



DETERMINACIÓN DEL PESO POR GRANO EN MAÍCES DE SIEMBRA TARDÍA

Autores:

Canal, Germán

Demaría, Agustina

Tutor:

Dr. M. Sc. Ing. Agr. Cantarero, Marcelo

ÁREA DE CONSOLIDACIÓN

SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS EXTENSIVOS

AÑO 2018

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN -----	5
INTRODUCCIÓN-----	6
HIPÓTESIS -----	13
OBJETIVO GENERAL-----	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	13
MATERIALES Y MÉTODOS -----	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	18
CONCLUSIÓN -----	26
BIBLIOGRAFÍA -----	27

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Evolución del rendimiento del cultivo de maíz a través de los años. Marcadores negros muestran registros desde el 1969 hasta el 200, marcadores blancos muestran los rendimientos para los últimos 17 años (2000/17) para la provincia de Córdoba. ----- 7
- Figura 2.** Representación esquemática del ciclo ontogénico del maíz. Las flechas indican momentos de generación de área foliar, determinación del número de granos por superficie (periodo crítico) y del peso por grano. Adaptado de Satorre et al, 2003 ----- 9
- Figura 3.** Esquema de la evolución del peso del grano durante el período de llenado según un modelo sigmoideo-----12
- Figura 4.** Modelo esquemático que muestra las variables evaluadas de acuerdo con el modelo lineal "plateau"-----17
- Figura 5.** Condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo. La línea continua muestra la evolución de la radiación global. La línea punteada muestra la evolución de la temperatura. La línea horizontal indica los eventos de siembra (S), emergencia (E), floración (R1) y madurez fisiológica (MF). Datos de R1 y MF son un promedio de los híbridos por densidad.-----20
- Figura 6.** Crecimiento de los granos de los distintos genotipos sembrados en dos densidades. -----23
- Figura 7.** Asociación entre el porcentaje de reducción del PG y el porcentaje de reducción en PELL. Los símbolos identifican el código de cada híbrido (ver Materiales y Métodos). --25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los híbridos.----- 15

Tabla 2. Registros mensuales de radiación global (Rad. Global), temperaturas mínimas (Tmin), máximas (Tmax) y medias (Tmed) y precipitación (PP), desde diciembre 2017 hasta mayo 2018. Entre paréntesis se muestra la media histórica para el período 1959-2011. -- 19

Tabla 3. Rendimiento de los distintos híbridos con sus respectivos componentes numéricos, número de granos por m² (NG) y el peso por grano (PG). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). ----- 21

Tabla 4. Peso máximo del grano (variable medida) de los híbridos y las variables que lo caracterizan. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). ----- 24

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue caracterizar el peso por grano (PG) en diferentes híbridos sembrados en una fecha de siembra tardía (diciembre) en la zona central de la provincia de Córdoba. Se sembraron ocho híbridos comerciales de amplia difusión en la región, y para lograr mayor variación en el PG de cada genotipo, se utilizaron dos densidades de siembra (4,5 y 9,0 plantas m⁻²). El PG de cada híbrido fue caracterizado de acuerdo a la tasa de crecimiento del grano (Tasa) y la duración del período efectivo de llenado (PELL). Se encontraron diferencias significativas en PG entre híbridos, y el mayor PG fue siempre obtenido en baja densidad. La interacción densidad × híbrido no fue estadísticamente significativa para ninguna de las variables evaluadas. Si bien no hubo una alta asociación de PG con la Tasa y con el PELL, en general los híbridos de mayor PG tuvieron mayor Tasa y no hubo diferencias significativas en PELL entre genotipos. El incremento de la densidad redujo significativamente el PELL, producto de menor fuente de asimilados para el crecimiento de los granos. La proporción de reducción en PG, por efecto del incremento en la densidad de siembra, fue de 0,5% por cada 1% de reducción en el PELL. Los resultados de este trabajo pueden ser de utilidad para modelar la respuesta del crecimiento del grano en siembras tardías, y son fuente importante de información para el uso en programas de mejoramiento genético del rendimiento en ambientes como el de la región central de Córdoba.

PALABRAS CLAVES: maíz, siembra tardía, peso por grano, híbridos.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz en Argentina, para la campaña 2017/18, ocupó una superficie de algo más de 9 millones de ha, con un rendimiento promedio de 61 qq ha⁻¹. La provincia de Córdoba es la principal productora de maíz (31% del área sembrada) con un rendimiento promedio de 62 qq ha⁻¹ (Ministerio de Agroindustria, 2018).

Analizando datos de rendimientos históricos para la provincia de Córdoba (Ministerio de Agroindustria, 2018) (Fig. 1), puede observarse que a partir del año 2000 el rendimiento no creció en forma lineal como lo hizo en el período 1969-1999. Este amesetamiento del rendimiento desde el año 2000, puede obedecer a múltiples causas. La adecuada elección del genotipo, la fecha de siembra, la densidad poblacional y el manejo de la nutrición mineral han sido citadas como las principales prácticas que tienen un peso importante en la determinación del rendimiento (Vega *et al.*, 2017).

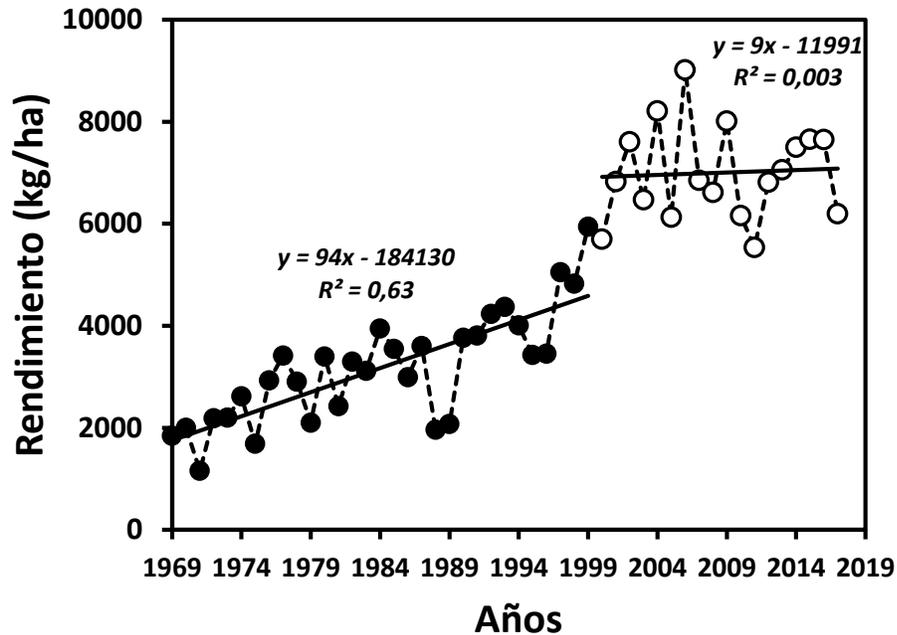


Figura 1. Evolución del rendimiento del cultivo de maíz a través de los años. Marcadores negros muestran registros desde el 1969 hasta el 200, marcadores blancos muestran los rendimientos para los últimos 17 años (2000/17) para la provincia de Córdoba.

