agronomía&ambiente
Revista de la Facultad de Agronomía UBA
33 (1-2)

ALPISTE: VARIACIONES EN EL RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS AGRONÓMICO ANTE CAMBIOS EN LA DENSIDAD DE SIEMBRA

J.L. Bodega*; M.M. Pereyra Iraola; M. Naya y G. Palmieri

Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, C.C. 276, (CP 7620) Balcarce, Argentina.
*Email. jlbodega@balcarce.inta.gov.ar

Recibido: 07-10-13
Aceptado 13-12-13

RESUMEN

El efecto de un amplio rango de densidades de siembra sobre el rendimiento de grano en alpiste (*Phalaris canariensis* L.), sus componentes y otras características de interés agronómico fueron estudiadas en ensayos a campo en Balcarce (Bs. As.) Argentina, durante los años 2004 y 2007. Se utilizó la población argentina de alpiste que fue sembrada teniendo como objetivo el logro de: 100, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 y 2400 plantas m^{-2}. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Los resultados muestran que la densidad de siembra no afectó la fenología del cultivo, ni el peso de las semillas, pero sí se observó una disminución, lineal, de la altura de plantas en la medida que se incrementó el número de plantas. El aumento de la densidad se relacionó negativamente con el número de panojas $planta^{-1}$ y con el número de semillas $panoja^{-1}$. Con más de 600 plantas m^{-2} logradas, el número de panojas $planta^{-1}$ fue inferior a 1. Por ello, las siembras que aseguren el logro de 300 a 400 plantas m^{-2} permitirían llegar a antesis con una cobertura foliar de 90%, 600 a 800 panojas m^{-2} (dadas por el logro de, por lo menos dos macollos fértiles $planta^{-1}$) y altos rendimientos de grano (1931 kg ha^{-1} en el año 2004 y 1312 kg ha^{-1} en el año 2007).

Palabras clave. *Phalaris canariensis,* densidad, componentes del rendimiento.

CANARY GRASS: VARIATIONS IN GRAIN YIELD AND OTHER AGRONOMICALLY IMPORTANT FEATURES IN RESPONSE TO DIFFERENT PLANT DENSITIES

SUMMARY

The effect of a wide range of plant densities on agronomic traits and yield components of canary seed *(Phalaris canariensis* L.*)* was studied in field trials in Balcarce, Buenos Aires province, Argentina during 2004 and 2007. We used a local population of canaryseed planted to achieve: 100, 300, 600, 900, 1200, 1500,1800, 2100 and 2400 plant m^{-2}. With increasing stand density from 100 to 2400 plantas m^{-2} no change in phenology, or seed weight was observed, but there was a linear decrease in plant height. The density was negatively related to the number of panicles $plant^{-1}$ and the number of seeds $panicle^{-1}$. With around 600 plants m^{-2} the number of fertile tillers $plant^{-1}$ was less than 1. The results indicated that by planting seed quantities to ensure an achievement of 300-400 plants m^{-2} allowed to reach anthesis with a leaf cover of 90%, (fertility of at least two tillers $plant^{-1}$ reaching a minimum of 600 to 800 panicles m^{-2}) and high grain yields (1931 kg ha^{-1} in 2004 and 1312 kg ha^{-1} in 2007).

Key words. *Phalaris canariensis,* yield components, plant density.

J.L. Bodega; M.M. Pereyra Iraola; M. Naya y G. Palmieri. 2013. Alpiste. Variaciones en el rendimiento de grano y otras características de interés agronómico ante cambios en la densidad de siembra. *Rev. Agronomía & Ambiente* 33(1-2): 43-55. FA-UBA, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

El alpiste (*Phalaris canariensis* L.) es una planta anual, de crecimiento invernal, con un ciclo y prácticas de producción similares a las empleadas en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). Su principal destino es la producción de granos utilizados para la alimentación de aves canoras. A nivel mundial es un cultivo de poca significación con una producción de 166.815 t. (FAOSTAT, 2013), no obstante la Argentina se encuentra dentro de los principales productores mundiales junto con Canadá y Tailandia; ocupando el segundo lugar entre los países exportadores, después de Canadá. La producción nacional (18.204 t, ciclo 2012-13) (SIIA, 2013) se destina casi exclusivamente a la exportación, este mercado es quien regula el precio y por ende el área de siembra. Nuestro principal comprador es Brasil, país que adquiere volúmenes variables de acuerdo a los años pero que en general compra la mayor parte de nuestra producción.

En la Argentina más del 90% del área sembrada se localiza en el centro y sudeste de la provincia de Buenos Aires y aunque el alpiste figura en las estadísticas oficiales argentinas desde fines del siglo diecinueve, no disponemos, en la Argentina, de variedades comerciales (Bodega *et al.,* 2003 b) y es relativamente escasa la información que se tiene sobre las distintas prácticas de manejo (Miravalles *et al.,* 2002), si se compara con otros cultivos extensivos difundidos en la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires como trigo, maíz, soja y girasol (Andrade y Sadras, 2000; Satorre *et al.,* 2003; Slafer *et al.,* 2005).

La elección de la densidad de plantas y del espaciamiento entre hileras es clave para optimizar la productividad de los sistemas agrícolas. A través de esta práctica es como se logran obtener, en los diferentes cultivos, coberturas vegetales adecuadas para optimizar el rendimiento. La densidad óptima para un cultivo determinado (número mínimo de plantas que produce el máximo rendimiento) varía entre regiones según las condiciones climáticas, el tipo de suelo, la época de siembra y el cultivar utilizado (Andrade y Sadras, 2000).

Entre las primeras informaciones y recomendaciones de densidades de siembra se encuentran los informes de la Junta Nacional de Granos (1965) y los trabajos de Serrano y Maddaloni (1964). Los autores aconsejan la siembra de alpiste a chorrillo en líneas distanciadas a 15 cm utilizando una densidad de 30 a 35 kg ha^{-1}. En ambas publicaciones se recomienda aumentar la densidad en campos invadidos por las malezas o mal trabajados ya que el lento crecimiento inicial del alpiste (desde emergencia hasta 4 hojas) lo hacen muy poco competitivo con las malezas.

