



Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria

*Trabajo Final Presentado para
Optar al Grado de Ingeniero Agrónomo*

**DETERMINACION DEL RENDIMIENTO POTENCIAL EN
DIFERENTES HÍBRIDOS DE MAIZ**

Alumna

PASTRE, Ivonne Liliana

31.248.532

Director

Ing. Agr. Espósito, Gabriel Pablo

Codirector

Ing. Agr. Castillo, Carlos Alberto

Río Cuarto – Córdoba

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

Facultad de Agronomía y Veterinaria

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Determinación del rendimiento potencial en diferentes híbridos de maíz”

Autor: Ivonne Liliana Pastre

DNI: 31.248.532

Director: Ing. Agr. Gabriel Pablo Espósito

Codirector: Ing. Agr. Carlos Alberto Castillo

Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias del Jurado Evaluador:

Ing. Agr. Giayetto, Oscar

Ing. Agr. Gonzalez, Sergio

Ing. Agr. Ramos, Diego

Fecha de presentación: ___/___/_____

Aprobado por Secretaría Académica: ___/___/_____

Med. Vet. JORGE DE LA CRUZ
Secretario Académico
Facultad de Agronomía y Veterinaria

DEDICATORIA

A mi bebé Pedrito que me hace inmensamente feliz. A Maxi, la persona más bella que conocí, gracias por elegir lo mismo que yo. A la empresa Cresud, por darme la posibilidad de trabajar con ellos, poner en práctica lo aprendido durante los años de estudio y colaborar con mi crecimiento profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

A mi papá y a mi abuelo, por proponerme esta posibilidad.

A mi mamá y mis hermanas, por su apoyo incondicional durante todos estos años, su cariño, voluntad y dedicación.

A mi futuro esposo, por ser el gran sostén de mi vida.

A mis amigas de toda la vida, Euge, Fer, Maru, Jime, por estar siempre acompañándome.

A mi amiga de estudio, Anita, por acompañarme y seguir haciéndolo.

A los Ingenieros Gabriel Espósito, Carlos Castillo, Ricardo Balboa y Guillermo Balboa.

A todas la personas que me ayudaron con este trabajo, Maxi, Gera, Ale, Lala, Vicky, Anita, Graciela.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto.

INDICE DE TEXTO

Página

Certificado de Aprobación	<i>II</i>
Dedicatoria.....	<i>III</i>
Agradecimientos.....	<i>IV</i>
Índice.....	<i>V</i>
Resumen.....	<i>VIII</i>
Abstract.....	<i>IX</i>
I. Introducción.....	<i>1</i>
i. Hipótesis.....	<i>7</i>
ii. Objetivos.....	<i>7</i>
II. Materiales y Métodos.....	<i>8</i>
i. Determinaciones realizadas.....	<i>10</i>
III. Resultados.....	<i>12</i>
i. Fenología.....	<i>12</i>
ii. Descripción climática.....	<i>12</i>
iii. Humedad del suelo y riegos	<i>15</i>
iv. Materia seca y tasa de crecimiento	<i>16</i>
v. Intercepción de la radiación y radiación fotosintéticamente activa.....	<i>19</i>
vi. Eficiencia en el uso de la radiación.....	<i>21</i>
vii. Rendimiento y componentes.....	<i>23</i>
viii Relación entre variables.....	<i>25</i>
IV. Conclusiones.....	<i>30</i>
V. Bibliografía.....	<i>31</i>

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción del perfil de suelo del campo experimental UNRC.....	9
Tabla 2: Fecha de los estados fenológicos de cada híbrido.....	12
Tabla 3: Materia seca en Kg ha ⁻¹ en diferentes estadios fenológicos de maíz.....	17
Tabla 4: Tasa de crecimiento de maíz.....	19
Tabla 5: Intercepción de la radiación en diferentes estadios fenológicos de maíz.....	20
Tabla 6: Radiación fotosintéticamente activa interceptada.....	20
Tabla 7: Eficiencia en el uso de la radiación en diferentes estadios fenológicos de maíz.....	21
Tabla 8: Rendimiento, N° granos m ⁻¹ y peso de 100 granos.....	23
Tabla 9: Materia seca total, rendimiento e índice de cosecha.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Temperatura máxima y mínima diaria del aire del ciclo 2006/07 y máximas y mínimas del promedio 1976/06, para la localidad de Río Cuarto, Córdoba.....	13
Figura 2: Amplitud térmica diaria 2006/07 y del promedio 1976/06, para la localidad de Río Cuarto, Córdoba.....	14
Figura 3: Radiación solar incidente 2005/06 y del promedio 1976/06, para la localidad de Río Cuarto, Córdoba.....	14
Figura 4: Precipitaciones decádicas del ciclo 2005/06 y del promedio 1976/06, para la localidad de Río Cuarto, Córdoba.....	15
Figura 5: Evolución de la lámina total de agua del suelo en 100 cm y valor umbral, 60% de la capacidad de almacenaje desde siembra hasta madures fisiológica del maíz.....	16
Figura 6: Curva de producción de materia seca.....	18
Figura 7: Relación rendimiento de granos y biomasa total a R6.....	25
Figura 8: Relación entre rendimiento de granos y tasa de crecimiento del cultivo entre V ₁₃ y R ₃	26
Figura 9: Relación entre rendimiento de granos y número de granos.....	26
Figura 10: Relación entre rendimiento de granos y peso 100 granos.....	27

Figura 11: Relación entre biomasa total y radiación fotosintéticamente activa interceptada total.....	28
Figura 12: Relación entre biomasa total y eficiencia en el uso de la radiación.....	28

RESUMEN

El rendimiento potencial de un cultivo es aquel obtenido bajo condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo. La UNRC ha determinado durante la campaña 2005/06, el rendimiento potencial para dos híbridos de maíz alcanzándose la cifra récord (a nivel regional) de 20.000 kg/ha. Los híbridos de reciente aparición en el mercado tienen diferentes rendimientos potenciales. El objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento potencial de cinco híbridos comerciales de maíz, cultivados sin limitaciones hídricas ni nutricionales, en un Hapludol típico de Río Cuarto. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorios con cuatro repeticiones espaciales por tratamiento. Se sembró con siembra directa a 0.52 cm entre hileras y con 95000 plantas por ha. Se realizaron una fertilización en la siembra, una re fertilización en V₄ y otra en V₈, riegos y control de malezas para asegurar la condición óptima. Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias y análisis de regresión. Los resultados mostraron que existen diferencias de rendimiento potencial en los diferentes híbridos de maíz analizados. El material genético DK 747 se destacó por presentar la mayor interceptación de la radiación lumínica lo cual se vio reflejada en la mayor producción de materia seca total acumulada e influyó finalmente de manera directa en el rendimiento. Dicho híbrido tuvo un rendimiento un 8% mayor que el promedio de rendimiento del DK 670 y AX 820, los dos híbridos que le siguieron en producción. En caso contrario el material AX 892 mostró la menor tasa de crecimiento durante el periodo crítico, lo cual explicó baja materia seca acumulada, radiación fotosintéticamente activa interceptada, eficiencia en el uso de la radiación total y finalmente rendimiento. Por otro lado se observó que los híbridos AX 820 y DK 682 produjeron menos materia seca pero cada uno llegó a diferentes rendimientos, a causa de las diferentes eficiencias en el uso de la radiación.

ABSTRACT

The potential yield of a sowing is obtained under the best conditions for its growth and development. The UNRC determined during the campaign 2005/06 the potential yield for two maize hybrids getting a regional record of 20.000 kg/ha. The latest hybrids in the market have different potential yield. The aim of this work was to determine the potential yield of five commercial maize hybrids sown without water or nutritional limits in a typical Haplustol in Río Cuarto. The experimental design was in complete random blocks with four spacing repetitions for each treatment. Direct sowing at a 0,52 m between rows was sown and with 95000 plants per ha. One fertilization was made during the sowing, one fertilization in V4, another in V8 and a weed control to assure the best conditions. All the results were analyzed by ANAVA, a separation media test and a regression analyses. The results showed that there are potential yield differences in the different maize hybrids analyzed. The genetic DK 747 material stood up because it presented the greater dry matter production and it finally influenced directly in maize yield. Such hybrid had more than 8% yield than DK 670 and AX 820, the next two hybrids in production. On the contrary AX 892 showed less growth during the critical period, which explained its accumulated dry matter, photosynthetically active radiation intercepted, efficiency in the total radiation use and finally yield. On the other hand AX 820 and DK 682 hybrids produced less dry matter but each one obtained different yields caused by different efficiencies in the radiation use.

INTRODUCCION

Actualmente, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cultivos agrícolas a nivel mundial, ocupando por su volumen de cosecha el tercer puesto después del trigo y el arroz. Estados Unidos, China, Brasil, México, Francia y la Argentina figuran entre los primeros productores. La mayor producción y los rendimientos más elevados corresponden a zonas de clima templado o templado cálido, sin heladas, con abundante provisión de agua, y suelos fértiles y de buen drenaje (Alvarez y Mulin, 2004).

Por su alta productividad, excelente palatabilidad y alto contenido nutricional, el maíz ha reemplazado a otros cereales en la alimentación animal. Además este cultivo tiene una gran cantidad de usos industriales, entre los que se destacan la producción de almidón, edulcorantes, alcohol, jarabes, acetona, aceites, etc. (Watson, 1988, citado por Andrade *et al.*, 1997)

“Es destacable la importancia que adquieren los biocombustibles en el mundo, especialmente el etanol producido a partir del maíz. Por otro lado crece cada vez más la demanda, tanto desde el mercado interno como así también de los mercados internacionales. Asimismo cada vez es mayor la proporción de maíz que se industrializa” (Avellaneda, 2006).