Según Uhart *et al.* (2018), las siembras tardías de maíz en Argentina alcanzaron el 60% del área en los últimos años. La estrategia de retrasar la siembra hacia el mes de diciembre ha tenido una gran aceptación entre los productores del centro y norte de Córdoba. Esta práctica permite sembrar en perfiles de suelo con mayor contenido de agua y ubicar tanto el período crítico del cultivo como el llenado de los granos en condiciones de menor demanda hídrica y riesgo de golpes de calor, como los que suelen ocurrir en siembras más tempranas en planteos de secano. No obstante la menor oferta radiativa y térmica durante el período de llenado de los granos pueden reducir la relación fuente/destino y como consecuencia afectar negativamente el peso por grano.

En la actualidad los avances en la mejora genética han logrado obtener

híbridos con un alto potencial de rendimiento que se caracterizan por mayor capacidad de fijar granos por unidad de superficie (Vega *et al.*, 2017).

El rendimiento del cultivo de maíz es el resultado de dos procesos simultáneos e interdependientes: el crecimiento y el desarrollo, siendo el crecimiento el aumento en el número y tamaño de células que constituyen los distintos órganos de la planta; y el desarrollo la sucesión progresiva de etapas que conducen a establecer la morfología de la planta, a medida que avanza el ciclo ontogénico.

Desarrollo y Ciclo Ontogénico

La duración de las distintas fases de desarrollo del cultivo de maíz está condicionada principalmente por dos factores ambientales, el fotoperíodo (Bonhomme *et al.*, 1991; Ellis *et al.*, 1992; Rood y Major, 1980; Tollenaar y Hunter, 1983) y la temperatura (Allison y Daynard, 1979; Brown, 1976; Ellis *et al.*, 1992; Hesketh y Warrington, 1989; Tollenaar *et al.*, 1979; Warrington y Kanemasu, 1983a, 1983b), y por factores genéticos (Bonhomme *et al.*, 1984; Derieux y Bonhomme, 1986; Ellis *et al.*, 1992; Fischer y Palmer, 1984). La respuesta al fotoperíodo (hs de luz) en maíz es de tipo cuantitativa de días cortos (Kiesselbach, 1950; Rood y Major, 1980). Esta respuesta sólo ocurre en los primeros estadios del ciclo del cultivo, no se han demostrado efectos fotoperiódicos en etapas más avanzadas del ciclo. Por su parte la temperatura es la responsable de acelerar o retrasar el desarrollo de las etapas.

Para comprender las bases de determinación del rendimiento, debemos observar cómo se desarrolla el cultivo. La escala fenológica más utilizada para describir el desarrollo del cultivo de maíz es la de Ritchie y Hanway (1982). En la Fig. 2 se presentan las etapas fenológicas por las que atraviesa el cultivo a lo largo del ciclo.

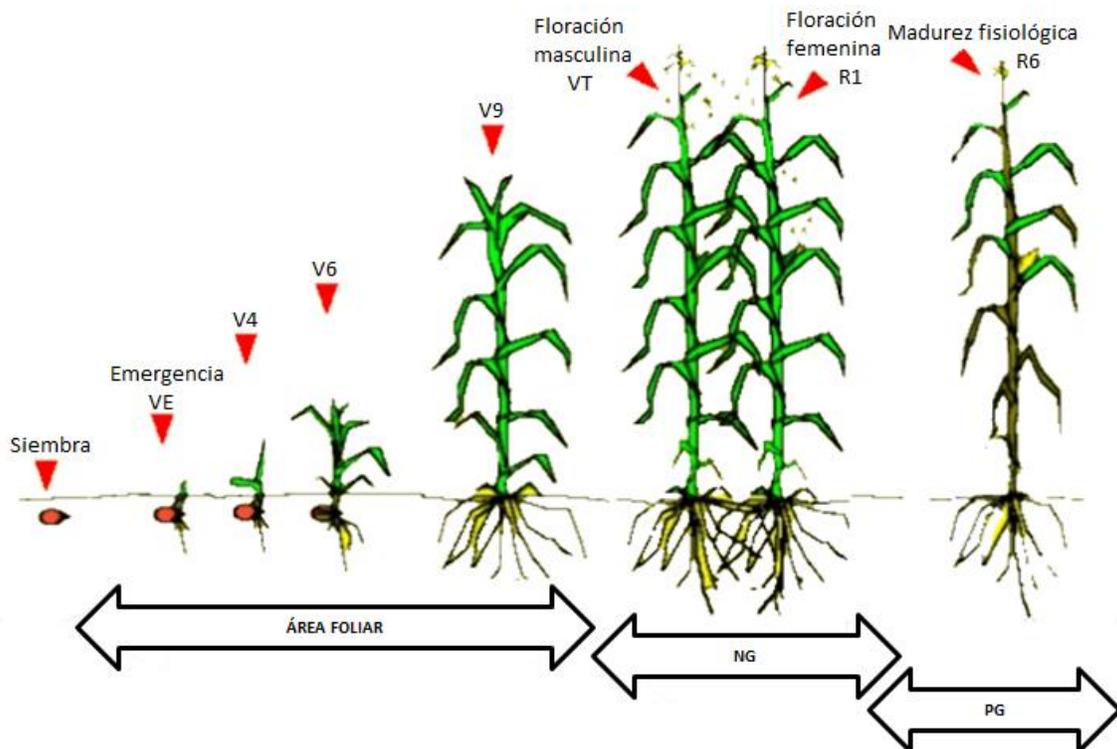


Figura 2. Representación esquemática del ciclo ontogénico del maíz. Las flechas indican momentos de generación de área foliar, determinación del número de granos por superficie (periodo crítico) y del peso por grano. Adaptado de Satorre *et al*, 2003