Con posterioridad, Pereyra y Fariso (1979) recomiendan el logro de 700 plantas m^{-2}, para obtener buenos rendimientos de grano, lo cual puede alcanzarse con el uso de 45-50 kg ha^{-1} de semilla de buen poder germinativo y pureza. Forjan (1986), en Tres Arroyos, determinó que las densidades de 450 semillas m^{-2} (41 kg ha^{-1}) rendían igual que las densidades de 550 semillas (50 kg ha^{-1}), y superaban en rendimiento a las de 350 semillas m^{-2} (32 kg ha^{-1}); el autor atribuyó esta diferencia a la poca capacidad de macollaje que tiene el alpiste.

En Canadá Holt (1989) evaluando la siembra de alpiste en surcos distanciados a 23 cm y 30 cm con densidades comprendidas entre los 7,5 kg ha^{-1} a 80 kg ha^{-1} encontraron disminuciones significativas de los rendimientos solo para las densidades menores, en las dos distancias de surcos. Putman, *et al.,* (1996) no encontraron diferencias en rendimiento entre sembrar 15 kg ha^{-1} ó 60 kg ha^{-1} de semilla. Es por ello que las recomendaciones para la zona productora (Saskatchewan en Canadá) caracterizada por tener una estación de crecimiento de cuatro meses y precipitaciones entre 200 y 255 mm durante ese período, consisten en la siembra de 30 a 38 kg ha^{-1} con el objetivo de lograr 430 a 555 plantas m^{-2} en surcos distanciados a 15 cm. Los autores indican un mínimo de densidad que se encuentra alrededor de las 250 plantas m^{-2}. May *et al.* (2012) analizando también para Canadá la variabilidad de rendi-

mientos de alpiste en función de la densidad, el momento de siembra y el agregado de nitrógeno concluyeron que las densidades que proporcionan los mayores rendimientos se encuentran utilizando una cantidad de semillas de 45 kg ha^{-1}. Como estos autores no mencionan el número de plantas logradas, es difícil extrapolar esta recomendación.

Si bien los rendimientos de granos en la Argentina y Canadá no son muy diferentes (1184 kg ha^{-1} y 1092 kg ha^{-1} respectivamente (promedio de los últimos diez años) (FAOSTAT, 2013); las zonas productoras de Canadá y la Argentina presentan importantes diferencias principalmente en lo que hace a la amplitud de los momentos de siembra. En la zona de cultivo de Canadá se recomienda sembrar alpiste en los primeros 20 días de mayo ya que con posterioridad los rendimientos experimentan una fuerte disminución (May *et al.,* 2012). En estas condiciones el cultivo presenta un ciclo relativamente corto con un período de siembra a cosecha de 109 días y un ciclo de siembra a antesis de 62 días,

Extrapolando esta recomendación a la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires, las siembras debieran ubicarse muy tardíamente, 1-20 del mes de noviembre. Los rendimientos esperables de un cultivo de alpiste sembrado en esta época serían muy bajos (Bodega *et al.,* 2003a).

En la Argentina, la época de siembra del alpiste es muy variable pudiendo acomodarse a las disponibilidades climáticas de las diferentes regiones productores oscilando entre los meses de junio y mediados de agosto con ciclos de siembra a cosecha de: 200 a 120 días (Bodega *et al.,* 2003a).

En la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires, la densidad de siembra utilizada por los productores de alpiste, independientemente del momento de siembra, oscila entre los 50 y 70 kg ha^{-1} lo que corresponde a unas 579-810 semillas por m^{-2}, con un peso de mil semillas de 7 gramos y 90% de pureza y poder germinativo (Bodega, 2003, Com. Pers.). En Basavilvaso (Entre Ríos), lugar donde en el año 2005 la firma Hauck Hnos. sembró alrededor de 2000 ha de alpiste, utilizó densidades de siembra comprendidas entre los 30-35 kg ha^{-1} (Hauck, 2005, Com. Pers.).

Bodega *et al.* (2000), trabajando con la población argentina sembrada a 7, 14, 28 y 56 kg ha^{-1} obtuvieron densidades de planta logradas comprendidas entre 90 y 385 plantas m^{-2}. Los autores mencionan que los mayores rendimientos de semillas se lograron con las densidades más elevadas que se correspondieron con 393 y 435 panojas m^{-2} a cosecha. Echevarría (1982) citado por Miravalles *et al.* (2002) considera que la densidad de siembra va a depender del estado de la cama de siembra y de la eficiencia de la sembradora, por lo que 450 semillas m^{-2} deberían ser suficientes para obtener 300 plantas y 600 panojas m^{-2} que es lo que se considera necesario para un buen rendimiento.

Con el objeto de evaluar posibles diferencias entre cultivares en el comportamiento a densidades; Bodega (2005) evaluó en Balcarce (Buenos Aires) al cultivar CDC María y la población argentina en siembras desde julio a agosto y en densidades de: 300, 600 y 900 semillas m^{-2}. No detectaron interacciones significativas entre las épocas de siembra y las densidades. Tanto la población como el cultivar CDC María, tuvieron un comportamiento similar en la producción de semilla, logrando los rendimientos más altos con las densidades de 499 y 706 plantas m^{-2} que produjeron 522 y 575 panojas m^{-2}, con un número de granos m^{-2} de 24228 y 27232, respectivamente.

En base a la información bibliográfica mencionada y considerando que es necesario precisar y actualizar la información de la respuesta del cultivo de alpiste, en secano, al cambio de densidades de siembra en lo que respecta a: fenología, altura de plantas, producción de granos y componentes del rendimiento se realizó, este trabajo en la localidad de Balcarce (Bs. As).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron, en secano, durante los años 2004 y 2007 en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina, ubicado a 37º 45" de latitud sur y 58º 18" de longitud oeste y a una altitud de 130 m snm. El suelo de tipo franco arcilloso clasificado como Argiudol típico, (USDA, Soil taxonomy) presentó un horizonte superficial con las siguientes características (Valores promedios de los dos años, con muestreos previos a la siembra): pH 5,8; materia orgánica: 5,9%; fósforo extractable: 17 ppm (Kurtz y Bray) y nitrógeno (NO_3 + NH_4) 0 - 50 cm = 75 kg ha^{-1}.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones y las densidades objetivo expresadas en plantas m^{-2} (pls. m^{-2}) fueron: 100, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2400. Para el cálculo de la cantidad de semillas a sembrar en cada parcela, se utilizaron valores de poder germinativo, pureza y coeficiente de logro de 85%, 95% y 80%, respectivamente, con un peso de 7 g las 1000 semillas. Cada unidad experimental estuvo formada por 7 surcos de 5,5 m de largo y una distancia entre líneas de 0,21 m, siendo la superficie de cada una de ellas de 8,085 m^2 (5,5 de largo y 1,47 de ancho). Se utilizó la población argentina de alpiste y las siembras se realizaron el 28-08-2004 y el 28-06-2007, empleando una sembradora experimental de parcelas Wintersteiger (fabricada en Austria) montada sobre los tres puntos del tractor. Previo a la siembra, todas las parcelas fueron fertilizadas con fosfato diamónico (18-46-0) a razón de 100 kg ha^{-1}. Con posterioridad (aproximadamente 30 días después de la emergencia) se hicieron aplicaciones de nitrógeno, como urea, a razón de 120 kg ha^{-1}. La fertilización, en cuanto a momento y dosis, fue similar en los dos años de ensayos.