En Argentina, en la campaña 2004/05, se sembraron un total de 3,5 millones de hectáreas, siendo la provincia de Córdoba la de mayor importancia en superficie sembrada, con casi 1 millón de hectáreas (Umarán, 2006). En la campaña 2007/08 se registró un incremento del área sembrada de un 12% con respecto a la campaña anterior, la producción en la provincia de Córdoba fue de 7.414.040 millones de toneladas en una superficie sembrada de 1.282.900 has (Piatti y Ferreyra 2008). El Dpto. Río Cuarto es el de mayor área destinada a la producción en esta provincia (REAG, 1999).

Desde los comienzos de la agricultura, el hombre ha procurado lograr la mayor cantidad de granos cosechados por semilla sembrada, y por ello alcanzar el rendimiento potencial ha sido una meta permanente de los agricultores (Andrade *et al.*, 1996).

“Hernan y Evelyn Warsaw compraron su granja en Illinois en 1941. Tenían un rendimiento de maíz establecido de 23,82 quintales por hectárea. Hernan sabía que necesitaba construir el rendimiento potencial para que sobreviviera su operación. Hacia 1960 él había alcanzado un buen nivel de producción, pero decidió encontrar los límites de sus campos. Comenzó construyendo niveles de fertilidad, incrementando la población de plantas y buscando otros factores limitantes, 15 años después, en 1975, estableció un nuevo record mundial del rendimiento de maíz de 211,95 quintales por hectárea. Hernan continuó refinando su sistema de producción, buscando

constantemente el próximo factor limitante para ser eliminado. En 1985, estableció un nuevo record mundial de rendimiento de 232 quintales por hectárea” (Reetz, 2000).

Se entiende como rendimiento potencial a aquel obtenido bajo condiciones óptimas de crecimiento, es decir: libre de malezas, plagas y enfermedades, y protegido contra todo tipo de estrés, es decir: sin limitaciones hídricas ni nutricionales (Sinclair, 1993). Además, el rendimiento potencial de un cultivo implica adaptación ambiental (Evans y Fischer, 1999).

La gran capacidad del cultivo de maíz para usar los recursos del ambiente y convertirlos en grano se basa principalmente en tres aspectos claves; alta fotosíntesis de hoja, su metabolismo fotosintético C4 es más eficiente en la ganancia de carbono que el metabolismo llamado C3; buena arquitectura de la planta, el tipo de hojas y la inclinación de estas respecto a la horizontal permite que la casi totalidad de la radiación incidente sea interceptada por la mayoría de las hojas; vigor híbrido o heterosis, al ser hijo de cruza entre dos líneas puras, la combinación genética que resulta se traduce en un rendimiento mayor que el de las líneas puras (Valentinuz y Papparotti, 2004). Por otro lado, la eficiencia del maíz en producir biomasa se debe, además, al bajo valor energético de la materia seca producida (Andrade, 2003). Estas características muestran la ventaja del maíz con respecto a otros cultivos cuando se comparan en términos de rendimiento potencial (Valentinuz y Papparotti, 2004).

Sin embargo al hablar de rendimiento potencial se deben considerar otros componentes como; i) respuesta del cultivo ante una mayor oferta de recursos, ii) tolerancia a estrés biótico o abiótico, y iii) eficiencia en la captura y uso de los recursos bajo condiciones de estrés. También es necesario una adecuada población y distribución de las plantas, siendo el maíz el más sensible de todos los cultivos a las fallas de la emergencia- implantación (Andrade y Abbate, 2005).

El desarrollo del maíz está influenciado por el genotipo y por variables ambientales como la temperatura y el fotoperíodo. Referido al ambiente, las principales limitantes de la producción del maíz se concentran sobre el efecto de la temperatura, la radiación solar, la disponibilidad hídrica y el déficit de presión de vapor de saturación del aire (Sinclair, 1994).

En condiciones de crecimiento sin limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias, los altos rendimientos en el maíz están asociados con ambientes de alta radiación solar y temperaturas óptimas.

Todos estos factores, deben ser considerados principalmente durante el período crítico del maíz, el cual se extiende 30 días alrededor de la floración. En los primeros 15 días se define la cantidad de flores que serán fértiles y en los últimos 15 días se define cuántas de estas flores fértiles serán granos (Otegui y Andrade, 2000).

Para un normal crecimiento y desarrollo del cultivo, el mismo debe encontrarse en un ambiente en el cual predominen temperaturas dentro de un rango de 25 a 30°C. La temperatura

base de este cultivo es de 8°C y a partir de los 35°C se produce un corte en el desarrollo (Andrade *et al.*, 1996). Temperaturas templadas prolongan la duración de las etapas del cultivo y el tiempo de aprovechamiento de la oferta radiactiva. (Andrade *et al.*, 1996). Temperaturas mayores aceleran la velocidad de aparición de hojas, lo cual determina un rápido establecimiento del canopeo, eficiente en capturar la luz solar, y a su vez acorta la duración total del ciclo (Andrade *et al.*, 1996).

Además el rendimiento se maximiza cuando la amplitud térmica se incrementa, como diferencia entre la temperatura del día a la de la noche (Cantarero *et al.*, 1999).

Mientras las temperaturas diurnas elevadas (alrededor de 30°C) posibilitan una alta fotosíntesis (Andrade *et al.*, 1997), las temperaturas nocturnas frescas disminuyen la respiración y retrasan el desarrollo fonológico, prolongando los días de aprovechamiento de la radiación incidente (Sadras *et al.*, 2002).

Los sistemas de alta producción deben maximizar principalmente la radiación interceptada por los tejidos fotosintéticos, la eficiencia de conversión en materia seca y la fracción de materia seca que es asignada a la formación de grano (Cárcova *et al.*, 2004). Con respecto a la radiación solar incidente, ésta determina la tasa de crecimiento del cultivo, la cual a su vez establece la acumulación de materia seca aérea (Barbieri *et al.* 2002).

Si aumentamos la radiación interceptada durante el período crítico, obtenemos un mayor número de granos por metros cuadrados y por ende aumentamos los rendimientos, ésto se logra aumentando la intercepción con respecto al índice de área foliar (Barbieri *et al.*, 2002). Por este motivo, se demostró que el cultivo de maíz, con un índice de área foliar menor de cinco, produce disminuciones en la tasa de crecimiento de hasta un 30% (Pepper, 2002).

La mayor radiación diaria capturada por el cultivo en floración aumenta su tasa de crecimiento, y por lo tanto su granazón (Andrade *et al.*, 1996), mientras que la cantidad aprovechada durante el llenado de los granos garantiza su peso final. (Borrás, Madonni y Otegui, 2003)

Dado a que el rendimiento potencial hace referencia al obtenido bajo condiciones propicias para el cultivo y con factores adversos controlados, bajo esta situación el rendimiento de una especie estaría dado por factores que tienen una marcada influencia sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo (Cirilo, 1994; Andrad *et al.*, 1996; Andrade *et al.*, 2002); la radiación, que determina la fotosíntesis del cultivo y por la temperatura, que determina la longitud del ciclo. (Andrade *et al.*, 1996).

Una mayor temperatura durante la fase vegetativa y una mayor cantidad de radiación interceptada hasta floración favorecen una alta eficiencia de conversión de luz en crecimiento, acumulando generalmente más biomasa al momento de floración (Andrade *et al.*, 1996).

La planta de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa, dado que en condiciones de cultivo puede alcanzar en 4-5 meses un peso seco 1.000 veces superior al de la semilla que le dio origen, superando ampliamente en la capacidad de producir biomasa el girasol y la soja (Andrade *et al.*, 1995).

Existe una estrecha relación entre el rendimiento y la producción de biomasa aérea (Satorre *et al.*, 2005), la cual depende de la tasa de crecimiento desde la emergencia hasta la madurez fisiológica. A su vez, la tasa de crecimiento es función de la radiación solar incidente y de la eficiencia con que el cultivo la intercepta y transforma en materia seca. (Vega y Andrade, 2000).

La tasa de crecimiento por planta depende de numerosos factores, como la densidad de siembra, la temperatura, los niveles de radiación, la disponibilidad de agua y nutrientes y el genotipo. Sin deficiencias hídricas y/o nutricionales, el número de granos fijado por planta se relaciona con la tasa de crecimiento por planta en el período que rodea a la floración (Maddoni *et al.*, 2001).

En maíz, el rendimiento está más asociado al número de granos logrados que al peso de los mismos (Maddoni *et al.*, 2001). Entre ambos componentes el más estable y menos afectado por condiciones ambientales o de manejo es el peso de los granos (Andrade y Ferreiro, 1996; Cirilo y Andrade, 1996). No obstante el peso de los granos puede ser afectado cuando se producen cambios importantes en el número de granos (Cárcova *et al.*, 2004). El número de granos depende de la condición fisiológica del cultivo durante el período crítico (Andrade *et al.*, 1996).

Los requerimientos hídricos del maíz, durante su ciclo son de alrededor de 500 mm, con consumos de aproximadamente 5 mm por día, y con eficiencias de uso de agua del orden de los 45 Kg. de materia seca por hectárea por milímetro de agua consumida (Andrade *et al.*, 1996).

El maíz no debe sufrir deficiencias hídricas durante el periodo comprendido entre V_{13} y R_3 , para no afectar el número de granos, principal componente del rendimiento. Durante el llenado de los granos ($R_3 - R_6$), tampoco deberían ocurrir estas deficiencias para lograr elevados niveles de producción, aunque en esta etapa, la respuesta al riego es menor, y sólo se ve afectado el peso de los granos (Andrade y Gardiol, 1995).

El consumo de agua del maíz disminuye cuando el contenido de agua en el perfil del suelo explorado por las raíces desciende por debajo del 60 o 40% del agua útil (Shaw, 1998).

Rivetti (2005) encontró en un Hapludol típico de Río Cuarto, que entre V_{12} y R_3 la aplicación de riego para reponer la capacidad campo (luego de consumirse un 60% de la misma) permitía alcanzar los rendimientos máximos.