En maíz la etapa de mayor sensibilidad a factores adversos es aquella donde se determina el número de granos por unidad de superficie (aproximadamente 30 días centrado en la floración femenina, R1). El PG es el último de los componentes numéricos del rendimiento en ser determinado y surge del producto entre la tasa de acumulación de materia seca del grano y la duración de la etapa de llenado

Crecimiento del Cultivo

El crecimiento del cultivo de maíz depende de la radiación incidente, de la capacidad del canopeo de interceptarla y de la eficiencia del cultivo para transformarla en materia seca. El rendimiento queda determinado por la manera con la que el cultivo particiona la biomasa acumulada entre los órganos de cosecha y el resto de la planta.

La acumulación de biomasa por parte del cultivo de maíz y la proporción que destina a órganos de cosecha, son relativamente altos comparados con otros cultivos estivales (Andrade *et al.*, 1996). Esta alta capacidad para producir biomasa está condicionada por factores ambientales y de cultivo. Entre los factores ambientales podemos nombrar a la radiación solar y la temperatura. Estos factores son de gran importancia como determinantes del rendimiento potencial del cultivo. Si bien la radiación solar y la temperatura no son variables controlables, presentan variaciones a lo largo del año, permitiendo a través del manejo de la fecha de siembra hacer coincidir el cultivo con condiciones ambientales favorables para el desarrollo y el crecimiento.

Efecto de la fecha de siembra sobre la determinación del rendimiento

El rendimiento puede ser entendido como el producto entre el número de granos (NG) por unidad de superficie y el peso individual por grano (PG), estos componentes están condicionados por la calidad ambiental durante los periodos en que se determinan (Fig. 2).

La fecha de siembra es una de las variables que determinan la calidad ambiental a la cual estará expuesto el cultivo. Con el atraso de esta, la tasa de crecimiento de estructuras reproductivas y el número de granos puede disminuir (Cirilo y Andrade, 1994; Otegui *et al.*, 1995; María E. Otegui y Melón, 1997; Razquin y Vega, 2008). Sin embargo, la mejora genética de los híbridos modernos ha logrado mayor tolerancia a estrés abiótico produciendo mayor capacidad para fijar granos en fechas de siembras tardías. Comparaciones del número de granos por unidad de superficie en genotipos actuales y de hace dos décadas (Cantarero *et al.*, 2000; Cirilo y Andrade, 1994b) demuestran que el NG fijado por genotipos modernos es mayor para una misma fecha de siembra (Campana, 2013; Bonelli *et al.*, 2016). Algunos trabajos sugieren que el PG de los híbridos actuales podría ser altamente deteriorado ante estreses durante el llenado de granos, dada su gran capacidad de fijar granos y la menor capacidad de su fuente (Cerrudo *et al.*, 2013; Echarte *et al.*, 2006; Olmedo Pico, 2014).

Determinación del peso por grano

En la Fig. 4 puede observarse las tres fases en que se divide el periodo de crecimiento del grano. La fase 1, normalmente denominada fase lag, se caracteriza por un lento crecimiento del grano y porque en ella se determina el número de células endospermáticas y la cantidad de gránulos de almidón. El número de células endospermáticas se relaciona con el peso potencial del grano. En la segunda etapa (fase 2), hay una marcada acumulación de materia seca en el grano alcanzando el 90% de su peso final. Esta etapa es normalmente denominada periodo efectivo de llenado. En la tercera etapa (fase 3), la tasa

de llenado disminuye progresivamente y se alcanza la madurez fisiológica. La etapa se caracteriza por una activa pérdida de humedad del grano.

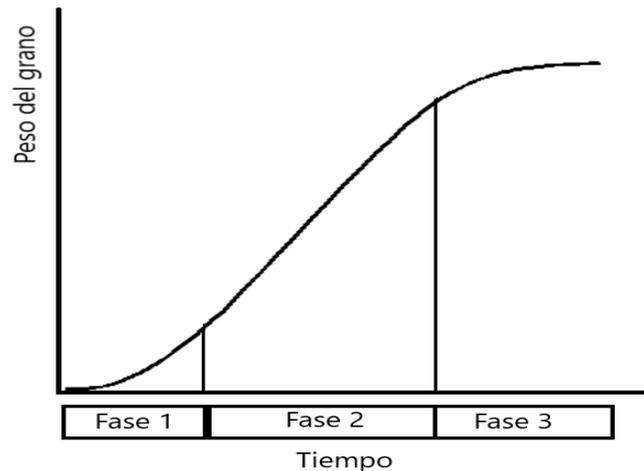


Figura 3. Esquema de la evolución del peso del grano durante el período de llenado según un modelo sigmoideo.

La tasa de crecimiento del grano está en función de la temperatura y, la duración de la etapa de llenado es función de la cantidad de asimilados disponibles para su llenado (Andrade *et al.*, 1996). Por lo tanto, es de esperar que, en fechas de siembra tardías, si la provisión de asimilados por grano disminuye como consecuencia de menor oferta radiativa, se produzca la cesación del crecimiento del grano acortándose la duración de la etapa de llenado (Cirilo y Andrade, 1996) y como consecuencia se alcanza la madurez fisiológica más tempranamente.

Si bien durante la fase lag se determina el tamaño potencial que alcanzan los granos, la tasa con la que crecen durante el período efectivo de llenado y la duración de esta etapa suelen ser las que mayores diferencias muestran, ya sea por factores ambientales como genéticos.

Si bien las causas que limitan aumentos en el rendimiento son varias

(manejo en la densidad, fertilización, genotipo, entre otras) en este trabajo se analiza el peso por grano y las variables que lo caracterizan en diferentes genotipos de amplia difusión en la región central de Córdoba.