Las malezas se controlaron químicamente con la aplicación de los siguientes herbicidas en post emergencia: Acido 2,4 diclorofenoxiacético (120 cc. *i.a.* ha^{-1}) + Sal dimetilamina del ácido metil clorofenoxiacético (112 cc *i.a* ha^{-1}) + sal dimetilamina del ácido 2-metoxi 3,6 diclorobenzoico (75 cc. *i.a* ha^{-1}) y mecánicamente con la utilización de azadas cuando fue necesario. Las aplicaciones de herbicida se realizaron en el período de macollaje y luego que el cultivo alcanzara el estado de cinco hojas desarrolladas, con una altura de pseudotallos de 8 a 10 cm (medido en el eje principal y desde la base de donde cambia de color de blanco a verde hasta la última lígula desarrollada). La baja incidencia de enfermedades e insectos no justificaron la aplicación de fungicidas e insecticidas. La información climática fue obtenida de la estación meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del INTA, distante a 300 m, aproximadamente, de los ensayos.

Mediciones y observaciones del cultivo

Los estados de desarrollo fueron descriptos de acuerdo con el código decimal propuesto por Zadoks, (Zadoks *et al.,* 1974). La emergencia fue registrada cuando se observó la primera hoja fuera del coleoptilo (Z.10), antesis cuando el 50% de los tallos presentaron panojas con anteras visibles (Z.65), madurez cuando el 90% de las panojas presentaron en la base del pedúnculo (cercano a la panoja) una coloración amarilla o marrón clara (Z.92).

El tiempo térmico desde siembra a emergencia (S-E), desde emergencia a antesis (E-A) y el ciclo total (C.T) se calcularon en base a la temperatura promedios del aire con una temperatura base de 1,8 ºC para el período S-E mientras que para los períodos E-A y C.T se utilizó una temperatura base de 0 ºC (Campolieto *et al.,* 2003). La suma térmica para cada período surgió del siguiente cálculo: ºC día= $\sum[(t_m-t_b)]$ donde t_m es la media diaria de temperatura (ºC) y t_b es la temperatura base del período considerado.

En el estado de tres hojas desarrolladas (Z.13), se contaron las plantas establecidas por metro lineal de surco (0,21 m^2), en los surcos 2 y 4, en cada parcela y el valor se expresó en plantas por metro cuadrado (pls. m^{-2}).

La intercepción de radiación se determinó al comienzo de encañazón (Z. 31) y en antesis (Z. 65). Las determinaciones en cada parcela se realizaron alrededor del medio día solar (entre las 11,30 hs y 14,30 hs) y se llevaron a cabo mediante un radiómetro Cavadevices, Modelo 2010-dual (Cavadevices, Capital Federal). Para realizar las determinaciones se siguió la técnica de Gallo y Daugerthy (1966). Se efectuaron dos determinaciones por parcelas colocando el sensor en forma perpendicular a los surcos. Cada medida consistió en dos determinaciones, la primera colocando la barra encima del cultivo (Io) y la si-

guiente en la parte inferior del mismo sobre la superficie del suelo (It). Los porcentajes de radiación interceptada se calcularon mediante la fórmula 100-(It*100* Io^{-1}).

El cociente fototermal (Q) se calculo de la forma descripta por Fischer (1985), (Q= Radiación fotosintéticamente activa interceptada/(temperatura diaria promedio-Temperatura base=4,5 ºC) para el período crítico de alpiste comprendido entre los 220 ºC previos a antesis y los 110 ºC posteriores (Bodega *et al.,* 2010).

Previo a la cosecha se registró la altura de las plantas tomando 10 plantas al azar por parcela. La altura en centímetros se midió desde la base del tallo, a nivel del suelo, hasta el extremo apical de la panoja. En el momento de cosecha, se determinó: el número de panojas por m^{-2} y el rendimiento de semillas sobre una superficie de 0,525 m^{-2} (los 5 surcos centrales por un largo de 0,5 m). El número de panojas por planta se estimó como el cociente entre el número de panojas a cosecha y el número de plantas emergidas después de tres hojas.

La trilla se realizó con una trilladora estática. El peso de mil semillas, ajustado a 14% de humedad, se determinó utilizando dos muestras por parcela de 250 semillas cada una. El número de semillas por panojas se calculó como el cociente entre el número de semillas m^{-2} y el número de panojas m^{-2}. El número de semilla m^{-2} se estimó en base al rendimiento de semilla y el peso de la mil semillas. Los rendimientos de grano fueron ajustados a 14% de humedad y expresados en kg ha^{-1}.

Se realizaron análisis de varianza para cada variable dentro de cada año utilizando el programa INFOSTAT (di Rienzo *et al.,* 2008). Cuando el test-F fue significativo (P<0,05) las diferencias entre los valores promedios se analizaron utilizando el test de diferencias mínimas significativas (LSD). Los coeficientes de correlación y regresión fueron calculados con los valores promedios de cada tratamiento (Little y Hilld, 1976).

RESULTADOS

Información climática

En el Cuadro 1 se presentan los valores promedios de temperatura, radiación fotosintética-

Cuadro 1. Temperaturas y precipitaciones mensuales de los años 2004-2007 y valores promedios de los últimos 30 años para Balcarce. Pcia. Buenos Aires.

