

**“DENSIDAD Y FECHA DE SIEMBRA EN MAÍZ FLINT: EFECTOS SOBRE EL
CRECIMIENTO DEL CULTIVO, LA PARTICIÓN DE BIOMASA A LA ESPIGA
Y EL RENDIMIENTO EN DOS GENOTIPOS DE DIFERENTE ÉPOCA DE
LIBERACIÓN”**



Directora: Dra. María de los Ángeles Rossini.

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Junín (B), 29 de junio de 2018.

**“DENSIDAD Y FECHA DE SIEMBRA EN MAÍZ FLINT: EFECTOS SOBRE EL
CRECIMIENTO DEL CULTIVO, LA PARTICIÓN DE BIOMASA A LA ESPIGA
Y EL RENDIMIENTO EN DOS GENOTIPOS DE DIFERENTE ÉPOCA DE
LIBERACIÓN”**

Trabajo Final de Grado

del alumno

Golfetto Federico

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Dra. Raquel Defacio
Evaluador

Dra. Fernanda González
Evaluador

Dr. Alfredo Cirilo
Evaluador

Dra. María de los Ángeles Rossini
Director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Junín, 29 de junio de 2018.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos aquellos que me acompañaron en este camino, que no fue fácil pero disfruté transitarlo.

Primeramente a María de los Ángeles Rossini por guiarme a lo largo de este trabajo, aconsejándome y brindándome su experiencia para aportarla a la investigación en pos de enriquecerla.

A la UNNOBA, mi querida Universidad, por brindarme los medios para la realización de este trabajo. A Leandro Fariña, quien siempre estuvo a disposición cuando lo necesite para realizar mis tareas en el campo de la Universidad.

A mi jefe, Carlos Albornoz, quien supo comprender la importancia de este trabajo, me apoyó y permitió que realice actividades vinculadas a la investigación durante horario laboral.

A todos mis amigos, en especial a, Mariano Ferrari, Nicolás Moroni, Juan Antonio Carena, José Luis Arias y Joaquín Fernández, por ayudarme durante el proceso de toma, recolección y proceso de datos; y el traslado al campo.

A Mercedes, mi compañera, quien me sostuvo en los momentos más duros y supo potenciar en mí, todas las situaciones positivas.

A mi familia; Alicia, mi madre; Raúl, mi padre, Horacio, mi hermano; y Valeria, mi cuñada, quienes siempre me apoyaron desde el momento en que decidí retomar los estudios hasta ahora, con cada una de las decisiones que tomé.

<u>Índice</u>	4
Resumen	5
Abreviaturas utilizadas	7
1. Introducción	8
1.1. Determinación del rendimiento en el cultivo de maíz	8
1.1.1. Teoría general de la determinación del rendimiento	8
1.1.2. Respuesta a la densidad	9
1.2. Fecha de siembra del cultivo de maíz	10
2. Hipótesis	11
3. Objetivos (general)	12
3.1. Objetivos específicos	12
4. Materiales y métodos	12
4.1. Diseño experimental	12
4.2. Determinaciones	13
4.3. Análisis estadístico	15
5. Resultados	16
5.1. Condiciones meteorológicas durante el experimento	16
5.2. Tasa de crecimiento y componentes del rendimiento a nivel cultivo	18
5.3. Tasa de crecimiento y componentes del rendimiento a nivel planta individual y variabilidad entre plantas.	19
6. Discusión	21
7. Conclusiones	23
8. Bibliografía	24

“DENSIDAD Y FECHA DE SIEMBRA EN MAÍZ FLINT: EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO, LA PARTICIÓN DE BIOMASA A LA ESPIGA Y EL RENDIMIENTO EN DOS GENOTIPOS DE DIFERENTE ÉPOCA DE LIBERACIÓN”

Resumen

Altas densidades de plantas son recomendadas por las compañías semilleras, aún en los actuales sistemas de siembra tardía. La mejora en rendimiento del cultivo de maíz ha dependido de una mayor tolerancia al aumento de la densidad de plantas, la cual se refleja en una reducción menos acentuada de la performance de las plantas individuales ante incrementos en la densidad. Sin embargo, se desconoce si los genotipos de maíz *Flint* responden de manera similar, puesto que existen escasos programas de mejoramiento genético. El objetivo de este trabajo fue analizar las bases funcionales de la determinación del número de granos a nivel de cultivo y planta individual de dos híbridos de maíz *Flint* de diferente época de liberación sembrados en dos densidades de siembra y dos fechas de siembra (temprana y tardía). Se realizó un ensayo a campo donde se sembraron dos híbridos de maíz *Flint* de diferente época de liberación (ACA2000, liberado en el año 2000 y el ACA514, liberado en el año 2016). Ambos genotipos se sembraron en dos densidades (7 y 12 plantas m⁻²) en dos fechas de siembra (temprana y tardía, 5 de noviembre y 12 de diciembre, respectivamente). Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre la tasa de crecimiento tanto a nivel cultivo (TCC_{PC}) como planta individual (TCP_{PC}), tasa de crecimiento de las espigas (TCE_{PC}) (cultivo y planta individual), índice de partición (IP) durante el período crítico, rendimiento y sub-componentes (nivel cultivo y planta individual). El rendimiento por unidad de área resultó ser mayormente explicado por variaciones en el número de granos por unidad de área que por el peso de los mismos. Así, se evidenció un incremento en el rendimiento ante el aumento en la densidad de plantas y ambos genotipos se comportaron de manera similar, aunque existió cierta tendencia del ACA514 a presentar mayor rendimiento en alta densidad que el ACA2000. La TCP_{PC} se redujo de manera significativa ante el aumento de la densidad en ambas fechas de siembra pero con mayor intensidad en el híbrido ACA2000. La mayor TCE_{PC} se obtuvo en la fecha de siembra tardía, donde el

ACA514 obtuvo los mayores valores, incluso en altas densidades. El ACA2000 fue más sensible al aumento de la densidad. La variabilidad poblacional del número de granos por planta ante variaciones de la densidad fue más marcado en el híbrido más antiguo ACA2000, que en el más moderno ACA514. Este componente final demuestra una menor tolerancia a la competencia intraespecífica del genotipo más antiguo en términos del componente del rendimiento más importante.