HIPÓTESIS

Existen diferencias en el PG entre genotipos de maíz y estas pueden ser caracterizadas a través de la tasa de crecimiento del grano y la duración del período efectivo de llenado.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo fue caracterizar el peso por grano (PG) en diferentes híbridos sembrados en fechas tardías (diciembre) en la zona central de la provincia de Córdoba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la duración de la fase lag, la duración del PELL y la Tasa de crecimiento del grano en ocho genotipos de maíz.
- Establecer la magnitud de las diferencias en el PG entre genotipos de maíz, en relación con la actividad de la fuente durante el período de llenado del grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Área Experimental del Campo Escuela de FCA-UNC (31° 30' S. 64° 00' W; altitud 360 m.), durante la campaña 2017/18. El suelo corresponde a la serie Villa del Rosario, Complejo Indiferenciado Capilla de los Remedios. Es un suelo Haplustol Típico, de capacidad de uso IV, medianamente ácido, escasamente provisto de materia orgánica y con buen drenaje (INTA, 1987). El clima de esta zona corresponde a la región semiárida central de la provincia de Córdoba con una precipitación media anual de 800 mm.

El experimento se sembró el día 26/12/2017. Durante el ciclo del cultivo se realizaron 5 riegos distribuidos en el período desde emergencia a R1 que totalizaron 150 mm. Las malezas, plagas y enfermedades fueron adecuadamente controladas. Cada unidad experimental se fertilizó con 200 kg N ha⁻¹ en el estado de V2-V3. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea, la cual se dosificó entre las líneas de siembra. Inmediatamente después de realizar la fertilización se aplicó una lámina de riego de 20 mm para garantizar su incorporación.

Los registros climáticos durante el ciclo del cultivo fueron tomados de una estación meteorológica ubicada a 100 m del experimento.

Se sembraron 8 híbridos en dos densidades de siembra 4,5 y 9,0 plantas m⁻². En la Tabla 1 se muestran las principales características del material genético utilizada

El diseño experimental fue en bloques completos al azar (DBCA) con 3 repeticiones. Cada unidad experimental fue de 8 surcos de 7 metros de largo

distanciados a 0,52 metros.

Tabla 1. Características de los híbridos.

Código	Nombre	Empresa	Ciclo (días)	Eventos
D1	Dow 507 PW	Dow	123	Resistencia a glifosato y glufosinato de amonio. Tolerancia a plagas lepidópteras.
D2	Next 22.6 PW	Dow	121	Resistencia a glifosato y glufosinato de amonio. Tolerancia a plagas lepidópteras.
P1	P1833VYHR	Pioneer	118	Resistencia a glifosato. Tolerancia a plagas lepidópteras.
P2	P2109YR	Pioneer	121	Resistencia a glifosato. Tolerancia a plagas lepidópteras.
S1	Syngenta 840 Vip3	Syngenta	135	Resistencia a glifosato y glufosinato de amonio. Tolerancia a plagas lepidópteras
S2	Syngenta 860 Vip3	Syngenta	139	Resistencia a glifosato y glufosinato de amonio. Tolerancia a plagas lepidópteras
N1	Nidera 7784 VT3 Pro	Nidera	117	Resistencia a glifosato y glufosinato de amonio. Tolerancia a plagas lepidópteras.
N2	Nidera 7917 VT3 Pro	Nidera	119	Resistencia a glifosato. Tolerancia a plagas lepidópteras.

Determinaciones realizadas

Para analizar la dinámica de acumulación del peso seco del grano en los distintos híbridos, se realizaron extracciones de granos a partir de R1 cada 7 días y hasta alcanzar la madurez fisiológica (R6). El procedimiento consistió en extraer 20 granos provenientes de la parte media de dos espigas por unidad experimental y momento de muestreo. Las muestras de granos se secaron en estufa a una temperatura de 60 °C y se pesaron una vez que alcanzaron peso constante. Los datos de peso por grano de cada unidad experimental se graficaron en función del tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulado desde floración para cada momento de muestreo. La temperatura base utilizada para el cálculo de tiempo térmico fue de 8°C.

Durante el ciclo del cultivo se realizaron dos muestreos de materia seca, el primero se realizó 15 días después de R1 y el segundo luego de la madurez fisiológica. La cantidad de plantas muestreadas en cada momento fue de 5 plantas por unidad experimental en la densidad de 4,5 plantas m^{-2} y de 8 plantas en la densidad de 9,0 plantas m^{-2} . Las muestras fueron secadas en estufa a una temperatura de 60°C hasta peso constante y luego se pesaron.

El rendimiento de cada parcela fue determinado cosechando todas las espigas presentes en una superficie de 2 m^2 por parcela, las espigas fueron trilladas de forma manual y se pesaron los granos trillados. De cada parcela se extrajo una muestra de 200 granos para calcular el peso por grano (PG).

Variables calculadas

Con los datos de peso por grano en función del tiempo térmico a partir de R1 para cada unidad experimental, se ajustó a un modelo no lineal (dos tramos con "plateau"), utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2012). A partir de los parámetros del modelo ajustado se pueden determinar la tasa de crecimiento, la fase Lag, el período efectivo de llenado y el peso máximo del grano (PG_{max}) como se muestra en la Fig. 4.