Meses	2004	2007	30 a[z]
	Temperatura promedio (ºC)		
Julio	8,4	6,1	7,6
Agosto	9,2	6,7	9,1
Setiembre	10,9	12,5	10,5
Octubre	13,3	15,0	13,5
Noviembre	16,0	14,7	16,3
Diciembre	19,9	19,5	19,0
	Precipitaciones (mm)		
Julio	86,0	15,5	55,7
Agosto	125,0	22,4	60,7
Setiembre	31,5	183,0	70,3
Octubre	50,5	86,4	94,5
Noviembre	69,5	48,6	95,5
Diciembre	62,0	26,0	98,5
	Radiación Incidente (Mj m^{-2})		
Julio	6,2	7,0	6,3
Agosto	8,0	8,8	8,6
Setiembre	13,2	11,7	12,3
Octubre	15,9	16,4	16,4
Noviembre	18,4	21,3	19,6
Diciembre	21,8	24,5	22,0

[z]Media de los últimos 30 años (1982 a 2012.

mente activa y precipitaciones mensuales durante los años 2004 y 2007. Las condiciones de radiación y temperatura pueden ser consideradas normales comparándolas con el promedio de los últimos 30 años, no así las precipitaciones que en ambos años fueron inferiores principalmente en el mes de noviembre. En el año 2007, alrededor de antesis, se produjeron heladas que afectaron la fecundación y la fijación de semillas. El cociente fototermal arrojó valores superiores para el año 2007 (1,03) *vs* 2004 (0,86).

Densidad de plantas

Dentro del rango de plantas logradas de 146 a 2073 pls. m^{-2} (2004) y de 113 a 1769 pls. m^{-2} (2007). Las densidades logradas se asemejaron a las programadas por debajo de las 1500 pls. m^2 (2004) y 1200 pls. m^{-2} (2007). A partir de esas densidades las diferencias se incrementaron (Fig. 1) y en promedio se lograron el 90% (2004) y 71% (2007) de las densidades objetivo. Se debe tener en cuenta que para los cálculos de las distintas densidades de siembra se consideraron similares valores de coeficiente de logro (85%). El mayor logro de plantas (16% y 13%), con la menor densidad, en ambos años (100 pls. m^{-2}), estaría indicando un mayor coeficiente de logro en las bajas densidades en relación con las altas densidades.

Fenología

Las densidades de siembra no modificaron el comportamiento fenológico, en el Cuadro 2 se consignan las fechas promedios y duración en días y tiempo térmico de los distintos momentos fenológicos registrados en cada uno de los años.

Rendimiento de grano

El análisis estadístico mostró diferencia significativas ($P<0,05$) para rendimiento entre los tratamientos (Cuadro 3). En el año 2004 los mayores rendimientos se alcanzaron con un número de plantas logradas comprendido entre las 116 pls. m^{-2} y las 1165 pls. m^{-2}, densidades mayores produjeron reducciones significativas de los rendimientos. En cambio en el año 2007 no hubo diferencias estadísticamente significativas del rendimiento ante cambios en la densidad.

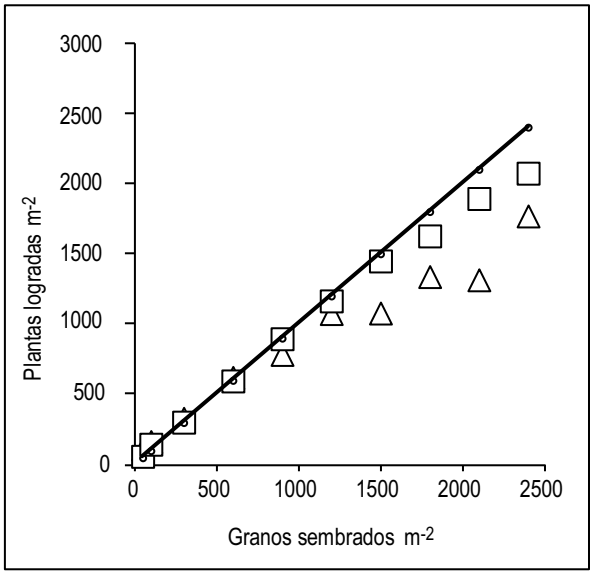

Figura 1. Relación entre el número de plantas logradas m^{-2} y el número de granos sembrados m^{-2}, en los años 2004 (□) y 2007 (Δ). La línea recta indica la relación 1:1.

Cuadro 2. Fechas de siembra (S), emergencia (E), antesis (A), cosecha (C), duración en días y tiempo térmico de la etapas de: siembra a emergencia (S-E), emergencia-antesis (E-A) y ciclo total (CT) para los años 2004 y 2007.

Años	Fechas de				Días a:			Tiempo térmico ºC día*		
	S	E	A	C,T	S-E	E-A	CT	S-E	E-A	C,T
2004	28-08	10-09	18-11	21-12	13	69	103	126	893	1537
2007	28-06	02-08	22-11	19-12	35	112	139	156	1345	1836

*El tiempo térmico se calculó en base a la temperatura promedios del aire con una temperatura base de 1,8 ºC para el período S-E (Campolieto *et al.*, 2003) mientras que para los periodos E-A y C,T se utilizó una temperatura base de 0 ºC,

Cuadro 3. Densidades de siembra objetivo, plantas m^{-2} logradas y kg ha^{-1} de semilla sembrada, rendimiento de grano (Rendi,Grano) y sus componentes (panojas m^{-2}, panojas $planta^{-1}$, granos $panoja^{-1}$ y peso de 1000 granos) en los años 2004 y 2007.

	Densidades de siembra			Número de Panojas		Número de granos	Rendimiento granos	Peso 1000 granos
Años	Plantas m^{-2}		kg ha^{-1} semillas*	m^{-2}	$Planta^{-1}$	$Panoja^{-1}$	kg ha^{-1}	g
2004	Objetivo	Logradas		(**)	(**)	(**)	(**)	
	100	116	9	474 e	4,0 a	61 a	1930 a	6,7
	300	276	27	553 de	2,0 b	49 b	1931 a	7,2
	600	596	55	612 cd	1,0 cd	42 c	1910 a	7,4
	900	896	82	597 d	0,7 d	40 cd	1866 a	7,0
	1200	1165	109	699 cd	0,6 d	35 de	1823 ab	7,5
	1500	1449	136	635 bc	0,4 d	33 ef	1547 bc	7,5
	1800	1627	164	744 b	0,5 d	29 f	1513 c	7,2
	2100	1893	191	761 b	0,4 d	27 f	1517 c	7,3
	2400	2073	218	854 a	0,4 d	28 f	1533 c	7,2
								ns
2007	100	113	9	304 g	2,7a	56 a	1041 ab	6,5
	300	330	27	391 efg	1,2 b	52 a	1312 a	6,5
	600	621	55	548 cde	0,9 b	39 b	1247 ab	6,5
	900	755	82	602 bcd	0,8 b	31 bc	1171 ab	6,5
	1200	1075	109	484 def	0,4 b	35 b	1006 ab	6,4
	1500	1079	136	691 abc	0,6 b	22 cd	943 ab	6,3
	1800	1338	164	731 ab	0,5 b	24 cd	1116 ab	6,2
	2100	1315	191	666 abc	0,5 b	22 cd	909 b	6,2
	2400	1769	218	823 a	0,5 b	20 d	1006 ab	6,2
								ns

* Los kg ha^{-1} de semillas sembrados fueron calculados teniendo en cuenta un peso de 1000= 7 g , un poder germinativo = 90%, una pureza = 95% y un coeficiente de logro = 90%.

