



ALPISTE: ESTIMACIÓN DE MADUREZ FISIOLÓGICA EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS GRANOS

José L. Bodega^{1*}; Marcos Diaz²; José W. Zarate²; Miguel M. Pereyra Iraola¹

¹Cátedra de Cereales y Oleaginosas; ²Alumnos de la carrera de Ingeniería Agronómica del Departamento de Producción Vegetal, Suelos e Ingeniería Rural, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, C.C. 276, (CP 7620) Balcarce, Argentina.
E-mail: bodega.joseluis@inta.gov.ar

Recibido: 16-10-2017

Aceptado: 20-04-2018

RESUMEN

La madurez fisiológica de los cultivos de granos se encuentra relacionada con el contenido de humedad de los granos. En alpiste, son escasos los trabajos publicados en este aspecto; por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el momento en que los granos de alpiste llegan a la madurez fisiológica, analizando la dinámica del contenido de materia seca y de humedad de los granos. El trabajo se realizó en el campo experimental de la E.E.A Balcarce utilizando la Población Argentina de alpiste. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. En los años 2008 y 2010 se analizaron tres épocas de siembra y en el año 2014 dos épocas de siembra. Dentro del rango de fechas de siembra evaluados (14/05 al 20/08=106 días) la antesis tuvo lugar entre el 29-10 y el 14-11 (16 días), esta sincronización del desarrollo permitió que el llenado de granos, en las diferentes épocas de siembra, dentro de cada año, ocurriera con condiciones ambientales no muy diferentes. Los granos, con peso normales (6,3 a 7,3 mg grano-1) alcanzaron la madurez fisiológica entre los 28 y 36 días posteriores a la antesis, con un porcentaje de humedad variable entre 24,0 % y 31,5 %. Con la utilización del modelo de regresión propuesto por Calderini et al. (2000), para trigo, se observó que la madurez fisiológica de los granos se alcanzó con un valor de humedad promedio del $28,2 \pm 4$ %.

Palabras claves: canaryseed, llenado de granos, peso fresco, madurez comercial

BIRDSEED: ESTIMATE OF PHYSIOLOGICAL MATURITY AS A FUNCTION OF THE MOISTURE CONTENT OF THE GRAINS

SUMMARY

In the bibliography are many works that estimate the physiological maturity of the crops based on the moisture content of the grains. In canaryseed there are few published works on this aspect. Therefore, the contribution of this study is to evaluate the moment when the canary seeds reach physiological maturity by analyzing the dynamics of dry matter content and grain moisture. The experiment was carried out in the experimental field of the E.E.A.Balcarce using the Argentine Population of canary seed. The experimental design was in randomized complete blocks with four replicates analyzing in 2008 and 2010 three sowing dates and in 2014 two sowing dates. Within the range of sowing dates evaluated (14/05 to 20/08 = 106 days) the anthesis took place between 29-10 and 14-11 (16 days), this synchronization of the development allowed that the filling of grains, in the different times of planting, within each year, happened with not very different environmental conditions. Grains, with normal weight (6.3 to 7.3 mg grain-1) reached physiological maturity between 28 and 36 days after anthesis, with a variable humidity percentage between 24.0% and 31.5% . With the use of the regression model proposed by Calderini et al. (2000), for wheat, it was observed that the physiological maturity of the grains was reached with an average moisture value of 28.2 ± 4 %.

Key words: canaryseed, grain filling, fresh weight, commercial maturity

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del momento en que los granos, del cultivo de alpiste, alcanzan su madurez fisiológica es, al igual que en otros cultivos, un punto crítico para la toma de decisiones sobre todo, en aquellas situaciones en donde por diferentes circunstancias se decide adelantar la cosecha sin pérdidas en los rendimientos (Calviño y Redolatti, 1998; Soler, 2013). En alpiste, es escasa o nula la información que disponemos al respecto, prueba de ello es que aún se sigue utilizando, en muchos establecimientos, las recomendaciones realizadas por Serrano y Maddaloni (1964), según estos autores, la cosecha se efectúa con cortatrilla, cuando las panojas están completamente maduras, aunque con riesgos de que se produzcan pérdidas por ataque de pájaros y desgrane. Para evitar este inconveniente, los autores, recomiendan adelantar la recolección, iniciándola, cuando la mitad superior de las panojas están maduras. Pereyra y Farizo (1979) y Forján (1986), recomiendan el corte de los cultivos, cuando la mitad superior de la panoja se torna de color amarillento y cuatro o cinco días después, si no llueve, recolectar con trilladora provista de recolector.

Putman *et al.* (1996) y Canaryseed, Development Commission of Saskatchewan (2017) recomiendan, para los cultivos de Canadá, la cosecha en pie, por lo que en lugar de hilerar, si el cultivo está desperejo en maduración, usar desecantes químicos como el Diquat o Paraquat, aplicados por vía aérea en el momento en que el grano se encuentra en madurez.

Miravalles *et al.* (2002), en una revisión del cultivo de alpiste, en la Argentina, indica que la cosecha directa es más económica; pero para ello se requieren cultivos uniformes en su maduración y libres de malezas ya que las plantas erguidas sufren menor daño de pájaros que cuando están acostadas en la andana (cultivo hilerado).

En todas estas recomendaciones, no se hace mención al momento en que el cultivo

alcanza la madurez fisiológica ni tampoco, si las recomendaciones de hilerar o desecar los cultivos, se hacen con poca o mucha posterioridad a la madurez fisiológica de los granos.