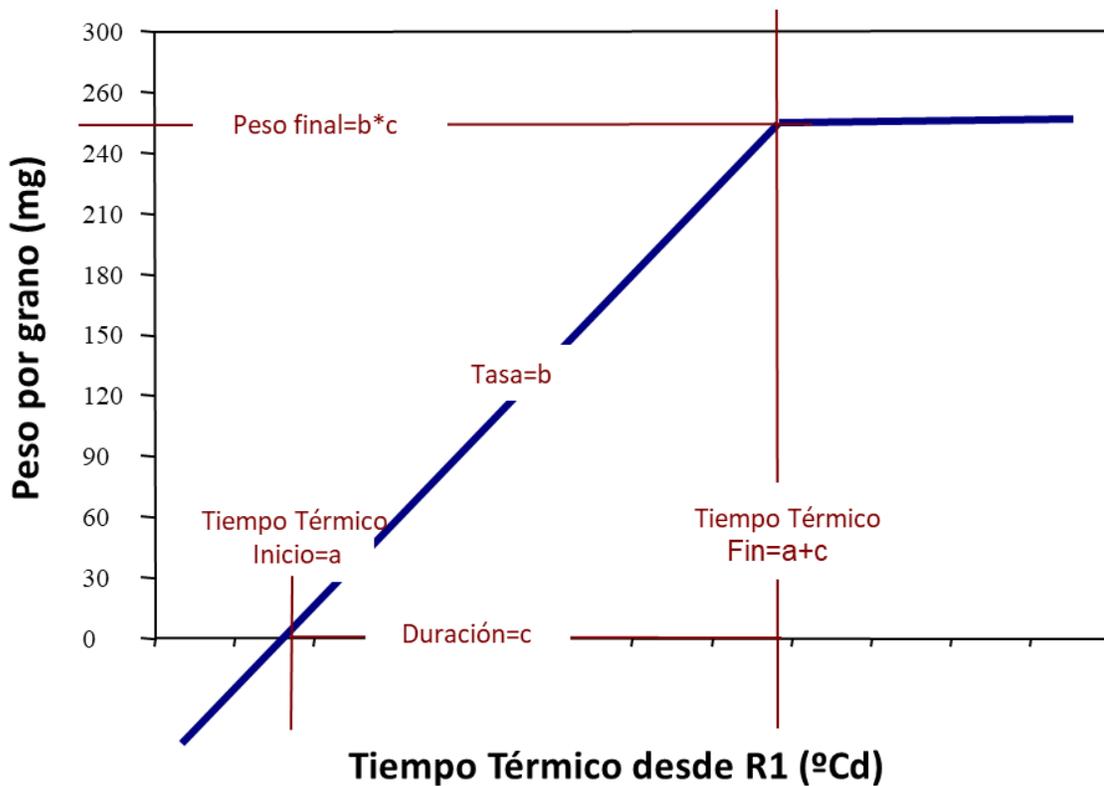


Figura 4. Modelo esquemático que muestra las variables evaluadas de acuerdo con el modelo lineal "plateau".

El número de granos por unidad de superficie se calculó como el cociente entre rendimiento y el PG. La relación fuente destino se calculó como el cociente entre la ganancia de peso seco del cultivo durante el período de llenado (diferencia entre el peso seco total del cultivo en madurez y el peso

seco total del cultivo 15 días después de R1) y el número de granos por unidad de superficie.

Análisis estadístico

Todos los datos fueron analizados mediante ANAVA. Cuando las diferencias entre medias fueron significativas se compararon a través de la prueba DGC ($p < 0,05$), utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2012)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características climáticas durante la estación de crecimiento

En la Tabla 2 se muestran las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento del cultivo. En general los registros mensuales de radiación global y de temperatura fueron normales y similares a los registros históricos. Las precipitaciones estuvieron por debajo de los valores históricos para todos los meses que duró el ciclo del cultivo (Tabla 2). Las precipitaciones desde siembra hasta R1 totalizaron 160 mm las cuales se complementaron con 150 mm de riego. Puede considerarse que el estrés hídrico sufrido por el cultivo hasta floración fue leve siendo mucho más severo desde floración hasta madurez, dada la escasa ocurrencia de lluvias durante este período (Tabla 2).

Si bien los registros de radiación global fueron normales, la Fig. 5 muestra una marcada reducción en los valores a partir de R1. Esta es la característica típica que enfrentan las siembras tardías de maíz durante el llenado de granos.

Tabla 2. Registros mensuales de radiación global (Rad. Global), temperaturas mínimas (Tmin), máximas (Tmax) y medias (Tmed) y precipitación (PP), desde diciembre 2017 hasta mayo 2018. Entre paréntesis se muestra la media histórica para el período 1959-2011.

Meses	Rad. Global (Mj/m²)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	PP (mm)
Diciembre	22,4 (22,6)	18,6(17,4)	33,8 (28,9)	26,2 (23,1)	15 (135)
Enero	20,5 (22,3)	17,1 (18,1)	30,2 (29,3)	23,7 (23,7)	90 (125)
Febrero	20,9 (20,2)	15,9 (16,8)	29,9 (28,2)	22,8 (22,2)	56 (104)
Marzo	16,6 (16,3)	12,6 (15,6)	29,5 (27,7)	21,0 (21,2)	4 (104)
Abril	10,9 (12,9)	15,8 (11,9)	26,7 (24,5)	21,3 (21,3)	18 (58)
Mayo	8,4 (10,2)	10,8 (8,7)	20,5 (20,6)	15,6 (14,7)	10 (22)

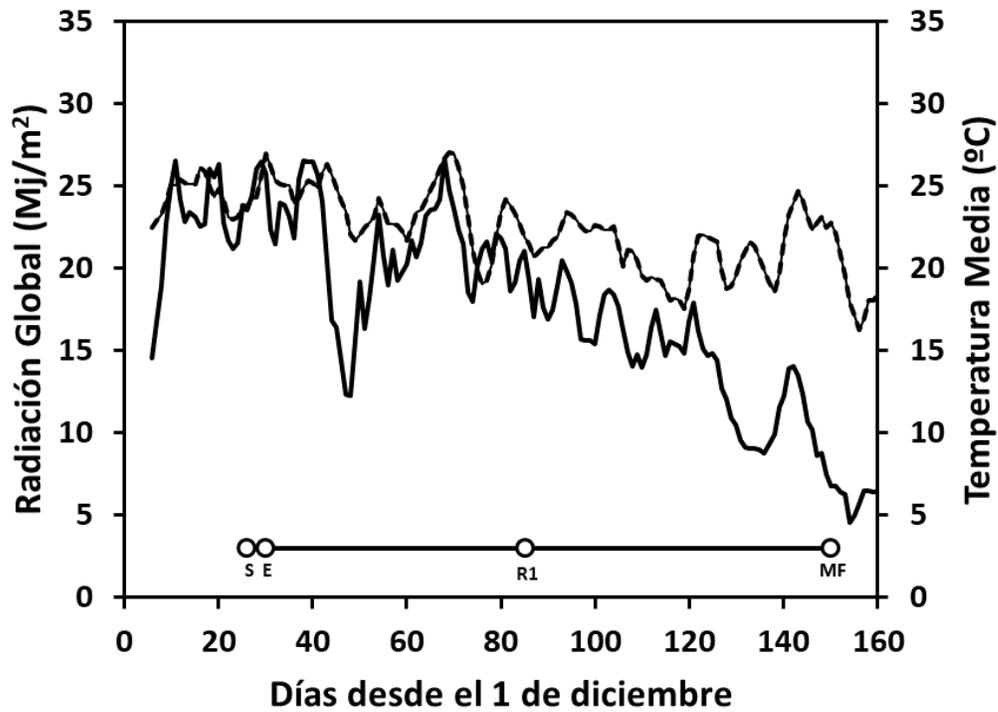


Figura 5. Condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo. La línea continua muestra la evolución de la radiación global. La línea punteada muestra la evolución de la temperatura. La línea horizontal indica los eventos de siembra (S), emergencia (E), floración (R1) y madurez fisiológica (MF). Datos de R1 y MF son un promedio de los híbridos por densidad.