** Los valores seguidos por la misma letra dentro de una misma columna y año, no difieren significativamente $P<0,05$, ns= no significativo.

Componentes del rendimiento

Las variaciones de rendimientos entre las densidades de siembra, en los dos años de ensayos, se asociaron más estrechamente con el número de granos m^{-2} (r^2: 0.96, n= 18) (Fig. 2) que con el peso de los mismos (r^2=0,15). En la Figura 2, se muestra, en promedio para los dos años, que el rendimiento de granos se incrementó a razón de 8,2 g m^{-2} (82 kg ha^{-1}) por cada incremento en 1000 semilla m^{-2}.

El número de panojas por unidad de superficie si bien aumentó conforme se incrementó el número de plantas logradas este aumento presentó una baja relación con el número de granos m^{-2} (r^2 =0,10) (Cuadro 3). Puede observarse en la Figura 3 que, aproximadamente, después de las 600 pls. m^{-2} logradas, el número de panojas m^2 se apartó de la relación 1:1 con el número de plantas m^{-2} logradas.

El aumento en el número de panojas m^{-2} con el incremento de la densidad fue acompañado por una reducción en el número de panojas por planta y de semillas por panoja. En la Figura 4 se muestra el descenso exponencial del número de panojas por planta con el incremento de la densidad. En el año 2004 se pasó de 4 panojas $planta^{-1}$ en las bajas densidades a 0,4 panojas $planta^{-1}$ en las altas, mientras que en el año 2007 se lograron 2,7 panojas $planta^{-1}$ y 0,46 panojas $planta^{-1}$ para la baja y alta densidad, respectivamente.

Si bien el número de panojas m^{-2} y el número de granos $panoja^{-1}$, en forma individual, no se relacionaron significativamente con el número de granos m^{-2} (r^2 =0,04, r^2=0,13, años 2004 y 2007), fueron los componentes que con sus variaciones permitieron el ajuste de los rendimientos en las diferentes densidades de siembra. El número de granos por $panoja^{-1}$ disminuyó linealmente, en ambos años con el aumento del número de panojas m^{-2} (Cuadro 3). En la Figura 5 se puede observar que en los dos años la tasa de descenso del número de semillas por panoja fue muy similar sin diferencias significativas entre ellas (7,45 y 8,5 semillas $panoja^{-1}$ por cada incremento del número de panojas en 100 unidades).

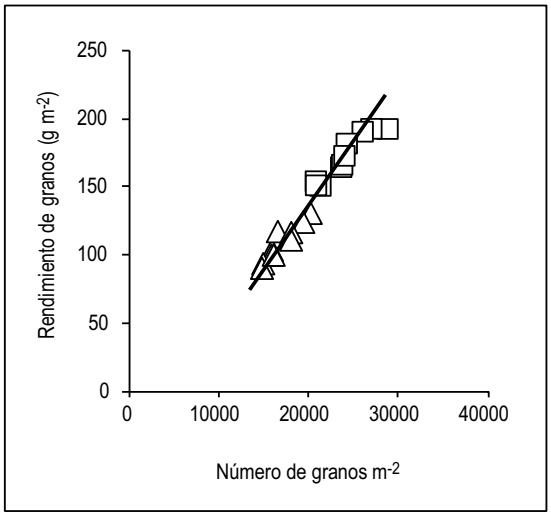

Figura 2. Relación entre el rendimiento de granos y el número de granos m^{-2} ajustado por regresión lineal en los años 2004 (□) y 2007 (Δ) (y=0,0082 X-27,11; r^2=0,96).

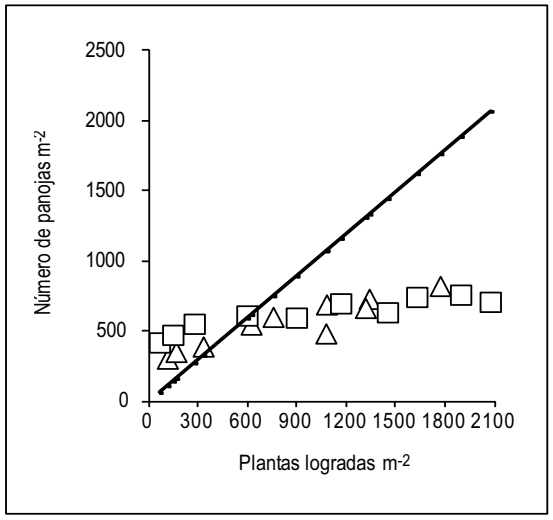

Figura 3. Relación entre el número de panojas m^{-2} y el número de plantas logradas m^{-2} en los años 2004 (□) y 2007 (Δ). La línea recta indica la relación 1:1.

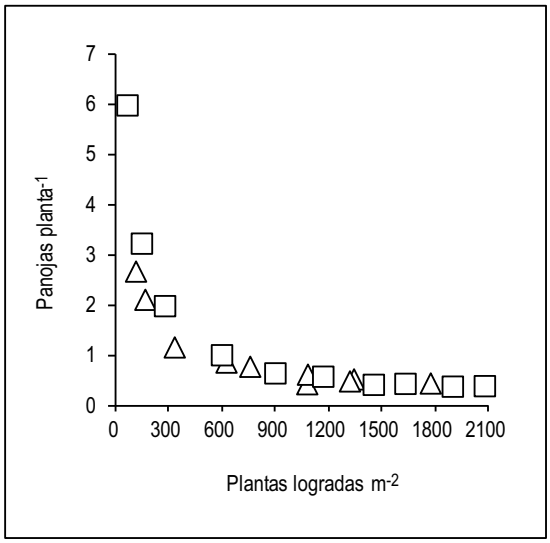

Figura 4. Relación entre el número de panojas planta^{-1} y el número de plantas logradas m^{-2} en los años 2004 (□) y 2007 (Δ).