Palabras clave: fijación de granos, Maíz Flint, tasa de crecimiento del cultivo, tasa de crecimiento de la espiga, partición, densidad de siembra, fecha de siembra.

ABREVIATURAS UTILIZADAS

Abreviatura	Significado
V13	13 hojas totalmente desplegadas.
V3	3 hojas totalmente desplegadas.
CV	Coefficiente de variación.
DS	Desvío estándar.
FS	Fecha de siembra.
R1	Floración femenina.
IP	Índice de partición.
R2	Inicio de llenado de granos.
NGP	Número de granos por planta.
NG	Número de granos.
RTO	Rendimiento.
TCE_{PC}	Tasa de crecimiento de la espiga durante el período crítico.
TCP_{PC}	Tasa de crecimiento de la planta durante el período crítico.
TCC_{PC}	Tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico.

1. Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es actualmente el segundo cultivo en importancia del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar (Paliwal y col., 2001). La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Pese a haberse originado y evolucionado en la zona tropical, hoy día se cultiva desde los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile (Paliwal y col., 2001).

El grano de maíz tiene numerosas y diversas aplicaciones. En algunos países, sobre todo en Latinoamérica, se emplea como alimento humano en cantidades significativas (Rooney y Serna-Saldivar, 1987), aunque la mayor proporción se usa en alimentación animal (Watson, 1988). Por otra parte es una importante fuente de materia prima para producir almidón y derivados, edulcorantes, alcohol, etc., que se usan en muchas aplicaciones alimentarias y no alimentarias (Leath y Hill, 1987). Existen productos del maíz que pueden ser utilizados en la industria química (Orthoeffer, 1987). Con el auge de los biocombustibles, este cultivo tiene una importantísima participación de la producción de etanol.

El grano de maíz colorado duro tipo Plata (*Flint*), es altamente demandado en el mercado europeo, principalmente para su transformación en una variada gama de productos de alto valor. Los maíces de alto valor, como el *Flint*, pisingallo o de mayor producción de aceite, si bien presentan en general rendimientos inferiores a un maíz convencional, pueden ser una alternativa muy competitiva en zonas con menor aptitud agrícola, fuera de la zona maicera típica (Maddoni, 2016).

1.1. Determinación del rendimiento en el cultivo de maíz

1.1.1. Teoría general de la determinación del rendimiento

El rendimiento de los cultivos de grano se encuentra más asociado al número de granos (NG) que se producen por unidad de área cultivada que al peso individual de cada grano (Fischer, 1975). En el caso particular del cultivo de maíz, el NG por unidad de área se encuentra estrechamente relacionado a la tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{PC}) durante un período de 30 días

centrado en la floración femenina, el cual se define como periodo crítico (Kiniry y Ritchie, 1985; Otegui y Bonhomme, 1998; Andrade y col., 1999). De manera adicional, la partición de biomasa hacia la espiga durante el mencionado período explica variaciones en el NG ante variaciones en el crecimiento originadas por disponibilidades de recursos (aéreos y edáficos) contrastantes (Sarlangue y col. 2007). Así, la localidad y época del año tienen aparejados cambios en la disponibilidad de radiación que puede alterar la TCC_{PC} y consecuentemente el NG. Por otra parte, el sitio (i.e. localidad, suelo) y variaciones en disponibilidad de recursos edáficos (agua y nutrientes) también provocan cambios en la TCC_{PC} y por ende en el rendimiento del cultivo.

Desde otro enfoque, el número de granos por unidad de área depende del número de plantas por unidad de área y del número de granos fijados por planta (NGP). Este último componente posee una relación curvilínea ante variaciones de la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico (TCP_{PC}) (Andrade y col., 1999). Esta relación tiene dos particularidades: un valor máximo de NGP dado por las características morfológicas de la espiga y un valor mínimo de TCP_{PC} a partir del cual las plantas comienzan a fijar granos.

1.1.2. Respuesta a la densidad

Ante situaciones de elevada densidad de plantas reducen de manera significativa la TCP_{PC} disminuyendo fuertemente la partición a espiga y la fijación de granos (Vega y col., 2001). Por esta razón la respuesta del rendimiento de maíz a la densidad de plantas es parabólica con una densidad óptima (Satorre y col., 2003). Adicionalmente, en condiciones de elevada competencia intraespecífica (i.e. en alta densidad), se establecen tempranamente en el cultivo jerarquías de plantas (i.e. dominadas y dominantes) (Maddonni y Otegui, 2004) que incrementan la variabilidad poblacional de la TCP_{PC} y la tasa de crecimiento de la espiga (TCE_{PC}), lo que se traduce en una mayor variabilidad en la fijación de granos. Como consecuencia, el rendimiento por unidad de área se reduce significativamente (Tollenaar y Wu, 1999).

La mejora en rendimiento del cultivo de maíz ha dependido de una mayor tolerancia al aumento de la densidad de plantas (i.e. competencia por recursos), como resultado de un menor número de plantas estériles y un

aumento del número de granos por unidad de área (Tollenaar, 1989). Esta tendencia se ve reflejada en una reducción menos acentuada de la performance individual ante incrementos en la densidad, i.e. una planta más “comunal” (Donald y Hamblin, 1976). Esta idea de “planta comunal” implica un stand de plantas menos variable, i.e. menor jerarquización de plantas (Pagano y Maddonni., 2007).

Pese a la información existente sobre los avances que ha realizado el mejoramiento en el cultivo de maíz, la misma se ha generado a partir del estudio de híbridos de maíz del tipo semidentado (Echarte y col., 2004; Luque y col., 2006; Di Matteo y col., 2016). Hasta el momento, existe escasa información sobre los componentes ecofisiológicos de la generación del rendimiento de híbridos de maíz *Flint* al aumento de la densidad debido a la escasez de programas de mejoramiento en este tipo de genotipos.