Estas características le confieren al maíz una elevada respuesta a la aplicación de riego suplementario durante el PC, determinándose respuestas de alrededor de 20 kg de grano mm^{-1} de agua consumida durante dicho período (Otegui, 2000), valores que pueden llegar hasta 40 kg de grano mm^{-1} de agua consumida según el grado de estrés hídrico (Andrade y Sadras, 2003).

Por otro lado, se ha determinado que el maíz se destaca por su incapacidad de ajustar su superficie foliar ante cambios en la densidad. Es por ello que presenta la mayor respuesta en términos de cantidad de radiación interceptada y materia seca producida frente a aumentos en la densidad (Tetio Kagho y Gardner, 1988).

El rendimiento potencial de los cultivos ha sido empleado en numerosas ocasiones para establecer la evolución del progreso genético (Evans y Fisher, 1999).

Con respecto a los genotipo, la elección del híbrido a sembrar responde muchas veces a preferencias subjetivas o conveniencias económicas, comerciales o financieras. Sin embargo es una decisión de manejo que condiciona el éxito del cultivo, ya que una vez tomada no admite correcciones durante la estación de crecimiento. Por lo tanto, resulta conveniente analizar algunos criterios ecofisiológicos que permiten orientar una correcta elección (Andrade y Sadras, 2003).

En esquemas de alta producción se deben elegir híbridos de elevado potencial de rendimiento, ya que en tales situaciones encontrarán las condiciones necesarias para su expresión que justifiquen el mayor gasto de la semilla (Andrade y Sadras, 2003).

En áreas con adversidades bióticas o abióticas severas (enfermedades foliares y altas temperaturas en las áreas maiceras del norte del país o incidencia de mal de Río IV en la zona endémica central) la selección del híbrido queda, obviamente, condicionada a aquellos genotipos tolerantes a tales adversidades (Andrade y Sadras, 2003).

Se demostró que los híbridos de maíz liberados al mercado últimamente presentan un mayor y más estable índice de cosecha y un menor valor umbral de tasa de crecimiento por planta para definir el número de granos (Echarte y Andrade, 2003).

Estudios realizados en maíz, para estimar el progreso genético del potencial de rendimiento, durante la segunda mitad del siglo XX, indican que los rendimientos potenciales se incrementaron entre 0,7 y 1 qq ha^{-1} año^{-1} , en EEUU y Argentina respectivamente (Russel, 1986; Duvick, 1984; Andrade *et al.*, 1996).

En los últimos 30 años, el rendimiento potencial de híbridos de una empresa semillera argentina aumentó a razón de 1,5 quintales por año. En la primera etapa del desarrollo mencionado se mejoró la producción de biomasa total y, en una segunda etapa, se mejoró sólo el índice de cosecha (Andrade *et al.*, 1996). Además, se ha mejorado notablemente la sincronía floral, es decir el tiempo entre emisión de polen y aparición de estigmas; lo que tiene fuertes

implicancias en términos de la tolerancia a altas densidades y al estrés en general. Como no se ha encontrado asociación entre potencial de rendimiento y prolificidad, tanto los híbridos prolíficos como los no prolíficos serían adecuados para esquemas de alta producción (Otegui, 2000).

Durante el transcurso de la campaña 2005/06, en el campo de docencia y experimentación de la UNRC se realizó un experimento, en el cual se determinó el rendimiento potencial para dos híbridos de maíz (AX 882 y DK 682), alcanzándose la cifra récord (a nivel regional) de 20.000 kg/ha (Castillo *et al.*, 2006).

Por otro lado la empresa Juelen S.A, propiedad de Juan Avellaneda y Elena Figueroa, realizó durante la misma campaña (2005/06), en la localidad santafecina de Teodelina un ensayo, bajo condiciones totalmente controladas, en el cual se evaluaron 17 híbridos obteniéndose como rinde máximo 18.200 kg/ha (Avellaneda, 2006).

Conocer la productividad potencial de los cultivos, es esencial para el desarrollo de modelos de simulación que permiten, ajustar las condiciones de crecimiento de nuevos materiales genéticos a un ambiente en particular, realizar evaluaciones previas de técnicas de manejo, inferir impactos ambientales generados por la producción agrícola, predecir rendimientos, y otros usos como, docencia, investigación, asesoramiento, etc. (Pilatti y Norero, 2004). Este ensayo acerca del rendimiento potencial se realiza por considerarse de singular importancia conocer el rendimiento potencial de los híbridos de maíz recientemente lanzados al mercado. La investigación permitirá, entre otras cosas, definir modelos de producción, ajustar técnicas de manejo, hallar densidades poblacionales óptimas, elaborar estrategias de producción de maíz bajo riego y optimizar la captura de recursos en los años de altas precipitaciones.

HIPÓTESIS:

El rendimiento potencial del maíz cultivado en un Hapludol típico de Río Cuarto varía entre los diferentes materiales genéticos de reciente liberación al mercado.

OBJETIVO:

Determinar el rendimiento potencial de cinco nuevos híbridos comerciales de maíz, cultivados sin limitaciones hídricas ni nutricionales, en un Hapludol típico de Río Cuarto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Cuantificar las tasa de crecimiento del cultivo para relacionarlas con la producción de materia seca total y posteriormente con el rendimiento.
- Medir la intercepción de la radiación para calcular la radiación fotosintéticamente activa interceptada y analizar la relación con la producción de biomasa.
- Calcular la eficiencia en el uso de la radiación para saber si la eficiencia de conversión del maíz es alta y si se relaciona con el ambiente y el genotipo.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, el cual se encuentra ubicado sobre la ruta nacional 36 Km 601, localidad de Río Cuarto, provincia de Córdoba. El suelo del sitio experimental es un Hapludol típico, franco arenoso muy fino.

Los tratamientos evaluados fueron 5 híbridos comerciales de maíz de reciente aparición en el mercado, a saber:

- AX 820 Nidera SA
- AX 892 Nidera SA
- DK 682 Monsanto SA
- DK 670 Monsanto SA
- DK 747 Monsanto SA

Algunas características de dichos materiales son las siguientes:

AX 820 Nidera:

- Crecimiento inicial lento, muy precoz a floración, período de llenado largo
- Adaptado a alta densidades e hileras angostadas
- Medianamente tolerante a Mal de Río Cuarto
- Rápida velocidad de secado
- Suma térmica siembra- R_1 (base 8°C): 720 °C día⁻¹

AX 892 Nidera:

- Muy buen vigor inicial
- Planta muy foliosa, excelente stay- green
- Excelente comportamiento a Roya
- Medianamente tolerante a Mal de Río Cuarto
- Suma térmica siembra- R_1 (base 8°C): 810 °C día⁻¹

DK 682 Monsanto:

- Ciclo intermedio
- Medianamente tolerante a Roya y Mal de Río Cuarto
- Suma térmica siembra- V_T/R_1 (base 8°C): 665/675 °C día⁻¹

DK 670 Monsanto:

- Ciclo intermedio
- Medianamente tolerante a Roya y Tolerante a Mal de Río Cuarto
- Suma térmica siembra- V_T/R_1 (base 8°C): 650/660 °C día⁻¹

DK 747 Monsanto:

- Ciclo completo

- Medianamente tolerante a Roya y Tolerante a Mal de Río Cuarto
- Suma térmica siembra- V_T/R_1 (base 8°C): 675/695 °C día⁻¹

El diseño experimental realizado fue en bloques completos aleatorios con cuatro repeticiones espaciales por tratamiento. Todos los híbridos fueron sembrados con máquina de siembra directa a 0,525 m de distancia entre hilera y con una densidad de 95.000 plantas por hectárea. Cada parcela era de 4,5 m de ancho por 40 m de largo.

Todas las parcelas fueron fertilizadas al momento de la siembra con 150 kg ha⁻¹ de FDA y refertilizadas con 190 kg ha⁻¹ de N, en dos aplicaciones, el 40% en la etapa de V_4 del cultivo y el 60 % en V_8 (Gesumaría *et al.* 2000). Estas dosis fueron elegidas con el propósito de asegurar que no haya déficit de nutrientes según el programa NP-ZEA.

Un regante móvil de avance frontal marca TDK provisto de una bomba sumergible, se utilizó para la aplicación de un riego necesario para asegurar el suelo con más del 60% de su capacidad de retención de humedad en los primeros 100 cm. de profundidad, ello según lo establecido por Rivetti (2005) para el mismo sitio experimental y el mismo cultivo.

El suelo del ensayo tiene 145.15 mm de agua útil, el 60% de la capacidad de retención hídrica son 153.62 mm.

Tabla 1: Descripción del perfil de suelo del campo experimental UNRC.

Horizontes	Profundidad (mm)	Da (gr. cm ⁻³)	Wc (cm ³ .cm ⁻³)	Wm (cm ³ .cm ⁻³)	ΔW (cm ³ .cm ⁻³)	ΔW (lámina)	Wc (lámina)
A1	0 - 50	1,23	25,49	10,44	15,04	0.75	1.27
A2	51 - 200	1,32	28,67	14,34	14,34	21.35	42.72
Bw1	201 - 360	1,36	30,18	14,12	16,06	25.54	47.99
Bw2	361 - 600	1,26	24,71	11,45	13,26	31.69	59.06
BC	601 - 810	1,26	22,54	10,19	12,35	25.81	47.11
C	811 - 990	1,26	23,34	9,99	13,34	40.01	57.89
						145.15	256.03

Da, densidad aparente del suelo. Wc, contenido volumétrico de agua a -0,3bares. Wm, contenido volumétrico de agua a -15 bares. ΔW , contenido volumétrico de agua útil. Datos recopilados de Rivetti (2005).