Rendimiento y componentes numéricos

En la Tabla 3 se muestra para los distintos híbridos el rendimiento (RG) y sus componentes, número de granos por m² (NG) y peso por grano (PG).

Tabla 3. Rendimiento de los distintos híbridos con sus respectivos componentes numéricos, número de granos por m² (NG) y el peso por grano (PG). Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05).

Código Híbrido (nombre)	Densidad (pl m⁻²)	RG (g m⁻²)	NG (núm m⁻²)	PG (mg)
D1		857 a	3630 b	237 a
D2		916 a	3895 b	235 a
P1		835 a	3632 b	227 a
P2		865 a	4220 a	206 b
S1		869 a	3822 b	229 a
S2		869 a	3811 b	235 a
N1		847 a	3344 b	253 a
N2		896 a	4285 a	206 b
	4,5	861 a	3334 b	253 a
	9,0	877 a	4325 a	204 b
H×D		ns	ns	ns

Si bien el rendimiento no mostró diferencias significativas entre híbridos, hubo diferencias en como los híbridos conformaron el rendimiento. Los híbridos P2 y N2 en promedio fijaron un 13% más de NG con respecto al promedio del resto de los híbridos (Tabla 3). Por el contrario P2 y N2 fueron los de menor PG (15% menos que el promedio del resto de los híbridos; Tabla 3). En general se encontró una asociación negativa entre el PG y NG ($R^2 = 0,86$; $p < 0,05$; $n = 16$).

Respecto al efecto de la densidad, esta no mostró cambios sobre el rendimiento, pero sí sobre sus componentes numéricos. La alta densidad fijó

un 30% más de NG, pero tuvo un 19% de reducción en PG (Tabla 3). Los datos que se obtuvieron de NG y PG estuvieron dentro del rango observados en otros trabajos en la provincia de Córdoba para siembras tardías (Vega *et al.*, 2017; Cantarero *et al.*, 2000).

Análisis del peso por grano

En la Fig. 6 se muestra para cada híbrido y densidad los modelos ajustados de crecimiento del grano.

En la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos para cada variable, según el modelo no lineal (dos tramos con “*plateau*”) de cada híbrido y densidad. El PG mostró una asociación significativa con el PG_{max} obtenido en el ajuste ($R^2= 0,80$; $p < 0,05$; $n=16$).

En todos los genotipos la densidad acertó la duración del PELL, los híbridos S2, N1 y D2 fueron los que lograron un mayor PG_{max} y estuvieron dentro del grupo de mayor PG mostrados en la Tabla 3.

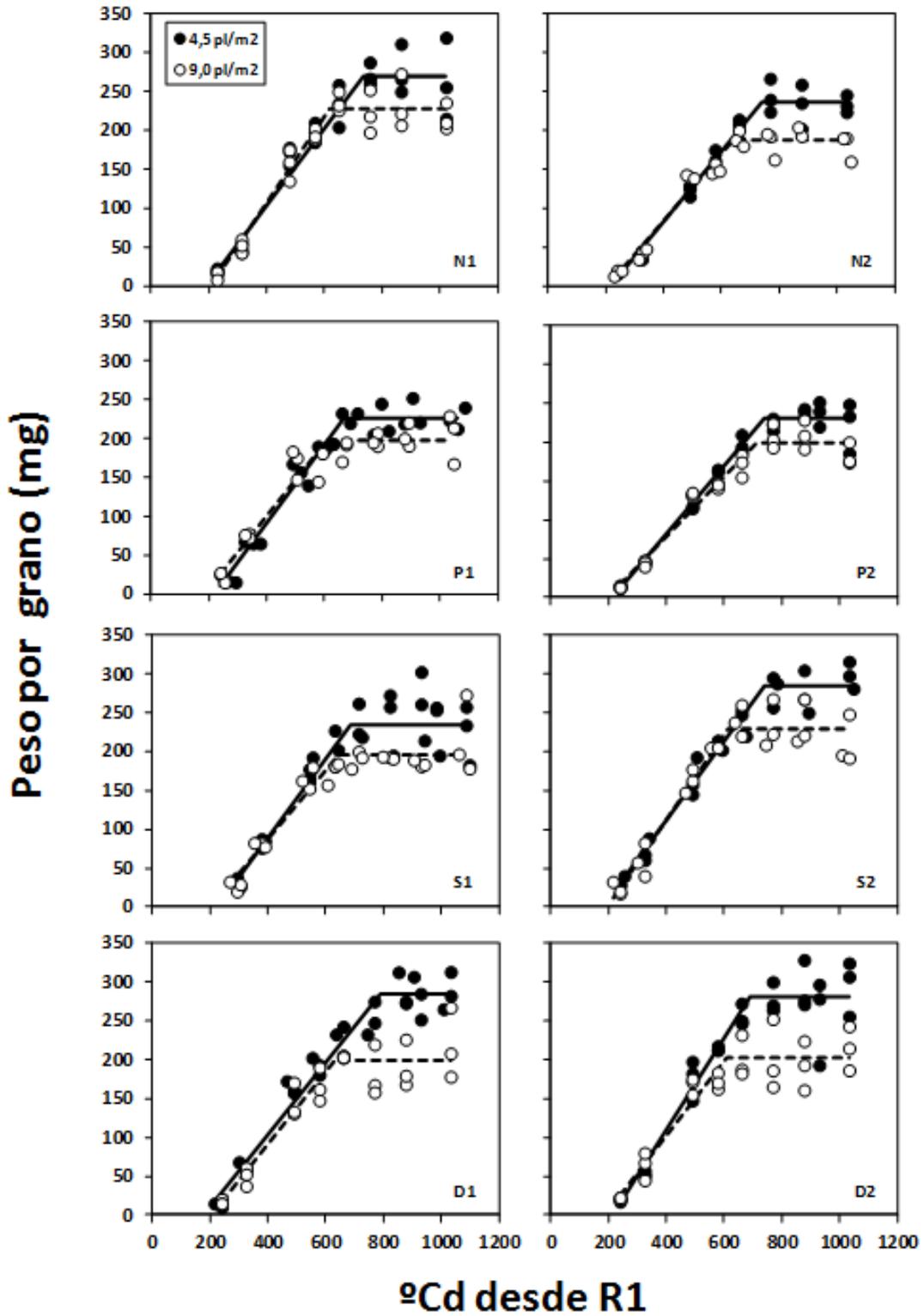


Figura 6. Crecimiento de los granos de los distintos genotipos sembrados en dos densidades.