1.1.3. Fecha de siembra del cultivo de Maíz

La elección de la fecha de siembra del cultivo de maíz es una decisión de manejo frecuentemente condicionada por razones operativas (oportunidad de labranza y/o siembra, humedad y temperatura de suelo, disponibilidad de insumos) o estratégicas (escape a adversidades climáticas o biológicas, rotaciones, oportunidad de mercados, rentabilidad de la explotación). Actualmente, la adopción del sistema productivo de la siembra tardía en maíz se encuentra en ascenso debido a la menor probabilidad de déficit hídrico durante el período crítico para la determinación del número de granos. Esto le permite mayor estabilidad al esquema productivo (Maddonni, 2016).

Ante el retraso en la fecha de siembra, el cultivo de maíz se expone a mayores temperaturas y niveles de radiación durante la etapa temprana hasta la floración. Esto provoca la aceleración de su desarrollo fenológico y un aumento del crecimiento vegetativo (Andrade y col., 1993). Sin embargo, los niveles de radiación solar incidente y temperatura durante la etapa posterior a la floración decaen progresivamente al avanzar la estación, reduciendo la producción de biomasa en esta etapa (Cirilo y Andrade, 1994a). En planteos sin limitaciones hídrico-nutricionales ni sanitarias, donde la radiación y la temperatura pasan a ser decisivas para la generación del rendimiento, las siembras tempranas permiten al cultivo fijar más granos al ubicar su período

crítico en un ambiente de alta radiación incidente y temperaturas más frescas (Cirilo y Andrade, 1994 a y b; Otegui y col., 1996; Cantarero y col., 1999; Andrade y col., 2000).

En siembras tardías, el número de granos fijados es menor que en fechas tempranas, el cual se encuentra asociado a reducciones en la tasa de crecimiento del cultivo durante los periodos en los cuales dicho componente se determina. Las bajas tasas de crecimiento del cultivo durante estas etapas son consecuencia, principalmente, de la menor radiación incidente (Cirilo, 1994). La gran asignación de recursos a estructuras vegetativas en maíz tardío puede constituir un factor adicional de reducción del número de granos por metro cuadrado (i.e. menor partición de biomasa a la espiga; Fisher y Palmer, 1984).

Conocer las bases funcionales de la fijación de granos de dos híbridos de maíz *Flint* en dos densidades y en fecha de siembra temprana y tardía resulta de utilidad para conocer su comportamiento ante la presión de competencia por recursos ante diferentes estrategias de manejo. La inclusión de dos genotipos de diferente época de liberación resulta de utilidad para conocer en qué aspectos relacionados a las bases funcionales de la fijación de granos se ha mejorado y en cuáles se puede seguir mejorando en pos de un mayor rendimiento.

2. Hipótesis

1- El híbrido moderno presenta diferencias significativas respecto al antiguo en la tasa de crecimiento del cultivo y de las espigas (g m^{-2}) durante el período crítico, en la partición de biomasa a las espigas, y el número de granos por unidad de superficie.

2- El híbrido moderno presenta diferencias significativas respecto al antiguo en la tasa de crecimiento de la planta y de la espiga durante el período crítico, en la partición de biomasa a la espiga, el número de granos por planta y, la variabilidad poblacional de estas variables.

3- Las variables analizadas del híbrido moderno resultan menos sensibles ante cambios en la densidad de plantas y fecha de siembra.

3. Objetivo general

Analizar las bases funcionales de la determinación del número de granos de dos híbridos de maíz colorado de diferente época de liberación sembrados en dos densidades de siembra y dos fechas de siembra tanto a nivel de cultivo como de planta individual.

3.1. Objetivos específicos

-Analizar la tasa de crecimiento de la planta, la tasa de crecimiento de la espiga y la partición de biomasa a la espiga durante el período crítico a nivel de cultivo (g m^{-2}) y de planta individual (g planta^{-1}) ante cambios en la densidad de plantas y la fecha de siembra.

-Analizar las variaciones del rendimiento y sus componentes a nivel de cultivo (NG y PG) y de planta individual (NGP y PG) ante cambios en la densidad de plantas y la fecha de siembra.

-Analizar la variabilidad poblacional (coeficiente de variación) de las variables analizadas.

4. Materiales y métodos

4.1. Diseño experimental

Para llevar a cabo los objetivos, se realizaron ensayos a campo (Campo Experimental UNNOBA Junín, latitud $34^{\circ}28'51.38''\text{S}$ y longitud $60^{\circ}52'29.91''\text{O}$) en fecha de siembra temprana (05/11/2014) y tardía (19/12/2014).

Se sembraron dos híbridos de maíz colorado de la empresa ACA de distinta época de liberación (ACA514: experimental que salió al mercado en el año 2016 y ACA2000: liberado en la campaña 99/00) en dos densidades (7 y 12 plantas m^{-2}). El material evaluado fue provisto por el semillero ACA a partir de un convenio que vincula a dicha empresa con la Universidad, gestionado desde la Dirección del Campo Experimental de la UNNOBA. El diseño fue en bloques en parcelas divididas, donde en la parcela principal se encontró la fecha de siembra y en las sub-parcelas (de aquí en más llamadas parcelas) las

combinaciones Híbrido × Densidad. Las parcelas consistieron de 4 surcos de 5 m de longitud distanciadas a 0,52 m. El experimento fue fertilizado con una dosis de 100 kg/ha de Urea a la siembra y 80 kg/ha de fosfato mono amónico aplicado previo a la siembra. El ensayo estuvo libre de malezas y enfermedades con controles químicos y manuales; y se llevó a cabo bajo condiciones de secano.

La cosecha del ensayo de la fecha temprana se realizó el 27/02/15 para el ACA514 y el 05/03/15 para el ACA2000; para la fecha tardía se llevó a cabo el 14/04/15 para el ACA514 y el 25/04/15 para el ACA2000.

La información meteorológica se obtuvo desde la web de INTA (<http://siga2.inta.gov.ar/#>).

