así el inicio de la germinación. Batlla (2004) considera que los cambios en la sensibilidad a las fluctuaciones de temperatura deberían ser diferentes entre años o lugares, dependiendo de la temperatura experimentada por las semillas durante el invierno.

Los resultados obtenidos muestran que la amplitud térmica controló la remoción de los últimos impedimentos para la germinación de semillas de *A. quitensis* durante la primavera, regulando no sólo el número de plántulas emergidas sino también su dinámica de aparición. Sin embargo, en situaciones reales, tanto la dormición como la germinación y la emergencia se encuentran influenciadas por otros factores ambientales, entre ellos la luz, el contenido hídrico del suelo, la concentración de nitratos (Batlla, 2004). En particular, las semillas de *A. quitensis* recién dispersadas poseen requerimiento de luz para germinar. Si bien dicho requerimiento tiende a

desaparecer a comienzos de la primavera cuando las semillas son incubadas a temperaturas óptimas (Faccini & Vitta, 2005), es posible que en condiciones de campo pueda aún afectar la germinación y ayude a explicar algunos de los resultados obtenidos en el presente trabajo. El conocimiento conjunto del efecto de los distintos factores ambientales sobre la dormición y la germinación de *A. quitensis* en el suelo conducirá a comprender en mayor medida la dinámica de sus semillas y permitirá predecir en forma más robusta los patrones de emergencia de la maleza.

Tanto la presencia de cobertura en superficie como la profundidad de siembra de las semillas afectaron los niveles de amplitud térmica. Esos niveles a su vez condicionaron la pérdida total de la dormición de manera que la germinación y la emergencia fueron menores en los casos que las semillas estuvieron enterradas y/o con altos niveles de cobertura. La amplitud térmica fue similar tanto para la germinación como para la emergencia. Es decir, que las semillas de *A. quitensis* no germinan a profundidades a las cuales la emergencia de plántulas no es factible. Por otra parte, el requerimiento de alternancia de temperatura puede ser un mecanismo adaptativo que le permite a la semilla detectar la presencia de cobertura vegetal viva. En este caso, la germinación no tiene lugar en condiciones de alto estrés competitivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Baskin, C.C. and J.M. Baskin, 1998. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. San Diego. USA.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin, 1987. Temperature requirements for after-ripening in buried seeds of four summer annual weeds. *Weed Research*, 27: 385-389.
- Batlla, D., 2004. Regulación de los cambios cíclicos en el nivel de dormición de semillas de *Polygonum aviculare* por efecto de la disponibilidad hídrica y la temperatura del suelo. Un modelo de simulación. Tesis Doctoral. Área Ciencias Agropecuarias. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Pag. 238.
- Batlla, D.; V. Verges and R.L. Benech-Arnold, 2003. A quantitative analysis of seed responses to cycle-doses of fluctuating temperatures in relation to dormancy: Development of a thermal time model for *Polygonum aviculare* L. seeds. *Seed Science Research* 13, 197-207.
- Benech-Arnold, R.L.; C.M. Ghera; R.A. Sanchez and P. Insausti, 1990. Temperature effects on dormancy release and germination rate in (*Sorghum halepense* (L.) Pers. Seeds: a quantitative analysis. *Weed Research* 30: 81-89.
- Benech-Arnold, R.L.; R.A. Sanchez; F. Forcella; B. Kruk,

- B.C. and C.M. Ghersa, 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research* 67: 105-122.
- Benech-Arnold, R.L. and R.A. Sanchez, 1995. Modelling weed seed germination. En: *Seed development and germination*. (Eds J. Kigel, G. Gailili), Pag. 545-566. (Marcel Dekker) Inc: New York.
- Bewley, J.D. and M. Black, 1994. *Seeds. Physiology of Development and Germination*. Second Edition. Plenum Press, New York.
- Bonel, B.; M. Costanzo and M.A. Lara, 1999. Evaluación de las temperaturas de suelo bajo dos condiciones superficiales. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 6: 21-26.
- Buhler, D.D.; T.C. Mester and K.A. Kohler, 1996. The effect of maize residues and tillage on emergence of *Setaria faberi*, *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album*. *Weed Research* 36: 153-165.
- Clements, D.R.; D.L. Benoit; S.D. Murphy, and C.J. Swanton, 1996. Tillage effects on weed seed return and seedbank composition. *Weed Science* 44: 314-322.
- Egley, G.H.; and R.D. Williams, 1991. Emergence periodicity of six summer annual weed species. *Weed Science* 39: 595-600.
- Faccini, D.; Barat, E. y Nisensohn, L. 1987. Estudio de la evolución de una población de yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*) en un sistema agrícola. *Revista de la Asociación Argentina para el control de malezas (ASAM)*, 15: 5-23.
- Faccini, D. and E. Barat, 1989. Estudio del comportamiento germinativo del yuyo colorado (*Amaranthus quitensis* H.B.K.). *Revista de la Asociación Argentina para el control de malezas (ASAM)* 17: 53-62.
- Faccini, D. and J.I. Vitta, 2005. Germination characteristic of *Amaranthus quitensis* as affected by seed production date and duration of burial. *Weed Research* 45, 371378.
- Faccini, D. and L. Nisensohn, 1994. Dinámica de la población de yuyo colorado (*Amaranthus quitensis* H.B.K.). Influencia de los tratamientos químicos y mecánicos en un cultivo de soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 29: 1041-1050.
- Forcella, F.R., R.L. Benech-Arnold, R. Sanchez and C.M. Ghersa, 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67: 123-139.
- Karssen, C.M. 1995. Hormonal regulation of seed development, dormancy, and germination studied by genetic control. En: Kigel, J, Galili, G. *Seed development and germination*. Marcel Dakker (Ed). New York.
- Lowe, D.B., T. Whitwell, L.B. McCarry and W.C. Bridges, 1999. *Kyllinga brevifolia*, *K. squamulata*, and *K. pumila* seed germination as influenced by temperature, light and nitrate. *Weed Science*, 47: 657-661.
- Masiero, B. y H. Marelli, 1988. Temperatura del suelo en "Siembra directa" y "Siembra convencional" durante los días posteriores a la siembra de soja. *Ram* 4: 7-30.
- Oryokot, J.O.E., L.A. Hunt; S.D. Murphy and C.J. Swanton, 1997. Simulation of pigweed (*Amaranthus* spp.) seedling emergence in different tillage systems. *Weed Science* 45: 684-690.
- Ritchie, J.T. and D.S. Nesmith, 1991. Temperature and crop development. Chapter 2. Modeling plant and systems. Hanks and Ritchie, co-editors. Number 31 in the series *Agronomy*.
- Roman, E.S.; S.D. Murphy and C.J. Swanton, 1999. Effect of tillage and *Zea mays* on *Chenopodium album* seedling emergence and density. *Weed Science* 47: 551-556.
- Teasdale, J.R. and C.L. Mohler, 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agronomy Journal* 85: 673-680.
- Vleeshouwers, L., 1997. Modelling weed emergence patterns. PhD Thesis. Agricultural University, Wageningen, Netherlands. Pag. 165.
- Wiese, A.M. and L.K. Binning, 1987. Calculating the threshold temperature of development for weeds. *Weed Science* 35: 177-179.