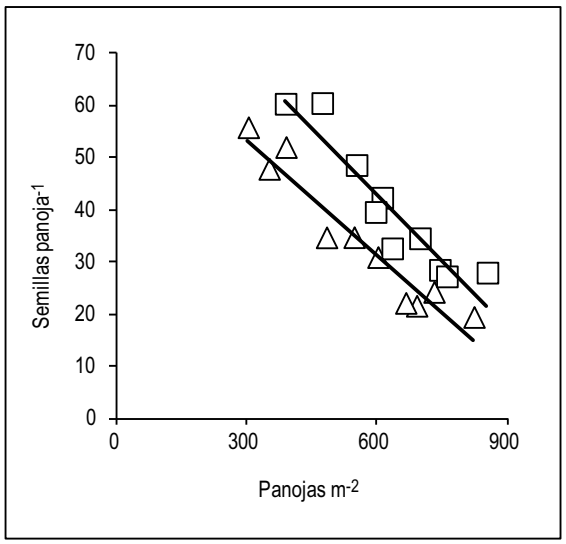

Figura 5. Relación entre el número de semillas panojas^{-1} y el número de de panojas m^{-2} en el año 2004 (□)(y= -0,085 X + 94,22; r^2=0,89) y el año 2007 (Δ) (y= -0,074 X+75,79; r^2=0,92).

Altura de planta

La altura de los tallos a cosecha, decreció en forma lineal con el aumento de la densidad (Fig. 6) experimentando una reducción de 16 cm (año 2004) y de 14 cm (año 2007), entre las densidades extremas. La pendiente de la recta de regresión muestra una disminución promedio de 8 cm en la altura de los tallos por cada incremento de 1000 plantas en la densidad.

Intercepción de radiación en diferentes estadios del cultivo

En la Figura 7 se muestran los datos de intercepción de radiación para los dos años en los estados de comienzo de encañazón y antesis. Con excepción de las menores densidades (116 y 113 pls. m^{-2}) que llegaron a niveles de intercepción de alrededor del 80%. Las mediciones realizadas en antesis muestran un incremento de la capacidad de intercepción para todas las densidades, respecto al valor registrado al comienzo de encañazón, no obstante a partir de las 600 pls. m^{-2} se pudieron alcanzar valores de intercepción cercanos o superiores al 95%.

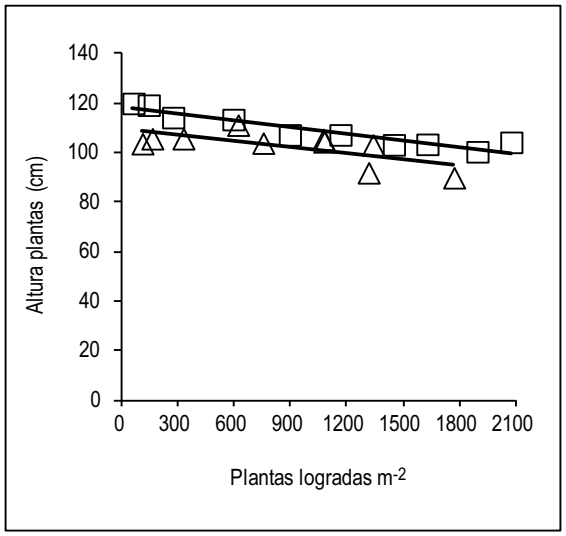

Figura 6. Relación entre la altura de las plantas (cm) y las plantas logradas m^{-2} en los años 2004 (□), (y=0,0089 X+118,4; r^2=0,90); 2007 (Δ); (y=0,008 X +109,4; r^2=0,86).

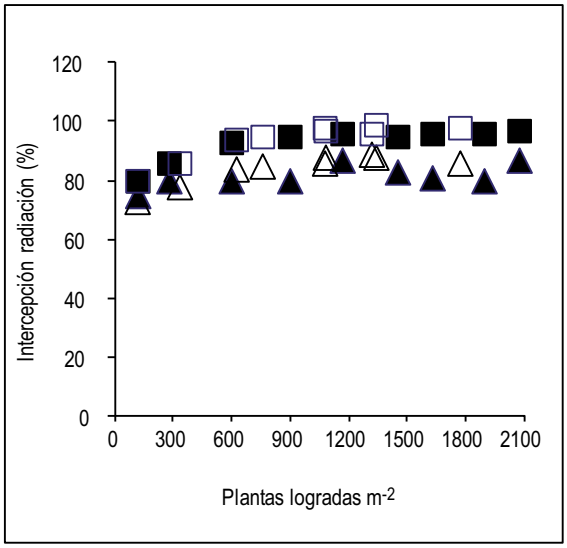

Figura 7. Radiación interceptada (%) según el número de plantas logradas m^{-2} en: comienzo de encañazón (▲) y antesis (■) en el año 2004 y comienzo de encañazón (Δ) y antesis(□) en el año 2007.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo muestran la plasticidad vegetativa y reproductiva que tiene la población de alpiste sembrada en la Argentina ante variaciones en la densidad de siembra. Si bien el número de plantas se define con posterioridad a la emergencia del cultivo, el número de panojas por planta y de semillas por panoja se fijan en el período comprendido entre fin del macollaje y la antesis (Bodega *et al.,* 2010). Esta secuencia temporal en la diferenciación de componentes sumado a las relaciones existentes entre el número de plantas, número de panojas por planta y número de semillas por panoja, proporcionan al cultivo una buena capacidad de compensación ante fallos en el logro de plantas.

El período crítico para la definición del número de granos (Bodega *et al.,* 2010) se extendió desde el 27 de octubre al 26 de noviembre en el año 2004 y del 30 de octubre al 30 de noviembre en el año 2007. El cálculo de los cocientes fototermales arrojó valores superiores para el año 2007 (1,03) *vs* 2004 (0,86), esta diferencia indicaría condiciones ambientales, de radiación y temperatura, favorables para lograr mayores rendimientos (alrededor del 20%) en los cultivos de alpiste del año 2007. Sin embargo, las menores precipitaciones de ese año sumado al hecho que alrededor de antesis se produjeron heladas que afectaron la fecundación y la fijación de semillas, resultaron rendimientos,promedio inferiores en el año 2007 (1083 kg ha^{-1} *vs* 1730 kg ha^{-1} en el año 2004).