4.2. Determinaciones

En cada parcela se marcaron 10 plantas sobre las cuales se estimó la biomasa de la planta y espiga en los estados de V13, R1 y R2 mediante modelos alométricos ampliamente utilizados para esta especie (Vega y col., 2001; Pagano y Maddonni, 2007; D'Andrea y col., 2008). Se utilizó un único modelo para ambas densidades. Para cada híbrido en cada fecha de siembra, se recolectaron 12-20 plantas en V13 (13 hojas totalmente desplegadas), R1 (floración femenina) y R2 (inicio de llenado de granos) para la construcción de los mencionados modelos basados en relaciones establecidas entre las mediciones morfológicas (diámetro de la base del tallo, altura de la planta y máximo diámetro de la espiga) y la biomasa de la planta (en gramos). Las relaciones incluyen (i) el volumen del tallo (en cm³) y la biomasa de la planta (la espiga excluida en R2), y (ii) el máximo diámetro de la espiga (en mm) y la biomasa de la espiga (en R1 y R2). El volumen del tallo fue obtenido de una fórmula cilíndrica, utilizando para su cómputo el diámetro promedio del tallo y la altura de la planta. Para la estimación de la biomasa de las plantas marcadas se ajustó una relación lineal (Ecuación 1.1). La biomasa de la espiga (en gramos) fue estimada por medio de un modelo exponencial (Ecuación 1.2).

$$\text{Biomasa de la planta} = a \text{ Vol} + b \quad (1.1)$$

$$\text{Biomasa de la espiga} = c \exp(d D) \quad (1.2)$$

donde a, b, c y d son parámetros de los modelos, Vol es el volumen del tallo (encm^3), y D es el máximo diámetro de la espiga (en mm). Los parámetros de los modelos son listados en la Tabla 1.1.

Tabla 1: Parámetros de los modelos ajustados utilizados para estimar: (i) biomasa de la planta durante el período V3-R2, y (ii) biomasa de la espiga en floración (R1) y 15 días después de floración (R2). Se indica el coeficiente de determinación (r^2) y el número de datos (n).

Fecha	Híbrido	Estimación de la biomasa de la planta V ₃ -R ₂			
		Modelo lineal			
		A	b	r ²	n
Temprana	ACA 514	0,010	94,47	0,71	45
	ACA 2000	0,012	89,72	0,76	45
Tardía	ACA 514	0,038	46,78	0,76	43
	ACA 2000	0,078	12,93	0,73	45
		Estimación de la biomasa de la espiga R ₁ -R ₂			
		Modelo exponencial			
		C	d	r ²	n
Temprana	ACA 514	0,365	0,109	0,76	28
	ACA 2000	2,784	0,064	0,75	28
Tardía	ACA 514	2,982	0,064	0,82	27
	ACA 2000	3,067	0,052	0,76	29

La biomasa total por planta (g) fue la resultante de la suma de la biomasa vegetativa estimada (en V13, R1 y R2) y la biomasa de la espiga estimada (tanto en R1 como en R2). En el estado de V13 la biomasa de la espiga fue considerada nula (Otegui y Bonhome, 1998).

La biomasa del cultivo (g m^{-2}) en cada estado fenológico se calculó multiplicando la biomasa por planta promedio por la densidad.

En R6 (madurez fisiológica) se cosecharon las espigas de las plantas marcadas y se determinó el NG y el peso de los mismos. El NG y rendimiento por unidad de área fue el resultado de multiplicar el NG y rendimiento promedio por planta y la densidad.

La tasa de crecimiento del cultivo ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se cuantificó mediante la pendiente entre la biomasa del cultivo en V13, R1 y R2 y el tiempo (en días). A modo de aclaración, el estado de V13 coincidió con el momento de 15 días previos a la floración femenina, por lo tanto el período analizado se corresponde con el período crítico para la determinación del cultivo.

La tasa de crecimiento de la espiga ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se cuantificó mediante la pendiente entre la biomasa de la espiga en V13, R1 y R2 y el tiempo (en días). Se consideró una biomasa de espiga de cero a los 15 días previos a floración femenina (Otegui y Bonhomme, 1998).

A nivel de cultivo, el índice de partición (IP) se calculó como el cociente entre la TCC_{PC} y la TCE_{PC} . A nivel de planta individual, el IP se calculó como el cociente entre la TCP_{PC} y la TCE_{PC} .

Los valores de tasa de crecimiento de la planta, tasa de crecimiento de la espiga e índice de partición a nivel de planta individual fueron cuantificados a partir de la relación entre las variables a nivel de cultivo y la densidad en cada uno de los casos

4.3. Análisis estadístico

. El coeficiente de variación (CV) de las variables a nivel de planta individual fue obtenido a partir de la relación entre los valores de desvío estándar (DS) y la media aritmética en cada parcela (expresado en porcentaje), el valor final surge a partir del promedio de las 3 repeticiones de cada tratamiento.

Las variables fueron analizadas con el método de modelos mixtos utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo y col., 2017), con los factores Fecha de siembra, Híbrido, y Densidad como efectos fijos y el Bloque como efecto aleatorio. Cuando fue necesario, se transformaron los valores en el caso de no cumplir con los supuestos para el análisis (log para el caso de las fracciones). La comparación de medias se realizó con el test LSD Fisher.

5. Resultados

5.1. Condiciones meteorológicas durante el experimento

Durante la fecha de siembra temprana las precipitaciones evidenciaron valores elevados días previos y días posteriores a los períodos críticos de ambos híbridos (Fig. 1). Tanto la temperatura como la radiación, evidenciaron una leve tendencia al aumento conforme avanzaron los días en el ciclo de cultivo hasta un período cercano a floración, pero luego ambas variables experimentaron descensos hasta el momento de cosecha (27/02/15 para ACA514 y 05/03/15 para ACA2000) (Fig. 2 y Fig. 3).

Durante la fecha de siembra tardía las precipitaciones mostraron un comportamiento regular registrando el máximo valor previo al inicio del período crítico (Fig. 1); la temperatura y la radiación registraron un leve incremento durante el transcurso del primer mes, luego experimentaron un leve descenso hasta el momento de la cosecha (14/04/15 para ACA514 y 25/04/15 para ACA2000) (Fig. 2 y Fig. 3).