La siembra se realizó el día 08/11/2006 (Tabla 2). Se realizaron los siguientes tratamientos químicos para el control de las malezas: 3 l ha⁻¹ de glifosato, el día 06/11/2006. 4 litros de Atrazina al 48% y 2 litros de Metolacloro, antes de la emergencia del maíz (14/11/2006)

No fue necesaria la aplicación de insecticidas.

DETERMINACIONES REALIZADAS:

- Cálculo del contenido hídrico del suelo hasta el metro de profundidad, desde el día de la siembra cada 10 días aproximadamente hasta madurez fisiológica. Esto se realizó mediante cinco muestras de suelo de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm de profundidad. Dichas muestras se obtuvieron de submuestras extraídas de cada parcela. Luego las muestras fueron secadas en estufa de circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante.

- Los valores de humedad gravimétrica fueron transformados en lámina de agua por capa según Forsythe (1980) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Lámina (cm)} = \text{HG} * \text{PEA} * \text{E}$$

Donde:

HG: Humedad gravimétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

PEA: Peso específico aparente ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$). Obtenido de la tabla 1 (Rivetti, 2005)

E: Espesor del horizonte (mm)

La lámina total de agua de 0-100 cm de profundidad se calculó como la suma de las láminas parciales de cada capa del perfil en estudio.

- Determinación de la Intercepción de la radiación solar (*IR*) mediante el uso del sensor LI-191SA de Li-Cor, en V_8 , V_{13} y R_3 (Ritchie y Hanway, 1997). En cada parcela se realizaron dos mediciones, sobre (I_0) y debajo (I) del dosel del cultivo, empleando para su cuantificación la siguiente fórmula:

$$IR(\%) = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) * 100$$

Los valores de *IR* fueron utilizados para obtener la radiación fotosintéticamente activa interceptada (*RADint*) mediante la siguiente ecuación:

$$RAD_{int} = IR\% * RAD$$

Donde *RAD* es la radiación solar incidente afectada por 0,48 para transformarla en radiación fotosintética. Los datos climáticos (temperaturas máximas, mínimas y media radiación solar y precipitaciones) fueron recolectados por la estación meteorológica automática de la FAV-UNRC ubicada en el sitio experimental.

- Producción de materia seca total del cultivo por unidad de superficie en los estadios V_8 , V_{13} , R_3 y R_6 . Esta cuantificación se realizó mediante cuatro muestras por parcela, de tres

plantas consecutivas en competencia intraespecífica completa, las mismas se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante. En R3, se particionó por órganos en hojas, tallo, panoja y espiga.

- Eficiencia de conversión de la radiación (*EUR*). Fue calculada a partir de los valores de biomasa y radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo, mediante la siguiente ecuación:

$$EUR = \frac{MS}{RAD \text{ int}}$$

Donde, *MS* es la materia seca producida (gr) y *RAD* es la radiación solar incidente afectada por 0,48 para transformarla en radiación fotosintética (MJ)

- Rendimiento, se realizó mediante cosecha mecánica de los dos surcos centrales de cada parcela con la cosechadora de parcelas Wintersteiger NM Elite1400.
- Peso de 1000 granos, se tomaron tres muestras de 100 granos cada una y luego de pesadas se expresaran los resultados cada 1000 granos.
- Número de granos por metro cuadrado, se calculó mediante la siguiente ecuación: $N^{\circ} \text{ granos m}^{-2} = (\text{Rendimiento (kg m}^{-2}) * 1000) / \text{Peso de 1000 granos (kg)}$.

Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA y comparación de medias al 5% de probabilidad según el test de DGC (Di Rienzo, *et al.*, 2002), empleando el programa estadístico INFOSTAT (2004). El test de DGC estima el punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias, PCALT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1- Fenología

La escala fenológica para describir el desarrollo del cultivo de maíz propuesta por Ritchie y Hanway (1997), utiliza caracteres morfológicos externos (macroscópicos). En ella se pueden describir dos grandes períodos: el vegetativo y el reproductivo. El primero se subdivide en estadíos identificados con la letra V y un subíndice, que señala el número de orden de la última hoja completamente expandida (lígula visible). El período reproductivo, subdividido en estadíos identificados con la letra R y un subíndice, comienza con la emergencia de los estigmas (R_1) y finaliza con la madurez fisiológica de los granos (R_6). Las subdivisiones del período reproductivo corresponden a distintos momentos del llenado de granos.

Como puede observarse en la Tabla 2, el cultivo cumplió su ciclo de crecimiento en 121 días, entre el 8/11/2006 y el 10/03/2007 aproximadamente, sin haber presentado diferencias fenológicas significativas entre materiales genéticos en el desarrollo.

Tabla 2: Fechas de ocurrencia de los estados fenológicos de cada híbrido.

Estado Fenológico	AX 820	AX 892	DK 682	DK 670	DK 747
Siembra	08/11/2006	08/11/2006	08/11/2006	08/11/2006	08/11/2006
Emergencia	15/11/2006	14/11/2006	15/11/2006	15/11/2006	15/11/2006
V ₈	11/12/ 2006	13/12/ 2006	09/12/ 2006	08/12/ 2006	11/12/ 2006
V ₁₃	24/12/2006	26/12/2006	22/12/2006	21/12/2006	24/12/2006
R ₁	29/12/2007	03/01/2007	30/12/2006	29/12/2006	01/01/2006
R ₃	27/01/2007	03/02/2007	24/02/2007	23/12/2007	26/12/2007
R ₆	05/03/2007	10/03/2007	12/03/2007	10/03/2007	17/03/2007

V₈, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; 8°-13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997).

2- Descripción climática

En la Figura 1 se puede apreciar que la temperatura del aire mínima diaria (2006/07) fue levemente superior a los valores registrados en la serie 1976/06 durante el periodo transcurrido desde siembra hasta fines de diciembre aproximadamente, a partir de V₁₃ fue inferior y esto se mantuvo el resto de los meses que duró la experiencia.

Por el contrario, las temperaturas del aire máximas diarias fueron superiores a las del promedio 1976/06 durante el periodo transcurrido desde siembra hasta V₁₃ y a partir de este

momento hasta enero, período en el que transcurrió R1, se presentaron menores temperaturas máximas que las del promedio histórico.

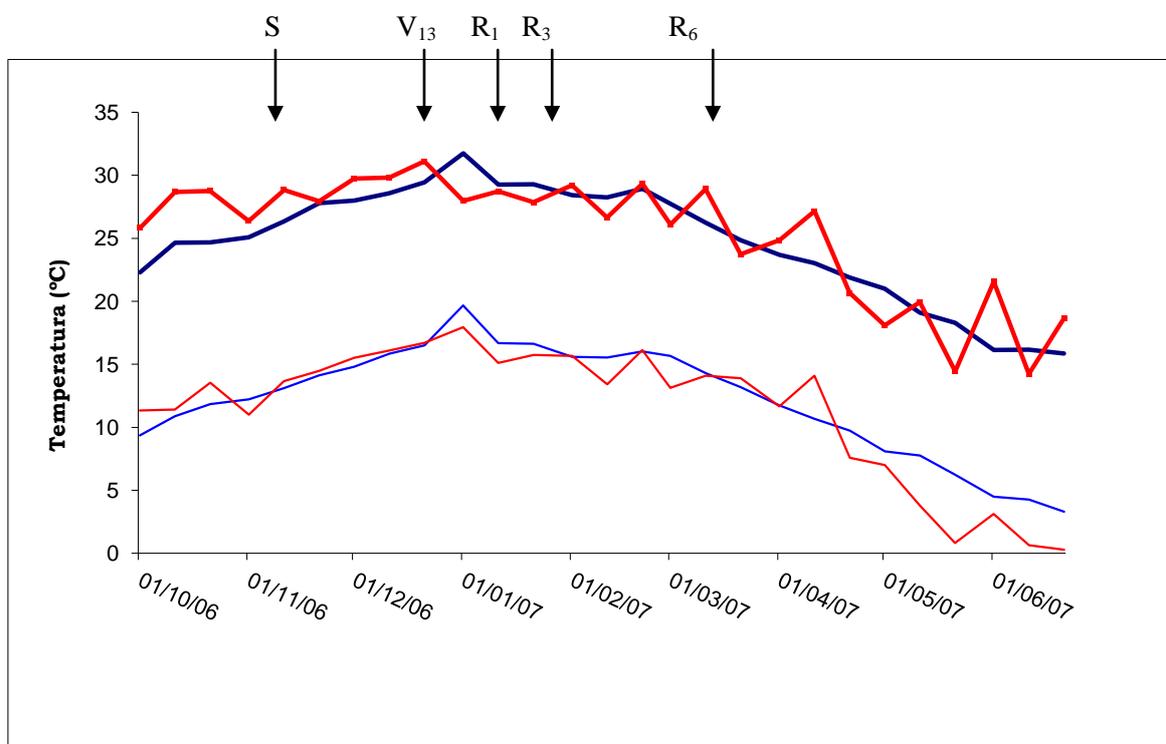


Figura 1: Temperatura máxima y mínima diaria del aire del ciclo 2006/07 (líneas en rojo) y máximas y mínimas del promedio 1976/06 (líneas en azul).

S, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; siembra, 13^o hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997).

Como consecuencia de las temperaturas máximas y mínimas, la amplitud térmica del periodo 2006/07 fue trascendental (Figura 2). Esta amplitud térmica, favoreció el crecimiento del maíz de acuerdo a lo planteado por Andrade *et al.*, (1996), dado que temperaturas diurnas relativamente elevadas permiten altas tasas de fotosíntesis, mientras que bajas temperaturas nocturnas prolongan el período de crecimiento, retardando la velocidad de desarrollo. De esta manera, posibilita al cultivo disponer de más días de fotosíntesis ya que impide que la acumulación diaria de suma térmica no acorte la duración en días de las diferentes etapas.

En la siguiente figura puede observarse que la amplitud térmica de la campaña fue superior a la del promedio del período 1976/06.