La fenología no fue modificada por las densidades de siembra los cambios observados en fenología entre años fueron consecuencia de los distintos momentos de siembra. El rendimiento de granos no mostró una respuesta significativa al aumento del número de plantas m^{-2}. En el año 2004 con la menor densidad de siembra (116 plantas m^{-2}) se logró un rendimiento de grano similar al obtenido con las densidades mayores, mientras que en el año 2007 con la menor densidad (113 pls. m^{-2}) se alcanzó el 96% del rendimiento promedio (1086 kg ha^{-1}) de las demás densidades. Holt (1989) evaluando el comportamiento del alpiste a diferentes densidades y espaciamientos de surcos, en Canadá, informó que con siembras de 1,5 g m^{-2} de semillas viables se obtienen rendimientos de granos similares a los logrados con las densidades óptimas (20-25 kg ha^{-1} de semillas viables).

El número de granos m^{-2} fue el componente que explicó las variaciones en los rendimientos de semillas, ya que el peso de los granos, dentro de cada año, no se modificó significativamente por efecto de las densidades. Puckridge y Donald (1967) estudiaron el efecto de la densidad sobre el rendimiento y sus componentes en el cultivo de trigo sobre un amplio rango de densidades (1,4 y 1078 plantas m^{-2}) para las condiciones de Australia Occidental, caracterizada por precipitaciones entre 250-450 mm por año. En estas condiciones el peso de los granos no fue afectado por la densidad.

El número de panojas por m^{-2} si bien se incrementó con el aumento del número de plantas lo-

gradas, no se relacionó con el rendimiento de granos. Las variaciones en el número de granos m^{-2} estuvieron explicadas por cambios en el número de panojas $planta^{-1}$ y en el número de semillas panoja. Holt (1989) y Miller (2000), mencionan resultados similares para de Canadá.

La capacidad de macollaje estimada en función del número de panojas presentes en la cosecha en relación con el número de pls. m^{-2} logradas, llegó a 4 en las bajas densidades. Holt (1989) con distancias de surcos de 0,23 m y densidades de 10 kg ha^{-1} menciona valores de 3 a 7 macollos fértiles por planta. Esta información muestra, contrariamente a lo afirmado por Forjan (1986) que el alpiste posee una buena capacidad de macollaje, si la densidad y el ambiente se lo permiten. Asemejándose, en esta características a cultivos como el trigo. Calderini *et al.* (1995) señalan la capacidad del cultivo de trigo de compensar reducciones en el número de plantas por unidad de área, principalmente, a través del aumento en el número de espigas de macollos, para los autores esta respuesta es el resultado de la interacción de recursos disponibles y de señales lumínicas (relación rojo/rojo lejano).

Tal como se ha publicado para trigo Easson *et al.* (1993); Lloveras *et al.* (2004); Satorre *et al.* (2003) entre otros, en alpiste se observó también la existencia de una densidad óptima por encima de la cual los aumentos en el número de plantas no produjeron cambios importantes en los rendimientos de grano. Con el aumento de la densidad, si bien el número de inflorescencias por unidad de superficie aumenta, el rendimiento por planta en alpiste disminuye debido a la reducción progresiva del número de panojas por planta y del número de granos por panoja. Estas relaciones negativas permiten compensar el aumento del número de panojas m^{-2} como consecuencia del aumento de la densidad de siembra, haciendo que los rendimientos por unidad de área se mantengan, sin cambios importantes hasta un deter-minado número de plantas logradas (1165 pls. m^{-2} en 2004 y 1769 pls. m^{-2} en 2007).

Hasta esas densidades el número de panojas, con ligeras variaciones, estadísticamente significativas, osciló entre las 474 y 699 panojas m^{-2} (2004) y 304 a 824 panojas m^{-2} (2007). Las densidades de 600-700 pls. m^{-2} logradas ya no presentaron macollos fértiles, pudiendo decirse que a partir de esas densidades, las panojas cosechadas, provenían solamente de los ejes principales, sugiriendo la existencia de (a) una importante pérdida de plantas después de realizados los conteos (entre 3 hojas y antesis), consecuencia de la fuerte competencia entre plantas (Holt, 1989) o (b) la presencia de plantas estériles que no llegaron a formar panojas, aspecto que no fue cuantificado en este trabajo.

Bodega (2005) trabajando con el cultivar CDC María y la población argentina, informa que ambos materiales presentaron tamaño de sus panojas poco uniformes, siendo de mayor tamaño la del eje principal. Esta situación llevó a los autores, coincidentemente con la idea propuesta para trigo por Donald (1968) a pensar que el logro de cultivos, sin macollos, con panojas del eje principal solamente, podría producir mayores rendimientos que los cultivos con macollos.

En este trabajo no se observaron incrementos en los rendimientos de grano, con las altas densidades en donde el cultivo no produjo macollos fértiles. En línea con lo informado por Calderini *et al.* (1995), Satorre *et al.* (2003) la falta de macollos estaría indicando que la competencia intraespecífica por capturar los recursos esenciales para el crecimiento, afectó la estructura del cultivo y con ello la ventaja comparativa del mayor tamaño de la panoja del eje principal, desapareció. Igualmente ocurrió con la altura de los tallos, la que se redujo significativamente ($p<0,05$) desde las bajas a las altas densidades de siembra. Esta reducción en la altura de los tallos también había sido observada por Holt (1989) en Canadá.

Los resultados de este trabajo muestran la conveniencia de utilizar densidades que permitan el desarrollo de al menos un macollo fértil por planta, para lo cual es aconsejable sembrar la canti-

dad de semillas viables que nos aseguren el logro de alrededor de 300 a 400 pls. m^{-2}. Estas densidades garantizan coberturas adecuadas en los momentos previos a panojamiento y están en línea con la información publicada para trigo por Puckridge y Donald (1967), Darwinkel (1978) y Slafer *et al.* (2005), en donde los autores, consideran adecuadas las densidades de siembra, que permitan la formación y productividad del eje principal más un macollo fértil por planta.