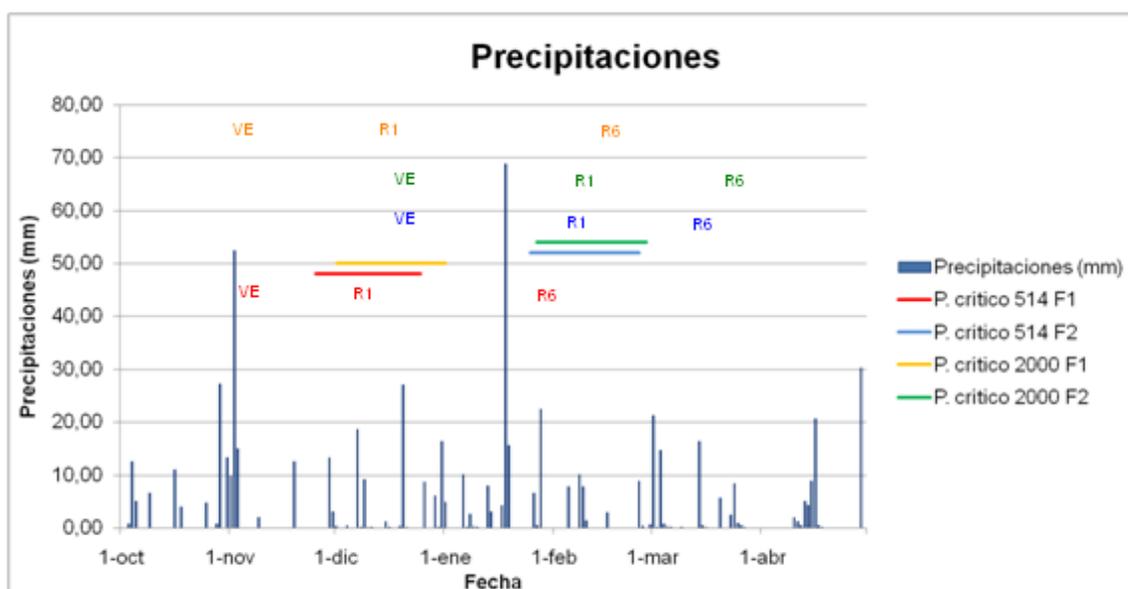


Figura 1: Precipitaciones durante el ciclo de los cultivos.

Fuente: <http://siga2.inta.gov.ar/#/>

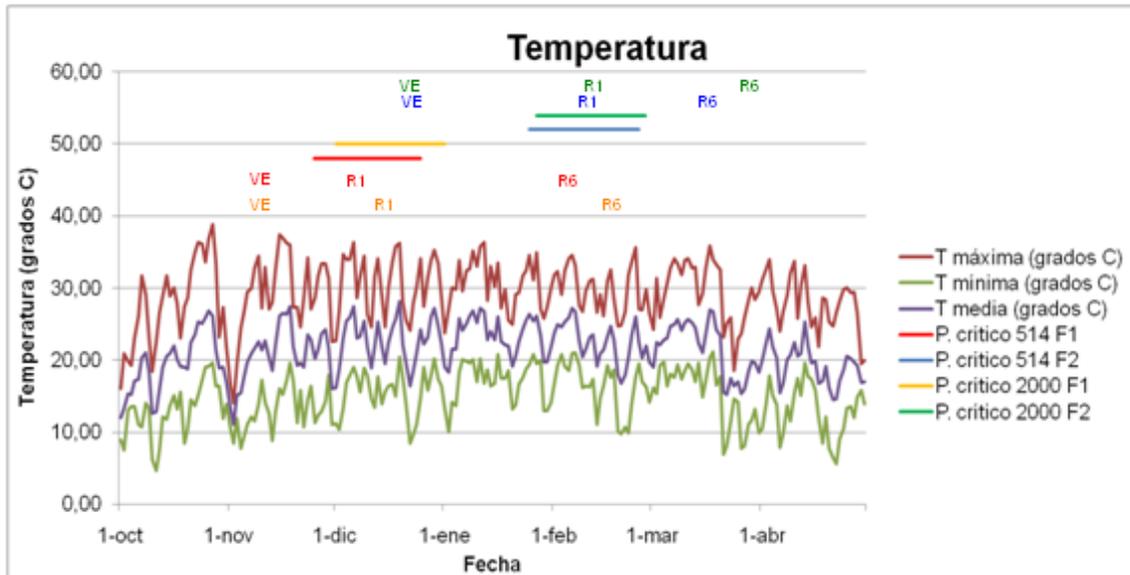


Figura 2: Temperatura durante el ciclo de los cultivos.

Fuente: <http://siga2.inta.gov.ar/#/>

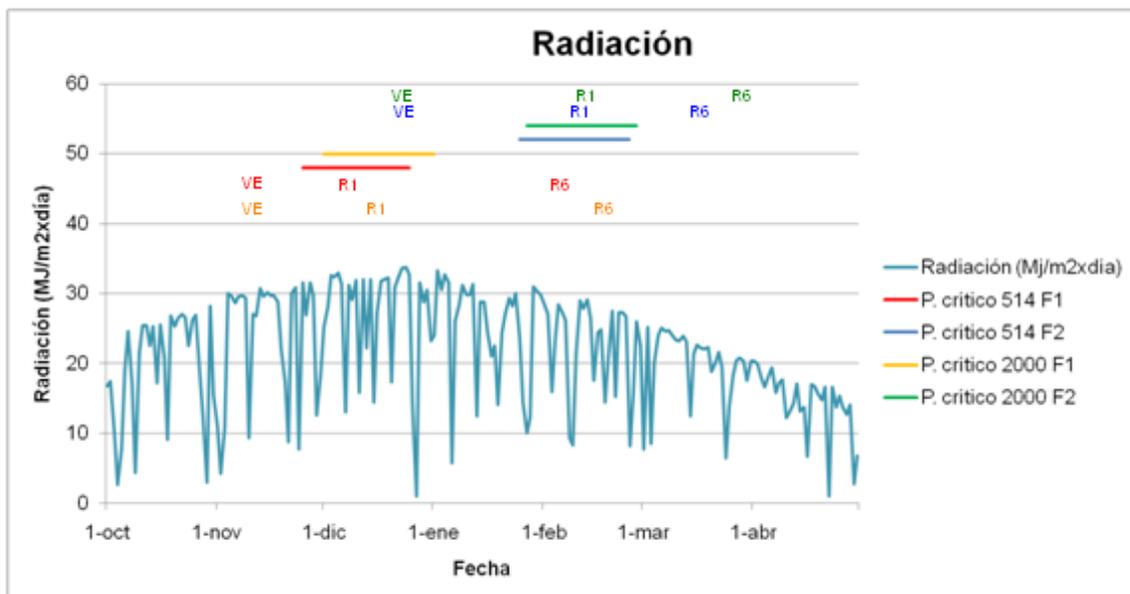


Figura 3: Radiación durante el ciclo de los cultivos.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/agro.cgi?email=&step=1&lat=-34.285&lon=60.523&ms=10&ds=1&ys=2014&me=4&de=31&ye=2015&submit=Yes>