La acumulación de biomasa en el grano de alpiste, al igual que en otros granos, comienza después de producida la fecundación y progresa siguiendo un modelo sigmoideo en el que se pueden distinguir tres etapas: (i) fase lag, donde la tasa de crecimiento es baja pero tiene lugar una activa división y diferenciación celular y al igual que en trigo, en esta etapa, queda definido el número de células endospermáticas y con ello el peso potencial del grano (Schnyder y Baum, 1992; Calderini *et al.*, 2000; Ahmed, *et al.*, 2011; Bernincasa *et al.*, 2017; Castillo *et al.*, 2017), (ii) una segunda etapa, caracterizada por una tasa de crecimiento alta y constante, conocida como periodo de llenado efectivo, que decrece antes de alcanzar la madurez fisiológica (MF), (iii) una tercera etapa, en donde, el grano llega a MF y alcanza su peso definitivo. Desde este momento y hasta cosecha, el grano mantiene relativamente estable su peso y va perdiendo humedad, hasta llegar a la humedad de cosecha. La mayor o menor duración de este período dependerá, de las características del grano, de la inflorescencia y de las condiciones ambientales que favorezcan, o no, la pérdida de humedad de los granos, que desde valores superiores al 35% (sobre base húmeda) (Egli y Tekrony, 1997; Alvarez Prado *et al.*, 2013; Gesch y Johnson, 2012; Sala *et al.*, 2007; Rondanini, *et al.*, 2007; Borrás *et al.*, 2003) deben llegar, lo más cerca posible, a la humedad de recibo, fijada por las respectivas normas de comercialización, que establecen, para alpiste 14%; trigo 14%; cebada cervecera 12,5%; maíz 14,5%; etc. (Bolsa de Comercio de Rosario, 2017).

La determinación de madurez fisiológica y comercial puede establecerse a nivel de órganos, de planta o de cultivos y las metodologías a seguir según Abeledo *et al.* (2010) pueden ser: (i) Determinación de la materia seca del grano;

(ii) Determinación de la humedad del grano; (iii) Métodos visuales; (iv) Uso de modelos.

El método, más preciso, para determinar el momento en que los granos llegan a madurez fisiológica, es a través, del seguimiento de la acumulación de materia seca en los mismos a partir de antesis, no obstante, ser una metodología precisa, no tiene mucha utilidad práctica para ser utilizada a nivel de campo con el objeto de poder tomar decisiones rápidas, ya que su resultado se conocería, alrededor, de una semana posterior a la ocurrencia de la madurez fisiológica y además necesitamos estufas de secado, que no siempre están disponibles (Abeledo *et al.*, 2010).

Muchos autores (Egli, 1998; Calderini *et al.*, 2000; Sala *et al.*, 2007; Abeledo *et al.*, 2010; Álvarez Prado *et al.*, 2013) sugieren utilizar la relación entre el peso seco de los granos y el porcentaje de humedad de los mismos, para determinar el momento en que estos alcanzan la MF. Utilizando esta relación, en la bibliografía (Abeledo *et al.*, 2010), encuentran valores de humedad, variables, según la especie, Egli y Tekrony (1997) informan que la soja, alcanza la MF con 55-59% de humedad en sus granos; trigo 39% y cebada 48% (Álvarez Prado *et al.*, 2013); maíz con 34,9% (Borras *et al.*, 2003, Sala *et al.*, 2007); girasol con 25-35% (Anderson, 1975; Rondanini, *et al.*, 2007; Gesch y Johnson, 2012).

Con el objeto de caracterizar el estado de madurez fisiológica a través del seguimiento de la acumulación de materia seca del grano y la evolución de su contenido de humedad, expresado en porcentaje, se realizó este trabajo utilizando la Población Argentina de alpiste (Bodega *et al.*, 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del ensayo

El trabajo fue realizado durante en los años 2008, 2010 y 2014; en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA

en Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina, ubicado a 37° 45" de latitud sur y 58° 18" de longitud oeste y a una altitud de 130 m.s.n.m. Se utilizó la denominada Población Argentina de alpiste (Bodega *et al.*, 1995), cuya semilla, de procedencia local, multiplicamos en el campo de la E.E.A. Balcarce. La siembra se realizó, en el año 2008, en tres épocas (30 de junio; 1 de julio y 8 de agosto); en el año 2010 en 3 épocas de siembra (14 de mayo; 8 de junio y 30 de julio); en el año 2014 en 2 épocas de siembra (30 de julio y 20 de agosto). Se utilizó una densidad comprendida entre las 350 y 390 plantas logradas m⁻².

El diseño experimental utilizado, en cada año, fue bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones, cada parcela estuvo formada por siete surcos, separados a 0,20 m (ancho 1,4 m) por 5 m de largo (superficie: 7,7 m⁻²). La siembra se realizó, con una sembradora experimental de parcelas, marca Wintersteiger, montada sobre los tres puntos del tractor.

Los trabajos de preparación de la cama de siembra se iniciaron, en todos los años, en el mes de mayo, con rastra de discos pesada. El suelo, de tipo franco arcilloso clasificado como Argiudol Típico (USDA Taxonomy), presentó un horizonte superficial con las siguientes características (se indica el rango medido en los tres años): pH= 6.2-6,5; materia orgánica= 5,4%- 6%; fósforo extractable 15-20 ppm m (Bray y Kurtz, 1945).