Los híbridos no mostraron diferencias significativas en la duración de la fase LAG, en el PELL y en la relación fuente-destino (F/D), pero si mostraron diferencias en la tasa de crecimiento durante el PELL (Tabla 4). Por lo tanto, las diferencias en PG entre híbridos son mejor explicadas por la Tasa y no por el PELL. La asociación significativa encontrada entre el PG y la Tasa dependió de la densidad de siembra, siendo el $R^2 = 0,48$ y $0,37$ ($p < 0,05$) para la baja y alta densidad, respectivamente.

Tabla 4. Peso máximo del grano (variable medida) de los híbridos y las variables que lo caracterizan. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Código Híbrido (nombre)	Densidad (plantas m⁻²)	PG_{max} (mg)	LAG (°Cd)	Tasa (mg °Cd⁻¹)	PELL (°Cd)	F/D (mg grano⁻¹)
D1		223 b	205 a	0,52 a	433 a	151 a
D2		236 a	206 a	0,58 a	419 a	151 a
P1		215 b	201 a	0,50 a	446 a	116 a
P2		218 b	204 a	0,41 b	532 a	158 a
S1		218 b	223 a	0,54 a	415 a	126 a
S2		262 a	183 a	0,53 a	505 a	139 a
N1		243 a	207 a	0,55 a	446 a	108 a
N2		211 b	207 a	0,44 b	479 a	125 a
	9,0	255 a	205 a	0,51 a	508 a	96 b
	4,5	202 b	204 a	0,51 a	411 b	173 a
H×D		ns	ns	ns	ns	ns

El incremento de la densidad redujo la duración del PELL en un 19%, y provocó una caída en la relación F/D del orden del 42% (Tabla 4). Según Cirilo y Andrade (1996), el PELL depende de la fuente de asimilados para el llenado

de los granos y una reducción en la relación F/D acorta el PELL, lo cual es coincidente con los datos reportados en este trabajo. En general, la proporción de reducción en PG por efecto del incremento en la densidad de siembra fue de 0,5% por cada 1% de reducción en el PELL (Fig. 7).

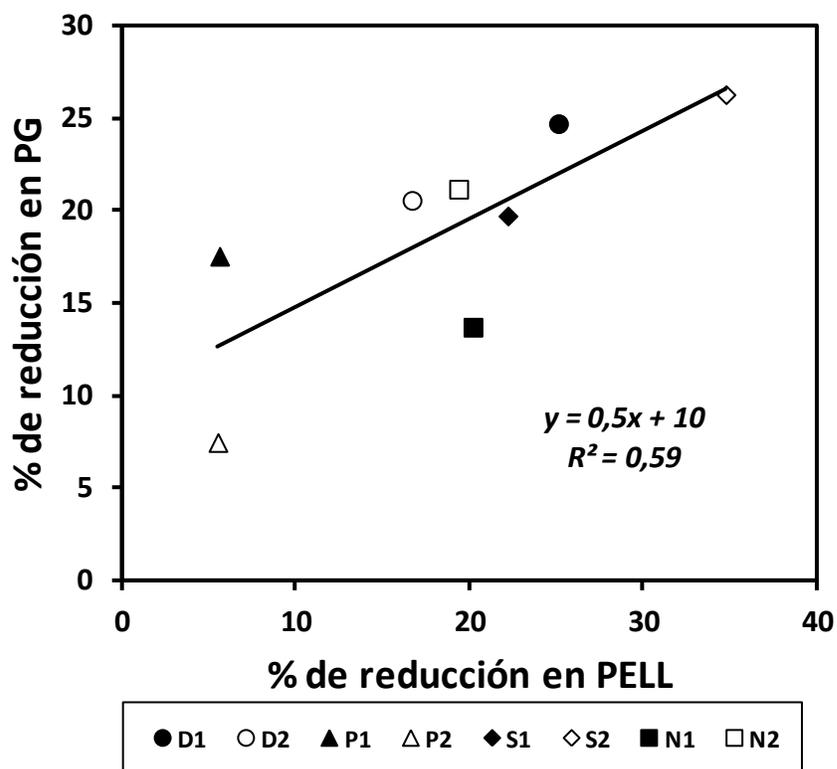


Figura 7. Asociación entre el porcentaje de reducción del PG y el porcentaje de reducción en PELL. Los símbolos identifican el código de cada híbrido (ver Materiales y Métodos).

CONCLUSIÓN

En este trabajo se estudió la variación en el PG para ocho híbridos sembrados en una fecha de siembra tardía, en dos densidades de siembra, en la región central de la provincia de Córdoba. Las condiciones climáticas de la campaña establecieron un bajo nivel de estrés hídrico hasta floración y un mayor grado de estrés durante el período de llenado. Los híbridos no difirieron en rendimiento pero variaron en la composición del rendimiento respecto a sus componentes numéricos. Los híbridos de mayor NG fueron los de menor PG, lo cual estableció una asociación negativa entre estos dos componentes. Las variaciones en el PG entre híbridos estuvieron explicadas por diferencias en la Tasa y no en el PELL. La variabilidad genética encontrada en la Tasa puede ser de utilidad para seleccionar genotipos adaptados a siembras tardías en la región. Por su parte la caracterización del PG a través de la Tasa y el PELL pueden ser utilizados en modelos de simulación del rendimiento para ayudar a interpretar y analizar la estabilidad del rendimiento para condiciones como las del presente experimento.