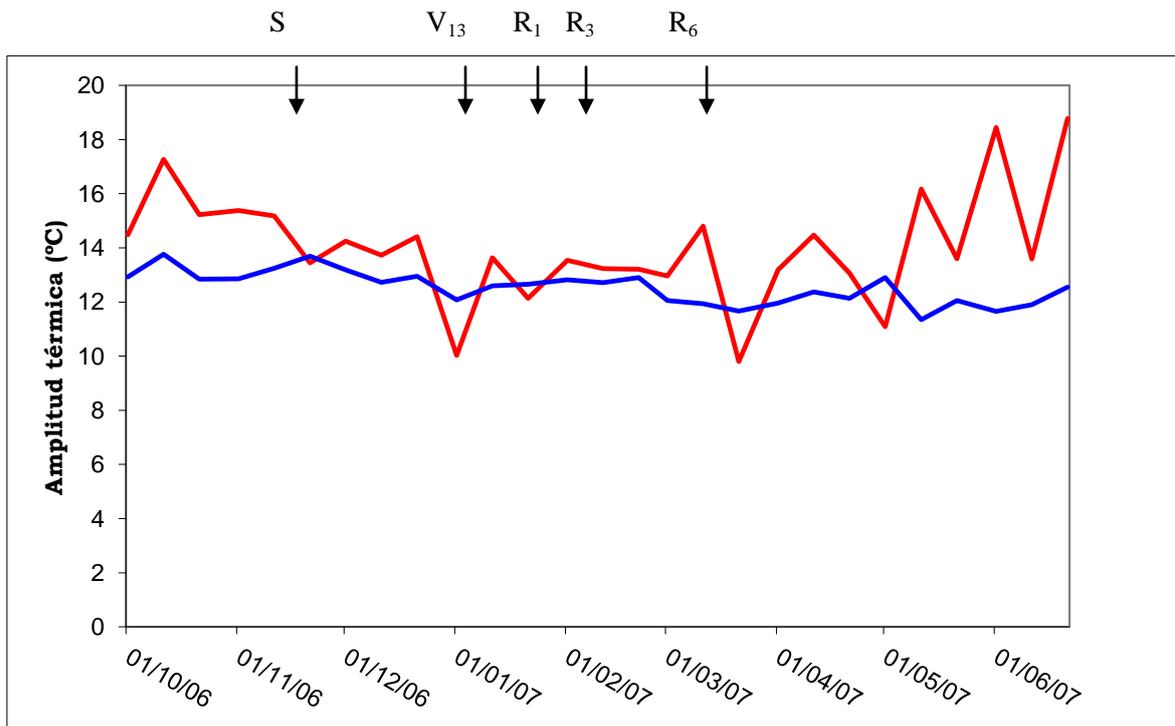


Figura 2: Amplitud térmica diaria 2006/07 (línea roja) y del promedio 1976/06 (línea azul).

S, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; siembra, 13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997).

Como puede apreciarse en la Figura 3, la radiación solar incidente registrada en la estación meteorológica durante la campaña 2006/07, fue notablemente inferior al promedio 1976/06.

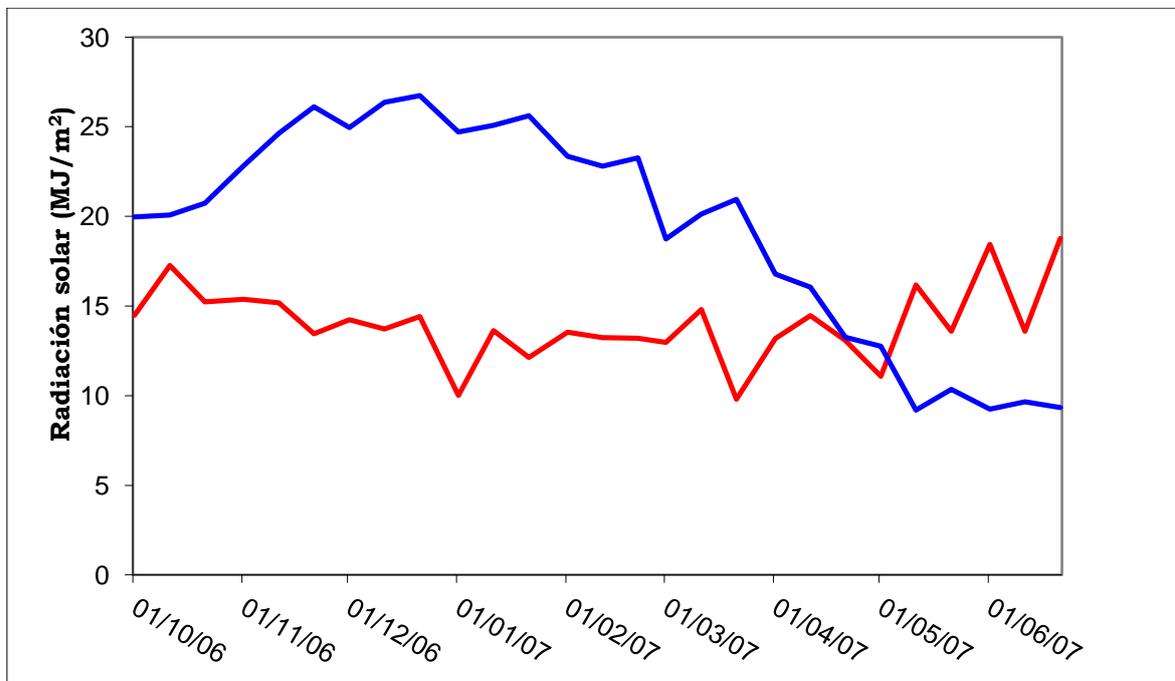


Figura 3: Radiación solar incidente 2006/07 (línea roja) y del promedio 1976/06 (línea azul).

En lo referente a las precipitaciones (Figura 4), los valores registrados fueron superiores a los del período 1976/06. En este sentido, la precipitación total desde siembra hasta R6 fue de 689 mm en la campaña 2006/07, mientras que el valor promedio histórico para el mismo periodo es de 501,5 mm. La lluvia caída desde el 26/12/06 (V13) hasta el 05/03/07 (R6) fue de 370 mm, es decir un 54% del total, lo cual evidencia la mayor proporción de lluvias entre floración y madurez fisiológica. Disminuyendo de este modo la posibilidad estrés hídrico durante el período crítico, el cual se extiende 15 días antes y 15 días después de la floración, etapa en la que ocurre la diferenciación de flores, fecundación de las mismas y el cuaje de los granos (Andrade *et al.*, 1996).

El estrés hídrico durante el período crítico, repercute directamente sobre el rendimiento, ya que disminuye la radiación interceptada, provocando una caída en la tasa fotosintética por unidad de área foliar y en consecuencia afectando la eficiencia de conversión y por lo tanto el número y peso de los granos (Sadras *et al.*, 2002).

En alta producción, el cultivo no debe sufrir deficiencias de agua durante el período crítico. Los requerimientos hídricos del maíz durante su ciclo son de alrededor de 500 mm (Andrade y Gardiol, 1995).

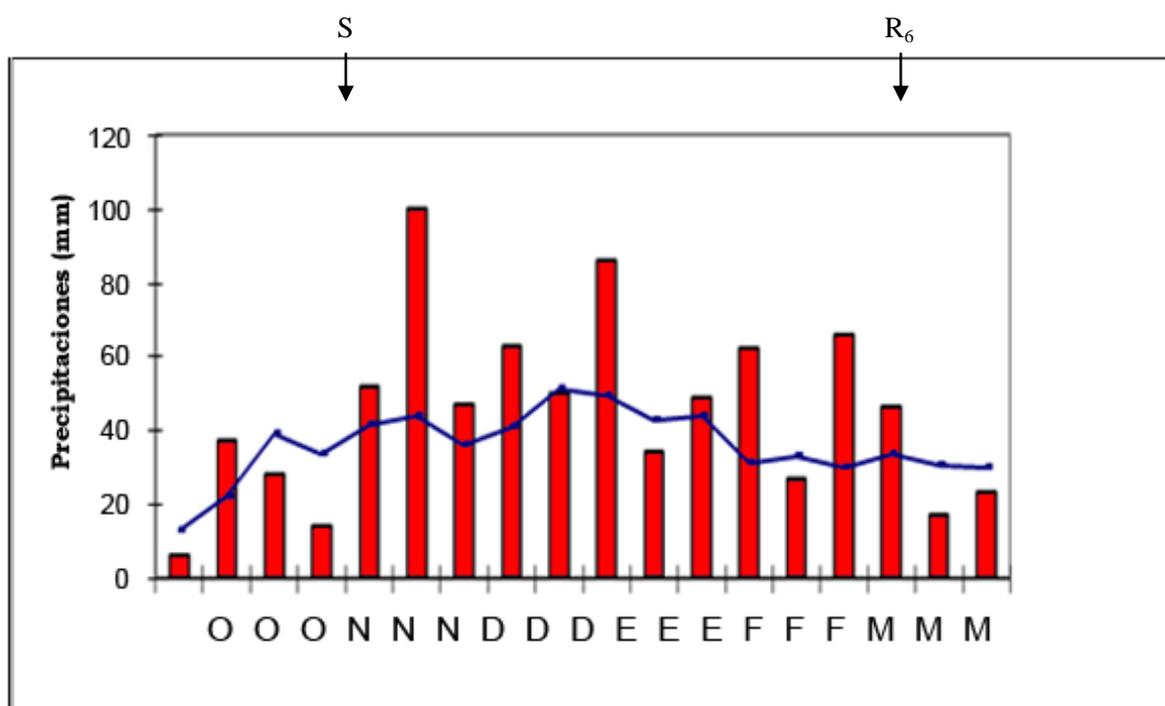


Figura 4: Precipitaciones decádicas del ciclo 2005/06 (línea) y del promedio 1976/08 (barras).

S y R₆; siembra y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997).