5.2. Tasa de crecimiento y componentes del rendimiento a nivel cultivo

En ambas fechas de siembra, la densidad presentó efectos significativos ($p < 0,001$, Tabla 2) sobre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC_{PC}), donde ambos híbridos en ambas fechas exhibieron mayores TCC_{PC} en la alta densidad. En ambas densidades, en la fecha de siembra tardía el ACA514 exhibió mayor TCC_{PC} (interacción Fecha de siembra \times Híbrido, $p < 0,01$, Tabla 2).

Se registró una interacción Fecha de siembra \times Híbrido \times Densidad, ($p < 0,01$) para la TCE_{PC} , para la cual en la fecha temprana el ACA514 presentó mayor TCE_{PC} que el ACA2000 en alta densidad, mientras que fueron similares en la baja densidad. En la fecha tardía, el ACA514 exhibió una mayor TCE_{PC} que el ACA2000 en ambas densidades.

Se evidenció una interacción Fecha de siembra \times Híbrido \times Densidad para el IP ($p < 0,01$, Tabla 2), para la cual en la fecha temprana el ACA514 presentó un mayor IP que el ACA2000 en baja densidad, mientras que fueron similares en alta densidad. En la fecha tardía, el ACA2000 en alta densidad presentó un mayor IP respecto al ACA514 en ambas densidades y al ACA2000 en baja densidad.

Para ambos híbridos en ambas fechas de siembra, tanto el NG como el rendimiento fueron mayores ($p < 0,001$) en alta densidad que en baja densidad.

Tanto para el ACA514 como para el ACA2000, el peso de los granos resultó significativamente menor en la fecha de siembra tardía ($p < 0,05$) y en la alta densidad ($p < 0,01$). No se evidenciaron interacciones significativas con el resto de los factores.

Tabla 2: Valores promedio de la tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico (TCC_{PC}), tasa de crecimiento de la espiga durante el período crítico (TCE_{PC}), índice de partición (IP) durante el período crítico, el número de granos (NG) por m^2 , el peso de mil (P1000) y el rendimiento (RTO) por unidad de área de los híbridos ACA514 y ACA2000 sembrados en dos densidades (7 y 12 pl m^{-2}) y en dos fechas de siembra (temprana y tardía).

Fecha de Siembra	Híbrido	Densidad	TCC _{PC} ^a (g m ⁻² d ⁻¹)	TCE _{PC} (g m ⁻² d ⁻¹)	IP	NG (m ⁻²)	P1000 (g)	RTO (Mg ha ⁻¹)
Temprana	ACA 514	7	22,26	8,52	0,38	3594	252	895
		12	26,24	11,56	0,44	5515	245	1373
	ACA 2000	7	18,83	8,17	0,43	4271	272	1127
		12	22,56	10,44	0,46	4609	255	1217
Tardía	ACA 514	7	25,64	10,27	0,40	3642	258	852
		12	28,88	11,60	0,40	5435	211	1272
	ACA 2000	7	20,18	7,68	0,38	3457	256	816
		12	24,28	11,24	0,46	5002	217	1181
Fecha de siembra (FS)			***	*	*	ns	*	ns
Híbrido (H)			***	***	***	ns	ns	ns
Densidad (D)			***	***	***	***	*	***
FS x H			**	†	ns	ns	ns	ns
FS x D			ns	ns	ns	ns	ns	ns
H x D			ns	†	*	ns	ns	ns
FS x H x D			ns	**	**	ns	ns	ns

†, *, **, *** Corresponden a significancias al 10, 5, 1, y 0.1%; ns corresponde a no significativo.

5.3. Tasa de crecimiento, componentes del rendimiento a nivel planta individual y variabilidad entre plantas

Los mayores valores de tasa de crecimiento por planta TCP_{PC} se registraron en la fecha tardía ($p < 0.001$, Tabla 3), en la baja densidad ($p < 0.001$) y en el ACA514 ($p < 0.001$).

Para la TCE_{PC}, en altas densidades se registraron los mayores valores, donde el ACA514 fue el que tuvo mejor comportamiento (interacción Híbrido x Densidad, $p < 0,10$; Tabla 3). El ACA514, en la fecha de siembra temprana y en alta densidad se obtuvieron mayores valores respecto al ACA2000 bajo las mismas condiciones. En la fecha tardía, el ACA2000 en baja densidad obtuvo el menor valor de TCE_{PC} que el ACA514 (interacción Fecha de siembra x Híbrido x Densidad, $p < 0,01$; Tabla 3).

En cuanto al IP, el ACA2000 en alta densidad presentó mayores valores respecto al ACA514 en ambas densidades y al ACA2000 en baja densidad (interacción Fecha de siembra x Híbrido x Densidad, $p < 0,01$, Tabla 3).

El ACA514 presentó un mayor NGP ($p < 0,10$). El NGP resultó significativamente reducido por el aumento de la densidad ($p < 0,01$). No se registraron interacciones significativas para esta variable.