Para el logro de 300 a 400 pls m^{-2} sería necesario sembrar entre 28 a 37 kg ha^{-1} (considerando un peso de 1000 semillas= 7,5 g y un poder germinativo y pureza del 90%). Estos resultados no cambian las recomendaciones de Serrano y Maddaloni (1964) e informes de la Junta Nacional de Granos (1965), que aconsejaban la siembra de alpiste a chorrillo en líneas distanciadas a 15 cm, utilizando una densidad de 30 a 35 kg ha^{-1}. Si bien este valor resulta un poco superior al mencionado por Holt (1989) para Canadá cuando sugiere, para optimizar los rendimientos, la siembra de 20 a 25 kg ha^{-1} de semillas para lograr 250 plantas m^{-2} (poder germinativo de 75% y un peso de 1000 semillas de 7,5 g), se encuentra en línea con las recomendaciones de Miller (2000) para Saskatchewan (Canadá). El autor establece densidades superiores a las 250 plantas m^{-2}, con óptimos comprendidos entre las 430 a 555 pls. m^{-2} en surcos distanciados a 15 cm.

BIBILIOGRAFÍA

Andrade, F.H. y V.O. Sadras. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 443p.

Bodega, G.I. 2005. Efecto de la época y densidad de siembra sobre el crecimiento, rendimiento y sus componentes en CDC María y una población local de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Unidad Integrada Balcarce. Argentina. 26p.

Bodega, J.L.; M.A. de Dios and M.M. Pereyra Iraola. 2000. Evaluation of time of sowing and seeding rates on yield and yield components of canarygrass (*Phalaris canariensis* L.) Thest of. Agrochemicals and Cultivars 21. Annals of applied biology 134, Supplement. pp. 23-24.

Bodega, J.L.; M.A. de Dios and M.M. Pereyra Iraola. 2003a. Sowing date affects yield components of canarygrass seed. *Can. J. Plant Sc.* 83: 357-362.

Bodega, J.L.; M.A. de Dios y M.M. Pereyra Iraola. 2003b. Análisis comparativo del rendimiento de semillas y otras características de interés agronómico en poblaciones locales y cultivares introducidos de Alpiste. *Revista Facultad de Agronomía,* Buenos Aires 23(2-3): 147-154.

Bodega, J.L.; M.A. de Dios y M.M. Pereyra Iraola. 2010. Alpiste: efectos de sombreos antes y después de antesis sobre el rendimiento de granos y sus componentes. *Revista Facultad de Agronomía,* Buenos Aires 30(3): 137-149.

Calderini, D.F.; G.A. Maddonni; D.J. Miralles; R.A. Ruiz y E.H. Satorre *(ex aequo).* 1995. Trigo: Modelos de alta producción. Revista CREA 177: 44-47.

Campolietto, L.; J.L. Bodega; M.A. de Dios y M.M. Pereyra Iraola. (2003). Efectos de la temperatura del aire y del suelo sobre la duración de la etapa siembra-emergencia en Alpiste (*Phalaris canariensis* L.). XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria, RS, Brasil 3-7 agosto 2003.

Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada y C.W. Robledo. (2008). InfoStat*, versión 2008,* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Darwinkel, A. 1978. Pattern of tillering and grain production winter wheat at a wide range of plant densities. *Neth. J. Agric. Sci.* 76: 383-398.

Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17: 385-403.

Easson, D.L.; E.M. White and S.J. Pickles. 1993. The effects of weather seeding rate and variety on lodging and yield in winter wheat. *J. Agric. Sci.* 121: 145-156.

Echeverría, I. 1982. Conocimientos generales del cultivo de alpiste (*Phalaris canariensis* L.) en el área de la Estación Experimental Regional Agropecuaria Pergamino. INTA, Carpeta de Forrajeras y Alimentación Bovina. Información General N° 130.

FAOSTAT. 2012. Food an Agriculture Organization of the United Nations (Online) Available: http.//faostat. Fao.org [consulta: 2 diciembre 2013]

Fischer, R.A. 1985. Numbers of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* (Cambridge) 105, 447-461.

Forjan, H.J. 1988. Alpiste. Situación del cultivo y su manejo: Chacra Experimental de Barrow, Tres Arroyos, Argentina. Hoja de divulgación N° 54: 1-4.

Gallo, K.P. and C.S.T. Daugerthy. 1966. Techniques of measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in canopies. *Agron. J.* 78: 752-756.

Holt, N.W. 1989. Effects of row spacing and seeding rate on the agronomic performance of annual canarygrass. *Can. J. Plant. Sci.* 69: 1193-1198.

Junta Nacional de Granos. 1965. Alpiste. Buenos Aires. Informe de divulgación N° 2. 2 p.

Little, T.M. y F.G. Hilld. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la Agricultura. Ed. Trillas, México. 270p.

LLoveras, J.; J. Manent; J. Viudas; A. Lopez and A. Santiveri. 2004. Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a mediterranean climate. *Agron. J.* 96: 1258-1265.

May, W.E.; G.P. Lafond; Y.T. Gan; P. Hucl; C.B. Holzapfel and A.M. Johnston. 2012. Yield variability in *Phalaris canariensi*s L. due to seeding date, seeding rate and nitrogen fertilizer. *Can. J. Plant. Sci.* 92: 651-669.

Miller, R.P. 2000. Effect of varying seeding date on crop development, yield and yield components in canaryseed. *Can. J. Plant Sci.* 80: 83-86.

Miravalles, M.T.; L.M. Gallez y F.E. Mockel. 2002. Alpiste: revisión de la situación del cultivo. *Rev. Fac. Agron. Bs. As.* 22 (1): 7-17.

Pereyra, V.R. y C. Farizo. 1979. Alpiste: producción en el sudeste de Buenos Aires. INTA Balcarce, Argentina. Producción Vegetal. Información para Extensión Nº 126. 7p.

Puckridge, D.W. and C.M. Donald. 1967. Competition among wheat plants sown at a wide range of densities. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 193-221.

Putman, D.H.; P. Miller and P. Hucl. 1996. Potential for production and utilization of annual canarygrass. *Cereal Foods Word* 41: 75-83.

Satorre, E.H; A. Benech; G.A. Slafer; E.B. de la Fuente; D.J. Miralles; M.E. Otegui y R. Savin. 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. 4º Ed. Buenos Aires. Editorial FAUBA.

Serrano, H. y J. Maddaloni. 1964. Cereales menores, Alpiste. *En:* Parodi, L.R. *eds.* Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería vol. II. Buenos Aires. Argentina. Páginas 609-614.

SIIA. 2013. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca. Argentina. [en línea]. http.//siia.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura [consulta: 02 diciembre 2013]

Slafer, G.A.; J.L. Araus; C-Royo; and L.F. Garcia del Moral. 2005. Promising ecophysiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. Appl. Biol.* 146: 61-70.

ZadokS, J.C.; T.T. Chang and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.