El efecto de la densidad sobre el PG fue mayormente explicado por variaciones en el PELL, a mayor densidad menor PELL. La reducción en el PELL se debió a reducciones en la oferta de asimilados por grano cuando se incrementa la densidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, J., & Daynard, T. (1979). Effect of change in time of flowering, induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize. *Crop Science*, 19(1), 1–4.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1979.0011183X001900010001x>
- Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S., & Otegui, M. E. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*.
- Bonelli, L. E., Monzon, J. P., Cerrudo, A., Rizzalli, R. H., & Andrade, F. H. (2016). Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.003>
- Bonhomme, R., Derieux, M., Duburcq, J. B., & Ruget, F. (1984). Variation in leaf number induced by soil temperature in various maize genotypes. *Photosynthetica*, 18(2), 255–258.
- Bonhomme, R., Derieux, M., Kiniry, J. R., Edmeades, G. O., & Ozier-Lafontaine, H. (1991). Maize Leaf Number Sensitivity in Relation to Photoperiod in Multilocation Field Trials. *Agronomy Journal*, 83(1), 153.
<https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300010035x>
- Brown, D. (1976). Response of maize to environmental temperatures: a review. *World Meteorological Organization*, 15–26.
- Campana, M.J., 2013. Análisis de la determinación del rendimiento de maíz (*Zea mays* L.): variación de los componentes ecofisiológicos ante cambios en la competencia intraespecífica. Centro Universitario Mediterráneo, IAP Ciencias Básicas y Aplicadas. Universidad Nacional de Villa María, Villa María, Córdoba.

- Cantarero, M. G., Luque, S. F., & Rubiolo, O. J. (2000). Effects of sowing date and plant density on grain number and yield of a maize hybrid in the central region of Cordoba, Argentina. *Agriscientia*, 17, 3–10.
- Cerrudo, A., Di Matteo, J., Fernandez, E., Robles, M., Pico, L. O., & Andrade, F. H. (2013). Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop and Pasture Science*. <https://doi.org/10.1071/CP13201>
- Cirilo, A. G., & Andrade, F. H. (1994a). Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x>
- Cirilo, A. G., & Andrade, F. H. (1994b). Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. *Crop Science*. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040038x>
- Cirilo, A. G., & Andrade, F. H. (1996). Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science*, 36(2), 325–331. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020019x>
- Derieux, M., & Bonhomme, R. (1986). Different approaches to maturity ratings in maize in the world. *Information Bulletin of the FAO Research Network on Maize*, 15–21.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2012). InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat. Retrieved from <http://www.infostat.com.ar>
- Echarte, L., Andrade, F. H., Sadras, V. O., & Abbate, P. (2006). Kernel weight and its response to source manipulations during grain filling in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Research*. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.07.013>

- Ellis, R., Summerfield, R., Edmeades, G., & Roberts, E. (1992). Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation, in diverse cultivars of maize. *Crop Science*, 32(5), 1225–1232.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200050033x>
- Fischer, K. S., & Palmer, F. E. (1984). Tropical maize. In *The physiology of tropical field crops* (pp. 231–248).
- Hesketh, J. D., & Warrington, I. J. (1989). Corn Growth Response to Temperature: Rate and Duration of Lead Emergence. *Agron Journal*, 81(4), 696–701.
Retrieved from
<http://agron.scijournals.org/cgi/content/abstract/agrojni;81/4/696>
- INTA. (1987). Carta de suelos de la República Argentina. *Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de La Nación*.
- Kiesselbach, T. (1950). Progressive development and seasonal variations of the corn crop. *Nebraska Agricultural Experimental Station Research Bulletin*, p. 166.
- Ministerio de Agroindustria. (2018). Estimaciones agrícolas. Retrieved December 9, 2018, from
<http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Olmedo Pico, L., 2014. Relación fuente destino en el período de llenado de grano en maíz. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce.
- Otegui, M. E., & Melón, S. (1997). Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: I. Sowing date effects. *Crop Science*.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020023x>
- Otegui, M. E., Nicolini, M. G., Ruiz, R. A., & Dodds, P. A. (1995). Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agronomy Journal*.

<https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700010006x>

- Razquin, C. J., & Vega, C. R. C. (2008). Respuesta de poblaciones de maíz a incrementos de la competencia intraespecífica por alta densidad de plantas y fechas de siembra. *Ciencias Básicas y Aplicadas, Ingeniería Agronómica*.
- Ritchie, S., & Hanway, J. (1982). Clave fenológica del cultivo de maíz.
- Rood, S.B.; Major, D. J. (1980). Responses of early corn inbreds to photoperiod. *Crop Science, 20*(6), 679–682.
- Satorre, E. et al. (2003). *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo*. (U. de B. A. Facultad de Agronomía, Ed.). Buenos Aires- Argentina.
- Tollenaar, M., Daynard, T. B., & Hunter, R. B. (1979). Effect of Temperature on Rate of Leaf Appearance and Flowering Date in Maize 1. *Crop Science, 19*(May-June), 363–366.
- <https://doi.org/10.2135/cropsci1979.0011183X001900030022x>
- Tollenaar, M., & Hunter, R. B. (1983). A photoperiod and temperature sensitive period for leaf number of maize. *Crop Science, 23*(3), 457–460.
- <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300030004x>
- Uhart, S. A., Ogando, F. A., Raspa, F. A., Santillán Hatala, A. C., Vega, C. R. C., Raimondi, J. P., ... Tanaka, W. (2018). Progreso genético en siembras tardías de maíz en la región pampeana Argentina: efecto de la densidad poblacional t nitrógeno. *XI Congreso Nacional de Maíz Pergamino*.
- Vega, C. R. C., Razquin, C. J., Hatala, C. A. S., & Ogando, F. A. (2017). Marco conceptual para la interpretación eco-fisiológica de la respuesta del maíz a la fecha de siembra. In *Primer Congreso de Maíz Tardío: un mismo maíz, un nuevo desafío*.
- Warrington, I., & Kanemasu, E. (1983a). Corn growth response to temperature and

photoperiod I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agron. J.*, 75(5), 794–754.

<https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500050008x>

Warrington, I., & Kanemasu, E. (1983b). Corn growth response to temperature and photoperiod II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates. *Agron. J.*

<https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500050009x>