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 y en todas las épocas de siembra, se hicieron aplicaciones de Nitrógeno, como urea, a razón de 50 a 70 Kg ha⁻¹ de N. Las dosis de N aplicadas, cada año, variaron en función del análisis de nitratos a la siembra, con el objetivo de lograr, entre el N en el suelo y el aplicado, 80 kg de N ha⁻¹. El manejo del cultivo se efectuó siguiendo las prácticas que se recomiendan para lotes de producción. Las semillas no fueron tratadas con fungicidas y/o

insecticidas. Las malezas fueron controladas con la mezcla de herbicidas post emergentes, comúnmente utilizados en los cultivos de la zona, 2,4D ester (120cc.i.a ha⁻¹) + MCPA (112cc.i.a ha⁻¹) + Dicamba (75cc i.a ha⁻¹). Las aplicaciones de herbicidas, en todos los casos, se realizaron en el período de macollaje y luego de que el cultivo alcanzara el estado de 5 hojas desarrolladas, con una altura de pseudotallos de 10 a 15 cm (medido en el eje principal y desde la base, de donde cambia de color blanco a color verde hasta la última ligula desarrollada). La baja incidencia de enfermedades e insectos no requirieron de la aplicación de funguicidas e insecticidas para su control.

La información climática fue obtenida de la estación meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, distante 150-200 m del lugar del trabajo.

Medidas y observación del cultivo

Los estados de crecimiento fueron descritos de acuerdo con el código decimal propuesto por Zadoks *et al.* (1974). Emergencia, fue registrada cuando se observó la primer hoja fuera del coleoptile (estado 10; Zadoks *et al.*, 1974), anthesis, cuando el 50% de los tallos presentaron panojas con anteras visibles en el tercio superior (estado 62; Zadocks et al 1974). En este momento se marcaron con adhesivo vinílico rojo, 110 panojas por bloque (con similar estado de desarrollo). A partir de los 7 días de anthesis y cada tres días, a las 12 h, se cortaron 5 panojas por repetición a las cuales se las colocó en bolsas de plástico. Con posterioridad y en un plazo de 1 hora fueron procesadas. En el laboratorio se les cortó la punta y la base, dejando la parte central que fue trillada a mano. Sobre estas semillas, de la parte central, se tomaron 20 al azar, las cuales fueron pesadas para obtener peso fresco, luego fueron llevadas a estufa regulada a una temperatura de 75°C ± 2 °C durante cinco días y pesadas con balanza analítica (0,01 mg de precisión) para obtener peso seco. Con

estas dos medidas se determinó, en cada muestreo: (a) El peso seco del grano expresado en mg grano⁻¹; (b) El contenido hídrico relativo del grano sobre base húmeda

$$(\%) = (\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}) * 100 / \text{Peso Fresco}$$

Madurez fisiológica (estado 95; Zadocks *et al.*, 1974) fue estimada ajustando los datos con un modelo bilineal utilizando el programa Graphpad Prism 5.0.0. 288, en donde el llenado de granos fue descrito por las ecuaciones (1,2)

$$\text{PSG} = a + b \cdot D \text{ para } D < c \quad (1)$$

$$\text{PSG} = a + b \cdot c \text{ para } D > c \quad (2)$$

Donde PSG es el peso del grano, D: es el número de días desde anthesis; a: es el intercepto en el eje y (mg), b: la pendiente (mg día⁻¹), c: es el punto de quiebre entre las dos líneas rectas representando la duración (días) del período de llenado de granos. A partir del incremento lineal de la materia seca en los granos se ajustó un modelo bilineal, para cada época de siembra y repetición, en cada uno de los tres años. El ajuste de los valores de r² osciló entre 0,90 y 0,98. Luego, mediante ANOVA y el test LSD, se comparó el peso seco de los granos, la tasa de crecimiento de los granos, la duración de período de llenado de granos y el porcentaje de humedad con que llegaron a madurez fisiológica. Con los modelos bilineales que describen el llenado de granos, a través del tiempo, se estimó la fase lag, considerando su duración como la proyección de la recta de incremento del peso seco de los granos sobre el eje "x", cuando "y"=0.

Para analizar la relación entre el peso seco del grano y el contenido de humedad de los mismos expresado en % se utilizaron las siguientes ecuaciones (3 y 4).

$$\text{PSFG} = a + bx \quad \text{si } (x \leq k) \quad (3)$$

$$\text{PSFG} = a + bx + bk \quad \text{si } (x > k) \quad (4)$$

Donde a: es el intercepto (mg), b: es la tasa de acumulación de materia seca del grano por unidad de disminución del porcentaje de humedad (mg /%), k: es el porcentaje de

humedad del grano en madurez fisiológica (%), x : es la humedad del grano (%).

Para desarrollar el modelo que permitiera estimar el grado de llenado de los granos en función del contenido de humedad, expresado en %, (Calderini *et al.*, 2000) se utilizó el peso seco relativo calculado como:

$$\text{PSRG (\%)} (i) = (\text{PSG} (i) / \text{PSFG}) / 100$$

En donde PSRG: es el peso seco relativo del grano en el momento i expresado como un porcentaje del peso final del grano en madurez; PSG: es el peso seco del grano (mg) en el momento i , PSFG: es el peso seco final del grano estimado con el ajuste bilineal (Graphpad Prism 5.0.0. 288).

Todas las variables bajo estudio, dentro de cada año, fueron analizadas con ANOVA utili-

zando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2008). Cuando se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$), se utilizó el test de diferencias mínimas significativas (LSD) para su comparación.

RESULTADOS

Condiciones climáticas

En este estudio, conducido en Balcarce, durante los años 2008, 2010 y 2014, se registraron temperaturas promedios durante la etapa de llenado de granos que oscilaron entre los 16,4°C y los 19,8°C. Los menores valores se registraron en el año 2010 y fueron mayores pero, con poca diferencia entre ellos (0,1°C), en los años 2008 y 2014 (Cuadros 1

Cuadro 1: Temperatura máxima y mínima, radiación solar y lluvias, promedios cada 10 días, para los meses de noviembre y diciembre de los años 2008, 2010 y 2014.