La variabilidad poblacional (coeficiente de variación) de la TCP_{PC} fue mayor en el ACA2000 que en el ACA514 ($p < 0,05$) en ambas fechas de siembra. En cuanto a la variabilidad poblacional de la TCE_{PC} , el ACA2000 presentó mayor variabilidad de este rasgo respecto al ACA514 en baja densidad (interacción Híbrido x Densidad, $p < 0,10$). La variabilidad poblacional del IP registró el mayor valor para el ACA514 en la fecha temprana, respecto al ACA514 en la fecha tardía; contrario comportamiento en el caso del ACA2000, donde los valores más elevados se registraron en la fecha tardía, respecto al mismo híbrido en la fecha temprana (interacción Fecha de siembra x Híbrido, $p < 0,01$). La variabilidad poblacional del NGP de ambos híbridos y fechas de siembra aumentó en respuesta al incremento de la densidad de plantas ($p < 0,05$). No se registraron interacciones significativas entre las variables.

Tabla 3: Valores promedio de la tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico (TCP_{PC}), tasa de crecimiento de la espiga durante el período crítico (TCE_{PC}), índice de partición (IP) durante el período crítico, el número de granos por planta (NGP), la variabilidad poblacional respecto a la tasa de crecimiento de la planta (CV TCP), a la tasa de crecimiento de la espiga (CV TCE), al índice de partición (CV IP) y al número de granos por planta (CV NGP) de los híbridos ACA514 y ACA2000 sembrados en dos densidades (7 y 12 pl m⁻²) y en dos fechas de siembra (temprana y tardía).

Fecha de Siembra	Híbrido	Densidad	TCP (g pl ⁻² d ⁻¹)	TCE (g pl ⁻² d ⁻¹)	IP	NGP	CV TCP (%)	CV TCE (%)	CV IP (%)	CV NGP (%)
Temprana	ACA 514	7	3,18	1,21	0,38	513	7,68	14,95	17,24	18,74
		12	2,19	0,96	0,44	460	8,59	14,05	16,40	21,30
	ACA 2000	7	2,69	1,17	0,43	610	11,13	14,48	13,50	16,98
		12	1,88	0,87	0,46	384	15,94	13,32	12,35	28,76
Tardía	ACA 514	7	3,66	1,47	0,40	520	8,97	11,27	11,60	15,31
		12	2,41	0,97	0,40	453	14,30	15,75	12,26	20,50
	ACA 2000	7	2,88	1,09	0,38	494	14,96	15,95	17,99	17,19
		12	2,02	0,94	0,46	417	13,89	11,00	12,80	33,40
Fecha de siembra (FS)			***	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Híbrido (H)			***	***	***	†	*	ns	ns	ns
Densidad (D)			***	***	***	**	ns	ns	ns	*
FS x H			ns	†	ns	ns	ns	ns	**	ns
FS x D			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H x D			ns	†	*	ns	ns	†	ns	ns
FS xH x D			ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns

†, *, **, *** Corresponden a significancias al 10, 5, 1, y 0.1%, ns corresponde a no significativo.

6. Discusión

En el presente trabajo se han estudiado los componentes ecofisiológicos de la determinación del número de granos tanto a nivel de cultivo como de planta individual. Se evaluaron dos híbridos de maíz *Flint* de diferente época de liberación sembrados en dos densidades de siembra (óptima y supra-óptima) y fechas de siembra (temprana y tardía). El objetivo del presente trabajo fue analizar la respuesta de los componentes ecofisiológicos del rendimiento de ambos genotipos ante cambios en la competencia intraespecífica promovidas por diferentes densidades de plantas en dos ambientes (fechas de siembra). El enfoque del presente estudio se realizó en dos escalas, a nivel de cultivo y a nivel de planta individual.

El rendimiento por unidad de área resultó ser mayormente explicado por variaciones en el número de granos por unidad de área ($r^2 = 0,60$; $P < 0,001$; datos no mostrados) que por el peso de los mismos ($r^2 = 0,42$, $P < 0,05$). Las variaciones en el número de granos por unidad de área, de ambos genotipos, ante cambios en la densidad fueron explicadas por la tasa de crecimiento del

cultivo y de las espigas. Así, se evidenció un aumento en el rendimiento ante el aumento en la densidad de plantas y ambos genotipos se comportaron de manera similar, aunque existió cierta tendencia del ACA514 a presentar mayor rendimiento en alta densidad que el ACA2000.

El peso de los granos, aunque con menor incidencia sobre el rendimiento, evidenció una caída ante el aumento de la densidad en la fecha tardía. Este resultado evidencia una reducción en la relación fuente:destino durante el llenado de los granos (Borrás y col., 2004; Borrás y Gambín, 2010). También alerta sobre la elección de fechas muy tardías en las cuales el peso de los granos se reduce significativamente debido a la disminución de la tasa de llenado efectivo para tipos de maíces en los que la calidad de los granos es un componente importante (Borrás y col., 2004; Borrás y Gambín, 2010; Gwirtz y Garcia-Casal, 2014).

A escala de planta individual los cambios en la performance, estudiada como las variaciones en la TCP_{PC} y TCE_{PC} ante el aumento de la densidad (Duncan, 1958) han brindado información sobre la sensibilidad de los genotipos ante el aumento de la competencia intraespecífica. Tanto para la TCP_{PC} y TCE_{PC} el ACA514 fue el que expresó los mayores valores. Para la variabilidad en la TCP_{PC} y TCE_{PC} , el ACA2000 exhibió la mayor sensibilidad ante variaciones de la densidad (aumento de la variabilidad entre plantas). Estos resultados demuestran lo esperado (Pagano y Maddonni, 2007), pues el genotipo más antiguo ha resultado más sensible ante la presión de competencia en estos rasgos. Sin embargo, los cambios en el NGP y la variabilidad poblacional de este rasgo ante el aumento de la densidad han tendido a ser mayores en el híbrido más antiguo ACA2000 que en el moderno ACA514 en ambas fechas de siembra. Este componente final demuestra una menor tolerancia a la competencia intraespecífica del genotipo más antiguo en términos del componente del rendimiento más importante. Este resultado quizá esté asociado a una diferente eficiencia reproductiva y a una menor variabilidad de este rasgo (Rossini y col. 2012) en el genotipo más moderno.