3- Humedad del suelo y riegos

El rendimiento en granos depende de la cantidad de agua que el cultivo pueda transpirar, la

eficiencia con que usa esa agua para producir materia seca y la proporción de materia seca que finalmente es destinada a la formación del grano (Passioura, 1996).

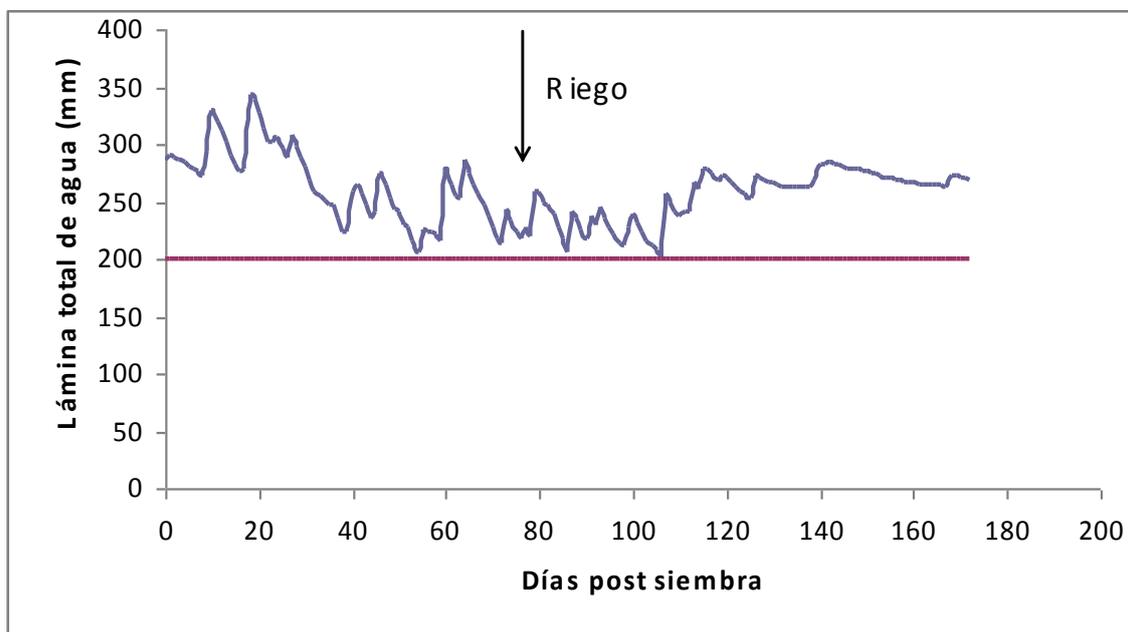


Figura 5: Evolución de la lámina total de agua del suelo de 0 a 100 cm de profundidad (línea azul) y valor umbral, 60% de la capacidad de almacenaje (línea roja) desde siembra hasta madures fisiológica del maíz

Como puede observarse en la figura 5, la lámina de agua del suelo en los 100 cm de profundidad no disminuyó por debajo del valor umbral, el cual es de 200 mm al metro de suelo según los datos obtenidos por Rivetti (2005) para el mismo sitio experimental y el mismo cultivo. Dicho umbral representa el 60% de la capacidad total de almacenaje del suelo.

El día 20/01 se realizó un riego de 30 mm a pesar que la lámina total de agua del suelo se encontraba por encima del valor umbral. Esta decisión fue tomada debido al traslado que se le realizaría al equipo de riego y a los frecuentes problemas operativos que implican los ensayos bajo riego en el campo experimental.

4- Materia seca y tasa de crecimiento

Analizar la producción de materia seca es importante porque en maíz existe una estrecha relación entre biomasa aérea y rendimiento (Andrade *et al.*, 1996).

Tabla 3: Materia seca en Kg ha⁻¹ en diferentes estadios fenológicos de maíz

Híbrido	V ₈	V ₁₃	R ₁	R ₃	R ₆
AX 820	4163,0 b	12046,5 a	18240,7 a	24924,5 b	30200,0 a
AX 892	4365,0 a	12464,0 a	17458,2 a	21448,2 c	24000,0 c
DK 682	3901,2 b	12079,0 a	18761,5 a	23474,7 b	28000,0 b
DK 670	4590,0 a	13184,7 a	21091,2 a	24472,7 b	27500,0 b
DK 747	4488,7 a	12452,7 a	22743,2 a	26856,5 a	30700,0 a
PCALT	281,90	1417,17	4996,10	2473,41	2259,23
CV.	4,05	7,03	15,69	6,30	4,97

MS, materia seca. AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb. V₈, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; 8°-13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

En la Tabla 3 se puede observar que en el estadio fonológico V₈, los híbridos presentaron diferencias estadísticamente significativas en la producción de materia seca. Los materiales genéticos AX 820 y DK 682 produjeron, en promedio, un 11% menos de materia seca que el promedio de los restantes híbridos. Por el contrario, en V₁₃ y R₁ no hubo diferencias significativas entre los híbridos testeados. En el estadio R₃ los datos obtenidos del análisis estadístico indican tres niveles de producción; siendo DK 747 el híbrido más productivo, seguido por el grupo de DK 682, DK 670 y AX 820, sin diferencias entre ellos, y AX 892 como el de menor producción. El híbrido de mayor producción superó un 10% el promedio de los tres híbridos de producción media y éstos un 12% más que el de menor producción. En R₆ los materiales genéticos AX 820 y DK 747 se destacaron por la mayor producción de materia seca, entregaron en promedio un 9% más que el promedio de los materiales DK 682 y DK 670, los cuales presentaron los valores medios y el híbrido AX 892 produjo un 14% menos de biomasa aérea que el promedio de los dos materiales que formaron el nivel medio.

Además en la Tabla 3 puede observarse que el híbrido AX 820 comienza en el estadio fenológico V₈ con una producción de materia seca menor, en comparación con el resto de los materiales genéticos, y finaliza en R₆ siendo uno de los dos materiales de mayor producción con el híbrido DK 747. Contrariamente a este caso, el híbrido AX 892 comenzó, en el estadio fenológico V₈, con una producción de materia seca mayor y finalizó en el estadio R₆ con la menor biomasa aérea.

Esta producción de materia seca se asemeja a la obtenida por Andrade *et al* (1995). Quien obtuvo en maíces de ciclo intermedio conducidos sin limitaciones hídricas ni nutricionales en Balcarce entre 25.000 y 30.000 Kg ha⁻¹, estos valores son casi el doble de los que se obtienen en otros cultivos como girasol y soja.

Por su parte, Rivetti (2005) en una investigación realizada en el campo experimental de la UNRC, con el objetivo de evaluar el efecto del riego complementario sobre el rendimiento de materia seca del cultivo de maíz, obtuvo valores extremos de 34.628 Kg ha⁻¹.

Esta mayor producción de biomasa aérea total se atribuye a dos causas principales: la mayor cantidad de radiación interceptada a lo largo de la estación de crecimiento y a la mayor eficiencia de conversión del maíz (Andrade, 1995).

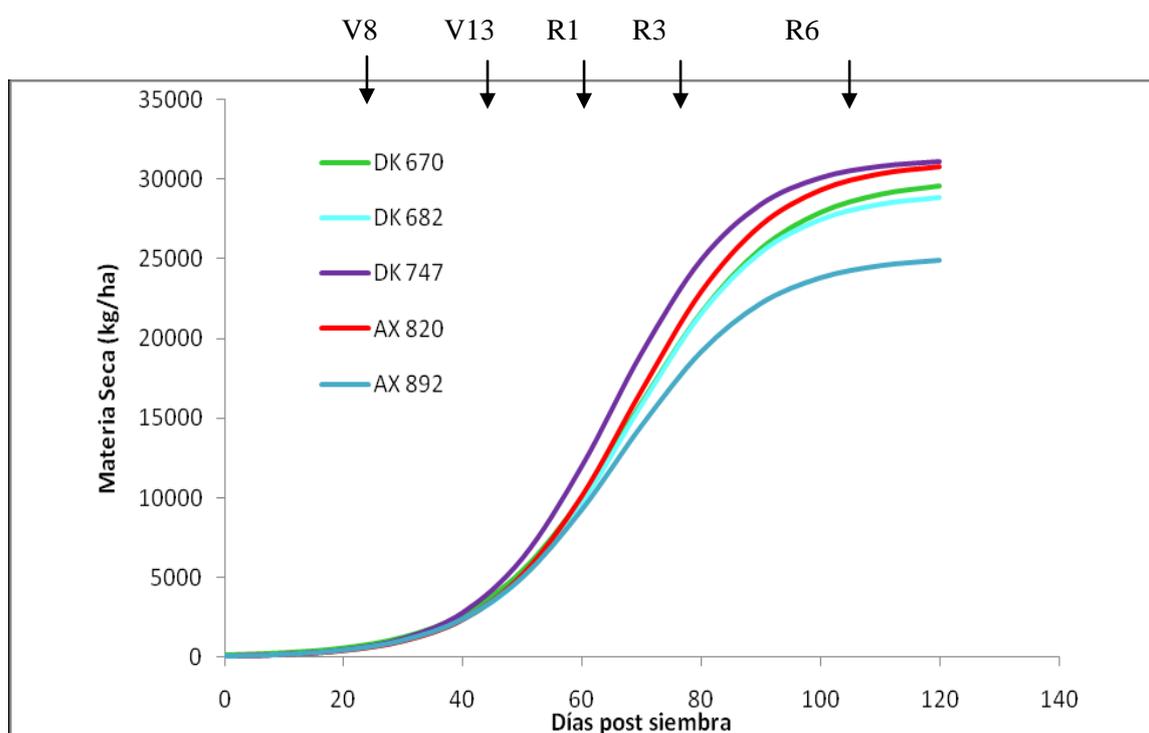


Figura 6: Curvas de producción de materia seca de los híbridos de maíz analizados.

AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb.

Como puede observarse en la Figura 6 durante los primeros días del ciclo del cultivo las tasas de crecimiento (las pendientes de las curvas) son bajas, ya que la producción está orientada en su mayor parte a generar tejidos foliares. Posteriormente, durante la etapa de encañazón, se produce el mayor aumento de biomasa. A partir de la floración, se detiene la producción de tejido foliar, el tallo continúa su incremento de peso (debido a la acumulación de sustancias de reserva) y los órganos reproductivos entran en un acelerado proceso de crecimiento. Durante esta etapa, la fracción vegetativa experimenta un proceso de removilización y translocación de reservas con destino a los granos, lo cual da lugar a una pérdida neta del peso de los órganos vegetativos durante la fase final del crecimiento del cultivo (Satorre *et al*, 2005).

La tasa de crecimiento de un cultivo es la biomasa acumulada por unidad de tiempo y la tasa de crecimiento de un cultivo alrededor de la floración determina el número de granos y con ello el rendimiento. Además la fracción de carbono fijado que se destina a la respiración es

relativamente constante, por lo que obtener aumentos en la tasa de crecimiento requiere aumentos proporcionales en la radiación interceptada. Por ello el proceso de crecimiento se debe principalmente al intercambio neto de carbono entre la planta y el ambiente, a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual la planta transforma energía solar fotosintéticamente activa en energía química (Satorre *et al*, 2005).

Tabla 4: TCC ($\text{Kg ha}^{-2}\text{día}^{-1}$).

Híbrido	V ₈ -V ₁₃	V ₁₃ -R ₁	R ₁ -R ₃	R ₃ -R ₆	V ₁₃ -R ₃
AX 820	438,0 a	364,5 a	417,7 a	160,0 a	390,2 a
AX 892	450,0 a	293,7 a	249,5 a	77,5 a	272,2 b
DK 682	454,3 a	393,0 a	294,7 a	137,0 a	345,5 a
DK 670	477,5 a	465,0 a	211,5 a	91,7 a	342,0 a
DK 747	442,3 a	605,5 a	257,0 a	116,5 a	436,2 a
PCALT	72,37	280,8276	246,3015	76,2740	74,3677
CV.	9,88	40,85	53,14	40,40	12,85

TCC, tasa de crecimiento del cultivo. AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb. V₈, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; 8°-13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

Como puede observarse en la Tabla 4, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los subperíodos considerados. Por el contrario, como se observa en la última columna de la tabla, durante el período crítico V₁₃- R₃ se presentaron diferencias estadísticamente significativas, siendo el híbrido AX 892 el que tuvo una TCC un 28% menor que el promedio de los restantes. Lo cual justifica la menor producción de materia seca presentada en la Tabla 3.

Valores de TC similares se encontraron en Balcarce ($400 \text{ Kg ha}^{-2}\text{día}^{-1}$) durante el período V₁₃- R₃, en días de alta radiación incidente, con temperaturas óptimas para el proceso de fotosíntesis y con cultivos en excelente estado fisiológico (Andrade *et. al*, 1996).

5- Intercepción de la radiación y radiación fotosintéticamente activa

Como se mencionó anteriormente, la tasa de crecimiento del cultivo de maíz (creciendo sin limitaciones) es directamente proporcional a la radiación interceptada. Este hecho obedece a factores independientes que actúan a nivel del canopeo (Andrade *et. al.*, 1996).

La estructura de un dosel, ejerce influencia en la temperatura, concentración de vapor y régimen de radiación en el medio ambiente de la planta; afecta los procesos de fotosíntesis, transpiración, alargamiento de células, crecimiento y competencia entre especies (Russell *et al*, 1986). La inclinación, distribución y orientación de la hoja pueden ser importantes para determinar la intercepción de radiación (Roderick, 1981).

Tabla 5: IR (%).

Híbrido	V ₈	V ₁₃	R ₁	R ₃	R ₆
AX 820	0,29 b	0,87 a	0,92 b	0,90 a	0,86 a
AX 892	0,31 b	0,86 a	0,94 b	0,93 a	0,83 a
DK 682	0,31 b	0,91 a	0,94 b	0,93 a	0,89 a
DK 670	0,32 b	0,92 a	0,96 a	0,93 a	0,86 a
DK 747	0,36 a	0,90 a	0,97 a	0,97 a	0,91 a
PCALT	0,0298	0,0483	0,0273	0,0699	0,0720
CV.	5,79	3,34	1,79	4,64	5,11

IR, interceptación de la radiación. AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb. V₈, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; 8°-13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

Como puede apreciarse en la Tabla 5, en los estadíos fonológicos V₁₃, R₃ y R₆ no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas. Por el contrario en el estadío V₈ el híbrido DK 747 tuvo un 15 % más de IR y en R₁ los materiales DK 670 y DK 747 tuvieron un 3% mas de IR que el promedio de los híbridos restantes.

Una mayor cantidad de radiación interceptada se traduce en una mayor acumulación de biomasa a madurez, la cual, debido a la constancia del índice de cosecha, se traduce en un mayor rendimiento (Vega y Andrade, 2000).

La radiación fotosintéticamente activa es la fracción del espectro solar que posee una longitud de onda con suficiente energía como para causar cambios en los niveles de energía química de las plantas. De dicha radiación es importante considerar la que es interceptada por las hojas, la cual depende principalmente del área foliar, es decir del número y tamaño de las hojas, ambos influenciados por la genética y el ambiente (Sinclair, 1994). Como este último fue optimizado en este ensayo, el crecimiento de área foliar no fue limitado, por lo que la RFA interceptada dependió del genotipo.

Tabla 6: RFAi (MJ m⁻²).

Híbrido	S-V ₈	V ₈ - V ₁₃	V ₁₃ - R ₁	R ₁ - R ₃	R ₃ - R ₆	S - R ₆
AX 820	335,7 b	119,31 b	159,12 b	176,54 b	316,45 a	837,93 b
AX 892	341,3 b	120,72 b	160,42 b	180,91 b	315,02 a	847,98 b
DK 682	346,4 b	126,14 a	165,19 a	181,20 b	326,29 a	870,22 b
DK 670	350,9 a	127,59 a	167,29 a	183,61 b	321,42 a	873,12 b
DK 747	354,9 a	129,99 a	166,64 a	188,22 a	337,87 a	905,80 a
PCALT	8,5700	5,0122	3,6847	7,3997	20,6344	34,3021
CV.	1,53	2,48	1,39	2,51	3,94	2,44

RFAi, radiación fotosintéticamente activa interceptada. AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb. S, siembra V₈, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; 8°-13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica

del maíz según Ritchie y Hanway (1997). En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

Como se puede observar en la Tabla 6 en el período fenológico S-V₈ se destacan los híbridos DK 670 y DK 747 con un 3,4% más de RFAi que el promedio de los demás materiales. En R₁-R₃ el híbrido DK 747 obtuvo 4% más RFAi que el promedio de los materiales restantes. En los períodos V₈-V₁₃ y V₁₃-R₁ también se observaron diferencias estadísticas, siendo los materiales AX 820 y AX 892 los que presentaron 6 y 4% menos RFAi respectivamente. En el estadio R₃-R₆ no se mostraron diferencias. Finalmente analizando la RFAi desde siembra a R₆ se destaca el híbrido DK 747 con un 5% más que el promedio de los restantes.

Estos resultados son semejantes con los obtenidos por Andrade *et al.*, (1996), quien alcanzó valores de 800, 900 y 1.000 MJ m⁻² de RFA interceptada en diferentes híbridos.

6- Eficiencia en el uso de la radiación

Andrade *et al.*, (1996) obtuvieron una relación lineal entre la radiación interceptada acumulada y la producción de materia seca acumulada. La pendiente de esta relación es una medida de la eficiencia de conversión de la RFA interceptada en biomasa vegetal, lo que también se conoce como eficiencia en el uso de la radiación.

Es importante ya que determina la cantidad de biomasa acumulada. De hecho, la alta capacidad de producción del maíz es debida a la elevada EUR, al bajo valor energético de la biomasa producida y a una adecuada estructura de cultivo (Andrade *et al.*, 1995).

Tabla 7: EUR (gr MJ⁻¹)

Híbrido	S - V ₈	V ₈ - V ₁₃	V ₁₃ - R ₁	R ₁ - R ₃	R ₃ - R ₆	S - R ₆
AX 820	6,27 a	6,61 a	3,92 a	3,78 a	1,67 a	3,61 a
AX 892	6,16 a	6,71 a	3,10 a	2,23 a	0,83 a	2,83 c
DK 682	5,51 a	6,49 a	4,05 a	2,61 a	1,38 a	3,22 b
DK 670	6,30 a	6,73 a	4,74 a	1,84 a	0,94 a	3,15 b
DK 747	5,41 a	6,13 a	6,18 a	2,17 a	1,14 a	3,39 b
PCALT	0,7946	0,9603	2,9574	2,1137	0,7744	0,3146
CV.	8,27	9,07	41,53	51,67	40,07	5,99

EUR, eficiencia en el uso de la radiación. AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb. V₈, V₁₃; R₁, R₃ y R₆; 8°-13° hoja, emergencia de estigmas, grano lechoso y madurez fisiológica del maíz según Ritchie y Hanway (1997). En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

Como puede observarse en la Tabla 7, en los períodos fenológicos S-V₈, V₈-V₁₃, V₁₃-R₁, R₁-R₃ y R₃-R₆ no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales

analizados. Contrariamente a esto, si se observa la EUR desde siembra a R_6 se obtuvieron diferencias entre los híbridos testeados, los materiales DK 682, DK 670 y DK 747 conformaron el nivel medio, el nivel superior lo estableció el híbrido AX 820 el cual obtuvo un 10% más de EUR y el AX 892 presentó un 13% menos de EUR que el promedio los híbridos que conformaron el nivel medio.