Año	Meses	Días	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Radiación solar	Lluvias
			°C		Mj m ²	mm
2008	Noviembre	1-10	11,4	26,0	20,4	33,8
		11-20	10,4	25,5	23,1	8,5
		21-30	16,4	28,1	20,7	11,1
	Diciembre	1-10	12,7	25,6	23,1	13,0
		11-20	15,2	29,6	22,2	6,5
		21-31	12,2	28,4	24,3	11,1
2010	Noviembre	1-10	8,7	26,3	16,0	87,5
		11-20	10,5	23,6	22,1	8,3
		21-30	9,9	24,3	22,6	20,0
	Diciembre	1-10	11,2	26,9	24,3	29,2
		11-20	12,4	25,6	25,9	2,6
		21-31	15,5	32,9	24,8	1,5
2014	Noviembre	1-10	8,5	21,5	18,8	60,5
		11-20	11,5	26,7	23,1	34,9
		21-30	12,4	25,0	19,6	14,1
	Diciembre	1-10	12,9	28,6	24,3	26,5
		11-20	13,0	27,9	23,4	17,0
		21-31	14,3	29,1	22,0	25,5

Cuadro 2: Información fenológica de: Fechas de: siembra, emergencia, antesis, madurez fisiológica (M.F) y temperatura promedio durante el período de llenado de granos para la Población Argentina de alpiste sembrada en distintos épocas de siembra en los años 2008, 2010 y 2014.

Año	Época de siembra	Fechas de:				Temperatura Promedio
		Siembra	Emergencia	Antesis	M.F	°C
2008	30 junio	3-06	28-06	4-11	2-12	19,7
	1 julio	1-07	25-07	5-11	4-12	19,4
	8 agosto	8-08	30-08	8-11	7-12	19,7
2010	14 mayo	14-05	25-05	29-10	1-12	16,4
	8 junio	8-06	28-06	3-11	9-12	16,9
	30 julio	30-07	23-08	8-11	13-12	17,1
2014	30 julio	30-07	14-08	10-11	12-12	19,2
	20 agosto	20-08	1-09	14-11	18-12	19,8

Cuadro 3: Parámetros del modelo bilineal que ajusta la relación entre el peso del grano (mg) y la duración del período de llenado (días). Duración de la fase lag (valor de x cuando y=0); tasa de crecimiento (pendiente), duración del período de llenado, peso del grano y coeficiente de determinación (r^2) para la Población Argentina de alpiste sembrada en distintas fechas de siembra en los años 2008, 2010 y 2014.

Año	Fechas de siembra	Duración fase lag	Tasa de crecimiento	Duración llenado	Peso del grano	r^2
		Días	mg/día	días	mg	
2008	30 junio	7 a	0,298 a	28 a	6,3 a	0,98
	1 julio	6 a	0,294 a	29 a	6,8 a	0,97
	8 agosto	10 b	0,300 a	29 a	6,6 a	0,95
Isd		2,5	0,006	2	0,6	
2010	14 mayo	7 a	0,263 a	32 a	6,7 a	0,97
	8 junio	9 a	0,244 a	36 b	6,7 a	0,98
	30 julio	8 a	0,268 a	35 a	7,3 a	0,97
Isd		2,0	0,025	3	0,7	
2014	30 julio	5 a	0,231 a	32 a	6,5 a	0,95
	20 agosto	6 a	0,224 a	34 a	6,6 a	0,96
Isd		2,1	0,01	2	0,5	

*En cada columna y dentro del mismo año los valores promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente ($P < 0,05$).
Isd: Diferencias mínimas significativas

y 2). Dentro de cada uno de los años, las temperaturas promedios del periodo de llenado de granos, para cada época de siembra, fueron similares, dada la escasa diferencia en la duración de las etapas.

Dinámica del peso seco del grano a lo largo del período de llenado

Se puede observar que, dentro del rango de fechas de siembra analizadas, la antesis, en los

distintos años, tuvo lugar con muy poca diferencia en días (Cuadro 2). El peso de los granos, a cosecha, no presentó variaciones significativas, entre fechas de siembra, dentro de cada año y osciló en un estrecho rango comprendido entre los 6,3 y 7,3 mg grano⁻¹, con un promedio para los tres años de 6,7 mg grano⁻¹ (Cuadro 2).

Con respecto al periodo de llenado de granos (Figura 1 y Cuadro 3) se observa que la

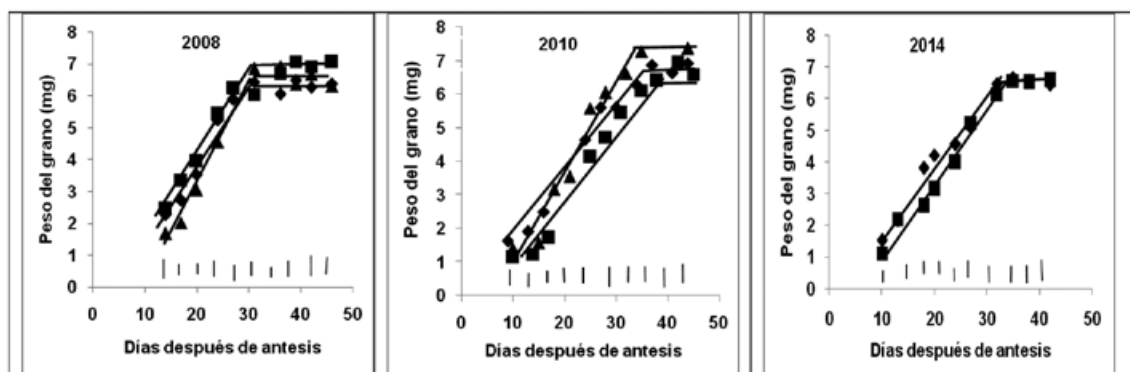


Figura 1. Relación entre el peso seco de los granos y los días después de antesis en los años 2008, 2010 y 2014. Epoca 1 (●), Epoca 2 (■), Epoca 3 (▲) en los años 2008 y 2010 y Epoca 1 (●) y Epoca 2 (■) en el año 2014. Las barras verticales indican el error estándar para cada uno de los muestreos.