7. Conclusiones

En el presente trabajo ambas hipótesis de trabajo fueron parcialmente rechazadas. Así quedó demostrado que el híbrido más moderno presentó ventajas en cuanto a TCC_{PC} , TCP_{PC} , TCE_{PC} , NG y NGP, lo cual se traduce en un mayor rendimiento respecto al híbrido más antiguo, aunque esto no fue estadísticamente significativo. La mayor sensibilidad del NGP ante modificaciones de la densidad en el genotipo más antiguo denota su menor tolerancia a la competencia intraespecífica. El rasgo subyacente detrás de esta respuesta puede ser una eficiencia reproductiva diferencial y su variabilidad poblacional respecto al genotipo más moderno. El estudio de los rasgos ecofisiológicos a nivel de planta individual (considerando la fenología de las plantas individuales) y de los rasgos relacionados (desarrollo morfogénico de la espiga) pueden brindar una mayor información sobre las diferencias en la eficiencia reproductiva.

8. Bibliografía:

- Andrade F.H., S.A. Uhart, M. Frugone., 1993b. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. *CropsSci.* 33:482-485.
- Andrade, F.A., H.E. Echeverría, N.S. Gonzalez, S.A. Uhart., 2000. Cap. 8: Requerimientos de nutrientes minerales. 207-233. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Fernando H. Andrade – Victor O. Sadras.
- Andrade, F.H., Vega, C.R.C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39, 453-459.
- Borrás, L., Otegui, M.E., Slafer, G.A., 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86, 131-146.
- Borrás L, Gambín BL., 2010. Trait dissection of maize kernel weight: Towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Research* 118(1), 1–12.
- Cantarero M.G., A.G. Cirilo, F.H. Andrade. 1999. Night temperature at silking affects kernel set in maize. *Crop Sci.*, 39:703-710.
- Cirilo A.G., F.H. Andrade. 1994a. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34:1039-1043.
- Cirilo A.G., F.H. Andrade. 1994b. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. *CropsSci.* 34:1044-1046.
- Cirilo A.G., 1994. Desarrollo, crecimiento y partición de la materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 86 pp.
- D'Andrea, K.E., Otegui, M.E., Cirilo, G.A., 2008. Kernel Number Determination Differs among Maize Hybrids in Response to Nitrogen. *Field Crops Res.* 105, 228-239.
- Di Matteo, J. A., Ferreyra, J. M., Cerrudo, A. A., Echarte, L., & Andrade, F. H., 2016. Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research*, 197, 107-116.
- Di Rienzo, J. A., Balzarín, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., Robledo, C. W., 2017. <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=34>
- Donald, C.M., Hamblin, J., 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.*, 28, 361-405.
- Duncan, W. G., 1958. The Relationship Between Corn Population and Yield. *Agron. J.* (50) 82-84.
- Echarte, L., Andrade, F.H., Vega, C.R.C., Tollenaar, M., 2004. Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Crop Sci.* 44, 1654–1661.

- Fischer, R.A, 1975. Yield potential in dwarf wheat and the effect of shading. *Crop Sci.* 15: 607 – 613.
- Fisher, K.S., Palmer, F.E. 1984. Tropical maize. En P.R. Goldsworthy y N.M. Fisher (Eds.). *The physiology of tropical field crops.* Wiley.pp.213-248.
- Gwitz, J.A., Garcia-Casal, M.N., 2014. Processing maize flour and corn meal food products. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1312, 66–75.
- Kiniry, J.R., Ritchie, J.T., 1985. Shade-sensitive interval of kernel number of maize. *Agronomy Journal* 77, 711-715.
- Leath M. N., Hill L. D., 1987. Economics of production, marketing and utilization. En: *Corn: Chemistry and Technology.* S. A. Watson and P. E. Ramstad eds. AACC. St. Paul Minnesota USA. 201-252 pp.
- Luque, S.F., Cirilo, A. G., Otegui M.E. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Res.* 95, 383–397
- Maddoni, G.A., Otegui, M.E., 2004. Intra-specific competition in maize: early-determined hierarchies among plants affect final kernel set. *Field Crops Res.* 85, 1-13.
- Maddoni, G.A., 2016. “El área de maíz tardío creció un 45% en la última década”. On line sitio web Infocampo: <http://www.infocampo.com.ar/el-area-de-maiz-tardio-crecio-un-45-en-la-ultima-decada/>.
- Orthoeffer F. T., 1987. Corn starch modification and uses. En: *Corn: Chemistry and Technology.* S. A. Watson and P. E. Ramstad eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. 479-499 pp.
- Otegui, M.E., Bonhomme, R., 1998. Grain yield components in maize I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research* 56, 247-256.
- Otegui, M.E., R.A. Ruiz, D. Ptruzzi. 1996. Modeling hybrid and sowing date effects on potencial grain yield of maize in a hummed temperate region. *Field Crops Res.*, 47:167-174.
- Pagano, E., Maddoni, G.A., 2007. Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Res.* 101, 306-320.
- Paliwal R. L., Granados G., Lafitte H. R., Violic A. D., Marathée J. P., 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. *Introducción al maíz y su importancia.* Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: 1-3 pp.
- Rooney L., Serna-Saldivar S., 1987. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. En: *Corn: Chemistry and Technology.* S. A. Watson and P. E. Ramstad eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. 399-429 pp.
- Rossini, M.A., Maddoni, G.A., Otegui, M.E., 2012. Inter-plant variability in maize crops grown under contrasting N x stand density combinations: Links between development, growth and kernel set. *Field Crops Res.* 133, 90-100.

- Sarlangue, T.; Andrade, F. H.; Calviño, P. A., Purcell, L. C. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agron. J.* 99:984-991.
- Satorre, E.H.; BenechArnold, R.L.; Slafer, G.A.; De La Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. 2003. *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires. Editorial FA UBA.
- Tollenaar, M., 1989. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1980. *Crop Sci.* 29, 1365-1371.
- Tollenaar, M., Wu, J., 1999. Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. *Crop Sci.* 39, 1597-1604.
- Vega V., F. Andrade, V. Sadras. 2001. Reproductive plasticity and seed set efficiency in sunflower, soybean and maize. *Field Crops Res.* 72:163-175.
- Watson S. A., 1988. Corn marketing, processing and utilization. En: *Corn and Corn improvement*. G. F. Sprague and W. J.Dudley, eds. American Society of America Inc., Crop Science Society of America. Inc., Soil Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 881-940 pp.