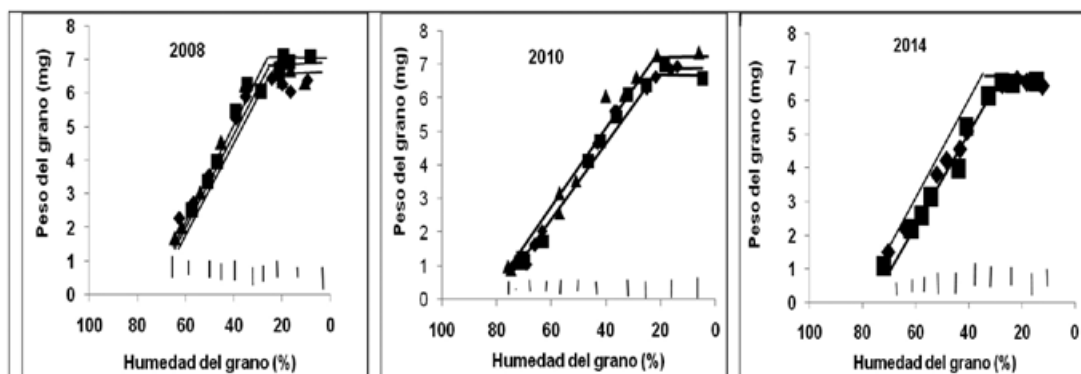


Figura 2. Relación entre el peso seco de los granos y el contenido de humedad de los granos (%) en los años 2008, 2010 y 2014. Epoca 1 (●), Epoca 2 (■), Epoca 3 (▲) en los años 2008 y 2010 y Epoca 1 (●) y Epoca 2 (■) en el año 2014. Las barras verticales indican el error estándar para cada uno de los muestreos.

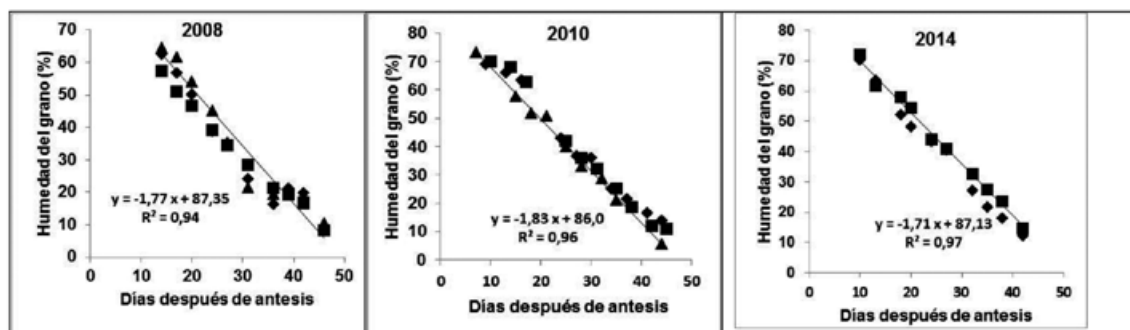


Figura 3. Relación entre el contenido de humedad en los granos (%) y los días después de antesis en los años 2008, 2010 y 2014. Epoca 1 (●), Epoca 2 (■), Epoca 3 (▲) en los años 2008 y 2010 y Epoca 1 (●) y Epoca 2 (■) en el año 2014.

duración de la fase lag, osciló entre los 5 y 10 días, según los años, mientras que la duración del período, hasta madurez fisiológica, osciló entre los 28 y 36 días para los 3 años. La tasa de acumulación de materia seca, no registró variaciones para las épocas de siembra, dentro de cada año y se relacionó inversamente con la duración del período de llenado (Cuadro 3).

Dinámica del peso del grano en función de su contenido de humedad

Cuando se relacionó la evolución del peso seco del grano con el contenido de humedad, expresada en porcentaje (Figura 2 y Cuadro 4), se observó que, dentro de cada año, las diferentes épocas de siembra, presentaron similares tasas de incremento en el peso del grano, asociadas con la disminución del porcentaje de humedad, con valores que oscilaron entre 0,154 mg / % (año 2008); 0,152 mg / % (año 2010) y 0,123 mg / % (año 2014). El ajuste bilineal de estos datos muestra que la madurez fisiológica se alcanzó con porcentajes de humedad, de los granos, variables según los años 31,5 %, 24 % y 29,0 % en 2008, 2010 y 2014 respectivamente (promedio de las épocas de siembra de cada año).

En la figura 3 se presenta, la evolución del contenido de humedad de los granos, con posterioridad a antesis (comienzo del llenado de granos) y hasta madurez de cosecha. La tasa de descenso diario sin diferencias significativas $P < 0,05$ entre épocas dentro de cada año alcanzó, en promedio, 1,60% día-1 para el año 2008; 1,82 % día-1 para el año 2010 y 1,71 % día-1 para el año 2014 (promedio, de los tres años, 1,66% día-1). Con estas tasas de descenso diario de la humedad de los granos, las diferencias indicadas en el párrafo anterior, en cuanto a los valores de humedad de granos, con los que se alcanzó la madurez fisiológica, se traducirían en diferencias de solo 4,5 días (7,5% es la diferencia de humedad entre el mayor y menor valor de humedad, que con una tasa

de pérdida de humedad diaria, promedio, de 1,66% día-1 arroja un valor de 4,5 días, 7,5% /1,66%).

Con la información disponible y siguiendo la idea de Calderini *et al.* (2000) se trató de desarrollar un modelo que permitiera estimar, el grado de llenado del grano, independientemente del peso seco final de los mismos en base al % de humedad; para ello se consideró en cada situación (época de siembra y año) el peso relativo del grano (peso del grano en cada muestreo expresado como un porcentaje del peso final) y se relacionó con el contenido de humedad de los mismos expresado en porcentaje (Figura 4). La línea vertical indica la pérdida de humedad con posterioridad a MF, en este caso se corresponde con un porcentaje de humedad del 28,2 %.

Basados en la ecuación de la Figura 4 el modelo propuesto para calcular la materia seca acumulada en los granos, en cualquier momento, conociendo su porcentaje de humedad es:

$$\text{Peso seco relativo del grano}(i) = (\text{Humedad de los granos } (i) (\%) - 81,25) / -0,526$$

Siendo (i) el momento en que se hace la estimación.

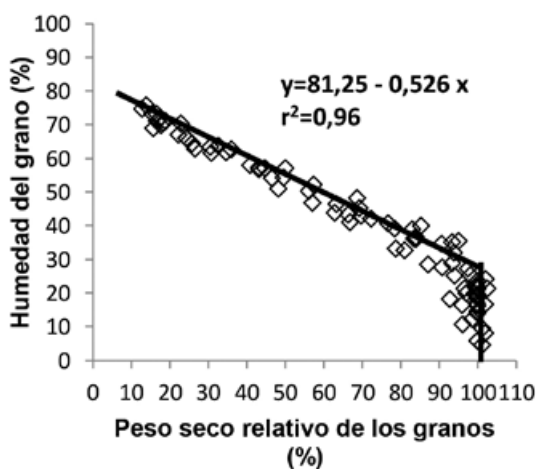


Figura 4. Relación entre humedad del grano (%) y el peso seco relativo de los granos (%) con datos de los años 2008,2010 y 2014 y todas la época de siembra.

Cuadro 4: Parámetros del modelo bilineal que ajusta la relación entre el peso del grano (mg) y la humedad del grano (%); tasa de crecimiento (mg / %, pendiente), humedad del grano cuando alcanza el máximo peso y coeficiente de determinación (r^2); para la Población Argentina de alpiste sembrada en distintas fechas de siembra en los años 2008, 2010 y 2014.

Año	Fecha de siembra	Tasa de crecimiento	Humedad del grano (%) cuando se alcanza el máximo peso seco	r^2
		mg / %	%	
2008	30 junio	0,135 a	31,0 a	0,98
	1 julio	0,169 a	31,2 a	0,97
	8 agosto	0,157 a	32,4 a	0,95
lsd		0,035	1,5	
2010	14 mayo	0,122 a	24,3 a	0,97
	8 junio	0,123 a	24,5 a	0,96
	30 julio	0,125 a	23,3 a	0,95
lsd		0,005	1,3	
2014	30 julio	0,129 a	29,3 a	0,96
	20 agosto	0,128 a	28,1 a	0,95
lsd		0,004	1,2	

*En cada columna y dentro del mismo año los valores promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente ($P < 0,05$).

lsd: Diferencias mínimas significativas

DISCUSION

Los resultados de este trabajo, con pesos de granos normales para la Población Argentina (6,3 a 7,3 mg) (Bodega *et al.*, 1995), indican que el grano de alpiste alcanza su madurez fisiológica entre los 28 y 36 días posteriores al comienzo de anthesis, con un porcentaje de humedad variable entre 24% y 31,5 %. También se observó que durante la mayor parte del período de llenado, hubo una relación lineal entre el porcentaje de humedad de los granos y la materia seca de los mismos. En alpiste esta relación lineal se mantuvo desde, valores de humedad del 81% hasta 28%, no muy distintos a los mencionados por Calderini *et al.* (2000) para trigo (75% a 37%).

Dentro del rango de fechas de siembra analizados (14/05 al 20/08 = 106 días) la anthesis tuvo lugar entre el 29/10 y el 14/11 (16 días), esta sincronización del desarrollo consecuencia de la respuesta fotoperiódica del cultivo (Campolietto *et al.*, 2006; Bodega *et al.*, 2003) permitió que el llenado de granos, en las diferentes épocas de siembra, dentro

de cada año, ocurriera con condiciones ambientales no muy diferentes.

En este contexto, cuando los muestreos periódicos de materia seca de los granos, fueron ajustados por un modelo bilineal, se observó que el periodo de llenado de granos se extendía entre los 28 y 36 días (promedio de 32 días) a partir del comienzo de anthesis. Estos valores resultan ser sensiblemente menores a los registrados en el cultivo de trigo de 40- 45 días (Calderini *et al.*, 2000); 35-39 días (Muisse, 2011), y similares a las mencionados para cebada 27-36 días (Andersen, 2013) y 30 y 33 días para cebada y trigo (Alvarez Prado, 2013).

Cuando la duración de esta etapa se expresó en sumas térmicas (Temperatura base = 0°C), se obtuvieron valores comprendidos entre los 577 °Cd y los 630 °Cd, que representaron entre el 29% y 33% de la suma térmica total del ciclo (emergencia a madurez fisiológica; datos no publicados). Fraschina *et al.* (1997), trabajando con distintas variedades de trigo, mostraron variaciones en la du-

ración del período de llenado comprendidas entre 484 y 767 °Cd; Muise (2011), evaluando 4 variedades de trigo Baguette, menciona valores de 645 a 724 °Cd; Andersen (2013) para cebada obtuvo valores más cercanos al alpiste (477 a 605 °Cd).

La relación entre el porcentaje de humedad de los granos y la acumulación de materia seca muestra que la madurez fisiológica se alcanzó con porcentajes de humedad de los granos variables, según los años, 31,5 %, 24% y 29% en 2008, 2010 y 2014 respectivamente (promedio de las épocas de siembra de cada año). Estas diferencias registradas entre los años (7,5%) puede haber surgido por la frecuencia de los muestreos (cada 3-4 días); con una frecuencia mayor de muestreos, probablemente, tales diferencias, puedan ser menores. Hay que tener en cuenta que en los momentos cercanos a la madurez fisiológica la tasa de acumulación de materia seca, en los granos, se va haciendo cada vez menor mientras que la pérdida de humedad, de los granos, continua con una tasa mayor y constante. En base a nuestros resultados, esta diferencia de humedad (7,5%) se traduciría en 4,5 días, con una tasa de pérdida de humedad promedio de 1,66% día⁻¹.

Los valores de humedad con los que el alpiste alcanza la MF son sensiblemente menores a los registrados para otros cultivos, de similar época de siembra y cosecha, como son trigo 36-46% (Calderini *et al.*, 2000); 42,6-47,8% (Muise, 2011), cebada: 38-49% (Andersen, 2013), avena 36-43%, (Lee *et al.*, 1979).

La construcción, para alpiste, del modelo de regresión propuesto por Calderini *et al.* (2000) en trigo, permite estimar la acumulación relativa de materia seca, en los granos, sobre la base del porcentaje de humedad de los mismos, en cualquier momento del período de llenado. Se logró un buen ajuste, con los datos de todos los años y épocas de siembra. Con este método, la madurez fisiológica de los granos, se alcanzó con un valor de humedad del 28,2± 4 %. El modelo de regresión

mencionado aunque presenta diferencias con el publicado por Calderini *et al.* (2000) para trigo, en donde los granos alcanzan antes la MF, con un contenido de humedad del 37%, puede resultar de utilidad, una vez que sea validado, ya que permite, utilizado en forma inversa, predecir el peso final del grano considerando el porcentaje de humedad del grano y la proporción del peso correspondiente a ese día respecto al momento de madurez. Se presenta la ecuación A para el cultivo de alpiste y la propuesta para trigo (B) por Calderini *et al.* (2000).

$$\text{PSRG}(\%) = (\text{humedad grano alpiste}(\%) - 81,25) / -0,526$$

$$\text{PSRG}(\%) = (\text{humedad grano trigo}(\%) - 77,5) / -0,405$$

Si bien, como se mencionó, este modelo debiera ser validado en futuros trabajos, consideramos que dada la desuniformidad, en el comienzo de antesis, entre panojas de un mismo cultivo, sería interesante cuantificar la relevancia de estas diferencias en el comienzo de antesis, con los valores aquí obtenidos, como así también, analizar las diferencias en el llenado de granos, entre los granos del tercio medio y el inferior considerando que la floración de la panoja comienza en la parte superior y progresa hacia la base de la misma, completándose en un plazo de 5 días, aproximadamente (Bodega. Comunicación personal). Bodega *et al.* (2008) mencionan que en un intervalo de 14 días se produce el comienzo de antesis en el 80% de las panojas del cultivo. Probablemente estas diferencias, en el comienzo de floración entre las panojas del cultivo, no sean muy importantes, desde el punto de vista práctico, teniendo en cuenta lo afirmado por Serrano y Maddaloni (1964); Pereyra y Farizo (1979), Forján (1986), quienes recomiendan hilerar el cultivo cuando la mitad superior de las panojas se tornan de color amarillento (50% aproximadamente) y cuatro o cinco días después, si no llueve, recolectar con trilladora provista de recolector, en estos momentos los granos tienen alrededor del 28% de humedad (Bodega. Comunicación personal).

BIBLIOGRAFÍA

- Abeledo, L.G.; B.C. Kruk; R. Savin. 2010. Madurez y cosecha de los cultivos. En: Satorre, H.E.; R.L. Benech Arnold; G.A. Slafer; E.B. de la Fuente; D.J. Miralles; M.E. Otegui; R. Savin. (eds.) Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, Argentina. pp. 715-738.
- Ahmed, K.; K.J. Hasan; J. Herrera; C. Lizana; D.F. Calderini. 2011. Cernel weight, grain length and stabilized grain water content are physiological drivers of grain weight determination of wheat. *Field Crop Res.* 123,241-247.
- Álvarez Prado, S.; J.M. Gallardo; R.A. Serrago; B. Kruk; D.J. Miralles. 2013. Comparative behavior of wheat and barley associated with field and grain weight determination. *Field Crop Res.* 144: 28-33.
- Andersen, A. 2013. Crecimiento de grano en variedades comerciales de cebada cervecera en diferentes fechas de siembra. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 45p.
- Anderson, W.K. 1975. Maturation of sunflower. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 15 (1975), pp. 833-838
- Bernicasa, P.; L. Reale; E. Tedeschini; F. Ferrari; M. Cerrí; S. Ghitarrini; B. Falcinelli; F. Frenguelli; B. Ferranti; E. Ayaña; O. Porfiri; A. Rosati. 2017. The relationship between grain and ovary size in wheat: An analysis of contrasting grain weight cultivars under different growing conditions. *Field Crop Research.* 210: 175-182.
- Bolsa de Comercio de Rosario. 2017. Normas de comercialización [en línea] <https://www.bcr.com.ar/Pages/Laboratorios/normas.aspx> [consulta: 5 de octubre 2017].
- Bodega, J.L.; M.A. De Dios; R. Rodríguez; M.M. Pereyra Iraola. 1995. Caracterización agronómica de poblaciones de Alpiste (*Phalaris canariensis* L.). *Revista Facultad de Agronomía Buenos Aires.* 15 (2-3): 161-170.
- Bodega, J.L.; M.A. De Dios; M.M. Pereyra Iraola. 2003. Sowing date affects yield components of canarygrass seed. *Can. J. Plant. Sc.* 83: 357-362.
- Bodega, J.L.; M.A. De Dios; M.M. Pereyra Iraola. 2008. Distribución diaria de la antesis en una población y un cultivar de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 1-4.
- Borrás, L.; M.E. Westgate; M.E. Otegui. 2003. Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Annals of Botany* 91 (7): 857-867.
- Bray, R.H.; K.L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Browne, C.L. 1978. Identification of physiological maturity in sunflowers (*Helianthus annuus*). *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 18 (1978), pp. 282-286
- Calderini, D.F.; L.G. Abeledo; G.A. Slafer. 2000. Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agron. J.* 92: 895-901.
- Calviño, P.A.; M. Redolatti. 1998. Anticipo de la cosecha de trigo con aplicaciones de herbicidas. Congreso Nacional de Trigo. 4º, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. P.3-13.
- Campolieto, L.M. 2006. Efectos de la época de siembra sobre los estados de desarrollo del cultivo de alpiste. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 72 p.
- Canaryseed Development Commission of Saskatchewan. 2017. About canaryseed. [en línea] <<http://www.canaryseed.ca/about.html>> [consulta: 9 de mayo 2017].
- Castillo, F.M.; S.C. Vazquez; D. Calderini. 2017. Does the pre-flowering period determine the potential grain weight of sunflower?. *Field Crops Res.*, 212, 23-33.
- Díaz, M.R. 2016. Caracterización del período de llenado de granos en cultivares canadienses y la población argentina de Alpiste ante modificaciones de la época de siembra. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina 37p .
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada; C.W. Robledo. 2008. InfoStat. Versión 2008. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Egli, D.B.; D.M. Tekrony. 1997. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. *Seed Sci. Res.* 7: 3-11.
- Egli, D.B. 1998. Seed Growth and Development. *Seed Biology and the Yield of Grain Crops.* CAB Intl., NY (1998) p. 178.

- Forjan, H.J. 1986. Alpiste. Situación del cultivo y su manejo. INTA. Chacra experimental Barrow, Tres Arroyos, Argentina. Hoja de divulgación N° 54: 1-4.
- Fraschina, J.; M.B. Formica; B. Masiero. 1997. Caracterización del Crecimiento de Grano de Trigo. INTA Marcos Juárez, Córdoba. [en línea] <<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210947.pdf>> [consulta: 9 de mayo 2015].
- Graphpad Software, INC. GraphPad Prism V. 6.01. 2012.
- Gesch, R.W., Johnson, B.L..2012. Seed moisture at physiological maturity in oilseed and confectionary sunflower hybrids in the northern. U.S. Field Crops Research, Volume 133, 11 1-9
- Lee, H.J.; G.W. Mckee; D.D. Knievel. 1979. Determination of physiological maturity in oat. *Agron J.* 71: 931-935.
- Miravalles, M.T.; L.M. Gallez; F.W. Mockel. 2002. Alpiste: revisión de la situación del cultivo. *Rev. Fac. Agron. Bs. As.* 22 (1): 7-17.
- Muise, S.R. 2011. Determinación de la madurez fisiológica de diferentes variedades comerciales de trigo pan (*triticum aestivum*). Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 47p.
- Pereyra, V.R. y C. Farizo. 1979. Alpiste: Producción en el sudeste de Buenos Aires. INTA Balcarce, Producción Vegetal. Información para Extensión N° 126.
- Putnam, D.H.; P.R. Miller; P. Hucl. 1996. Potential for production and utilization of annual canarygrass. *Cereal Food World*, 41(2):75.83.
- Rondanini, D.P; R. Savin; A.J. Hall. 2007. Estimation of physiological maturity in sunflower as a function of fruit water concentration. *Eur. J. Agron.*, 26 (2007), pp. 295-309
- Sala, R.G.; F.H. Andrade; M.E. Westgate. 2007. Maize kernel moisture at physiological maturity as affected by the source-sink relationship during grain filling. *Crop Science*, vol. 47. 711-718.
- Schnyder, H.; U. Baum. 1992. Growth of the grain of wheat (*Triticum aestivum* L.) The relationship between water content and dry matter accumulation. *Eur. J. Agron.* 1, 51-57.
- Serrano, H.; J. Maddaloni. 1964. Cereales menores, Alpiste. En: Parodi, L.R. (eds.) Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería vol. II. Bs. As., Argentina. pp. 609-614.
- Soler, T. 2013. Anticipo de la cosecha de alpiste (*Phalaris canariensis* L.) con corte, aplicación de paraquat o glifosato. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 23 p.
- Zadoks, J.C.; T.T. Chang; C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zarate, J. W. 2010. Crecimiento del grano e indicadores de madurez en alpiste, sembrado en distintos momentos. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Mar del Pata. Balcarce, Argentina. 42 p.