El maíz es la especie que muestra los valores más altos de eficiencia de conversión de los cultivos estivales (Andrade *et al.*, 1995).

Las razones de esta característica se encuentran en distintos niveles. A nivel cloroplasto, el maíz posee un metabolismo de fijación de carbono por la vía C4. Las especies C4 se caracterizan porque la fijación inicial del CO_2 la realizan por la proteína fosfoenol piruvato carboxilasa (PEP), la cual tiene una alta afinidad por el CO_2 , por lo que lo capturan con una menor cantidad de proteína y a una alta tasa, no presenta fotorrespiración detectable por lo que el ritmo fotosintético es entre un 30 y un 40% mayor que el de las especies C3 como la soja (Laing *et al.*, 1974). A nivel del canopeo, posee un hábito más erectófilo y una amplia separación vertical entre hojas, esto le confiere al maíz un menor coeficiente de extinción lumínico el cual es importante porque no existen hojas que sean parásitas, por lo que si no hay fotosíntesis la hoja muere (Comunicación personal)¹. Todo esto le posibilita una mayor penetración y una distribución más uniforme de la luz en el perfil del canopeo.

Andrade *et al.*, (1996) obtuvieron valores de eficiencia de conversión de diferentes híbridos de 2,27, 2,77 y 2,96 g/MJ para los distintos años representados. Las variaciones encontradas fueron más ligadas a variaciones ambientales que a variaciones genotípicas. Contrariamente a los resultados obtenidos aquí, en general la eficiencia de conversión de los distintos híbridos empleados no difirió significativamente entre sí dado que la determinación de la EUR entre siembra a madurez fisiológica mostró diferencias genotípicas.

Por otro lado, observando la tabla de otro modo, se puede observar que hasta V_{13} la EUR es más constante, y pasando el período vegetativo la EUR disminuye, este comportamiento se mantiene en todos los materiales analizados. Esto se debe a que, si bien la calidad energética de los principales metabolitos producidos en las distintas etapas ontogénicas es similar (Andrade *et al.*, 1996), la eficiencia de conversión del maíz puede disminuir después de la anthesis debido, entre otras razones, a cambios en la arquitectura del canopeo, disminución de la actividad fisiológica y a la pérdida en la capacidad fotosintética por senescencia foliar (Williams *et al.*, 1968).

¹ Comunicación personal: Ing. Gabriel Espósito, Cereales, FAV – UNRC

7- Rendimiento y componentes

Tabla 8: Rendimiento, N° granos m⁻¹ y peso de 100 granos.

Híbrido	Rto (Kg. ha ⁻¹)	N° granos m ⁻²	Peso de 100 granos
AX 820	15770,5 a	3990,75 b	40,03 a
AX 892	14242,2 b	4328,0 b	33,40 b
DK 682	15035,7 b	5247,0 a	28,70 b
DK 670	15980,0 a	4103,25 b	39,06 a
DK 747	16683,5 a	5064,25 a	33,02 b
PCALT	1360,6062	622,4450	4,5919
CV.	5,40	8,45	8,14

IC, índice de cosecha, AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb.. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

En la Tabla 8 puede observarse que hubo diferencias estadísticamente significativas de rendimiento, los materiales genéticos AX 820, DK 670 y DK 747 tuvieron, en promedio, una producción 9 % aproximadamente mayor que el promedio de los restantes. Referido al número de granos m⁻² también se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los híbridos, los materiales DK 682 y DK 747 obtuvieron en promedio un 17% más que el promedio de los restantes

El número de granos es el principal componente del rendimiento. A su vez el número final de granos logrados es función de la tasa de crecimiento del cultivo durante el periodo alrededor de la floración (Andrade *et al.*, 1996).

Por otro lado también existe una relación directa entre número de granos por planta y radiación incidente (Andrade *et al.*, 1996).

Ensayos conducidos en Balcarce con el híbrido DK 636 mostraron que reducciones en la radiación incidente (de aproximadamente el 50 %) durante un periodo de 30 días alrededor de la floración, produjeron disminuciones del 50 % o más en el rendimiento del cultivo. Sombreados de igual intensidad aplicados durante el llenado de granos produjeron disminuciones inferiores al 25 % (Andrade *et al.*, 1995). Fischer y Palmer (1984) encontraron que las máximas reducciones en el rendimiento de maíz se daban cuando el sombreado era alrededor de la floración.

La disminución de la radiación incidente en floración reduce la tasa de crecimiento del cultivo produciendo caídas en el número de granos por unidad de superficie.

Referido al peso de los granos, como puede observarse existieron diferencias estadísticamente significativas, los híbridos AX 820 y DK 670 obtuvieron en promedio un 17 % más de peso en grano que el promedio del resto de los híbridos.

Por lo tanto se puede determinar que el híbrido DK 747 obtuvo alto rendimiento basado en el número de granos, por el contrario, los materiales DK 670 y AX 820 establecieron su rendimiento en el peso de granos.

El índice de cosecha es la fracción de la biomasa aérea total alojada en los granos a madurez fisiológica. Como puede observarse en la Tabla 8 no hubo diferencias estadísticamente significativas de este parámetro entre los materiales genéticos.

El aumento en los rendimientos promedios de maíz durante las últimas décadas puede atribuirse tanto al progreso en el manejo del cultivo como al mejoramiento genético. La contribución de este último a la mejora en el rendimiento promedio oscila entre un 40 y 100% y ha sido principalmente el resultado de una mayor tolerancia al estrés. (Valentinuz y Papparotti, 2004)

Tabla 9: MS total, rendimiento e índice de cosecha

Híbrido	MS total (Kg ha-1)	RTO (Kg. ha-1)	IC
AX 820	30200,0 a	15770,5 a	0,52 a
AX 892	24000,0 c	14242,2 b	0,59 a
DK 682	28000,0 b	15035,7 b	0,54 a
DK 670	27500,0 b	15980,0 a	0,58 a
DK 747	30700,0 a	16683,5 a	0,54 a
PCALT	2259,23	1360,6062	0,0735
CV	4,97	5,40	8,15

AX, material genético de la marca comercial Nidera. DK, material genético de la marca comercial Dekalb. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test PCALT (Punto de corte establecido mediante el encadenamiento promedio del árbol de medias). CV, coeficiente de variación.

Observando la Tabla 9 se puede determinar que existe relación entre la MS producida y el rendimiento ya que los materiales AX 820 y DK 747 que tuvieron mayor biomasa alcanzaron mayor producción de granos.

8- Relación entre variables

Como la producción granos está vinculada a la producción total de biomasa, se relacionó ambas variables (Figura 7), encontrándose un ajuste lineal del 74,09%. Coincidiendo con lo presentado en las Tablas 3 y 8, los híbridos AX 820 y DK 747 fueron los más productivos en biomasa total y en rendimiento. Además se destaca que no se ha encontrado diferencias significativas en el índice de cosecha entre materiales (Tabla 9). Por lo tanto una mayor capacidad de producción de biomasa total es la variable que sintetiza las diferencias genéticas.

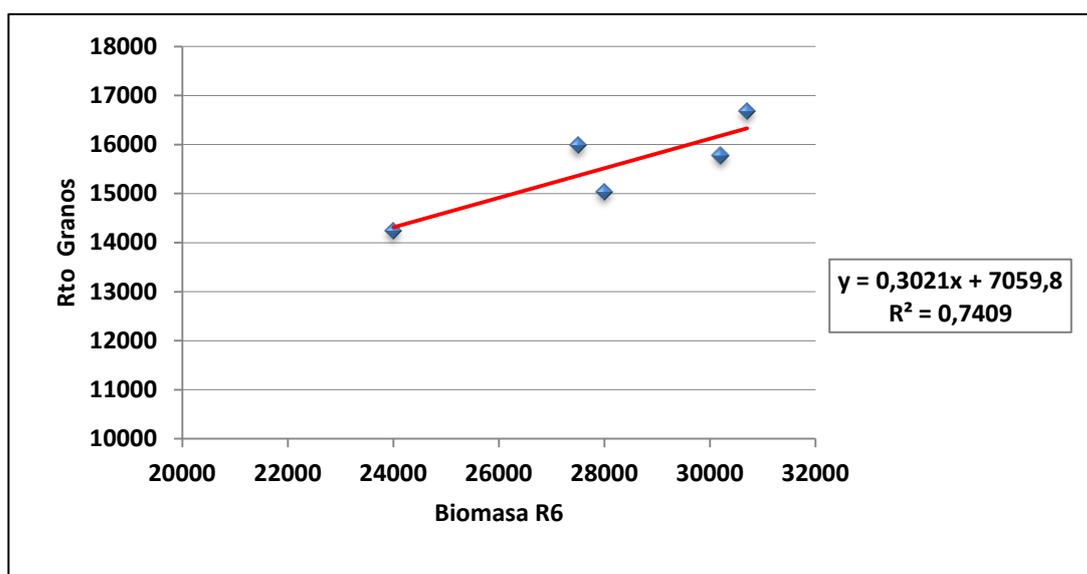


Figura 7: Relación rendimiento de granos y biomasa total a R6.

Considerando que la producción de biomasa del maíz en el tiempo es una función logística (Figura 6), la cual tiene un aspecto lineal entre V_{13} y R_3 , es de suponer que la duración y/o la tasa durante este periodo, explique la producción de biomasa total. Como fue mencionado en el párrafo anterior, todo incremento en la producción de biomasa total se traducirá en aumentos de la producción de granos, por lo tanto resulta adecuado relacionar ambas variables.

En la Figura 8 se describe una relación lineal directa entre tasa de crecimiento del cultivo en el período crítico y el rendimiento en granos. El híbrido AX 892 obtuvo 28% menos de TC que el promedio de los demás materiales (Tabla 4) y estuvo en el grupo de menor rendimiento en grano con DK 682 (Tabla 8).

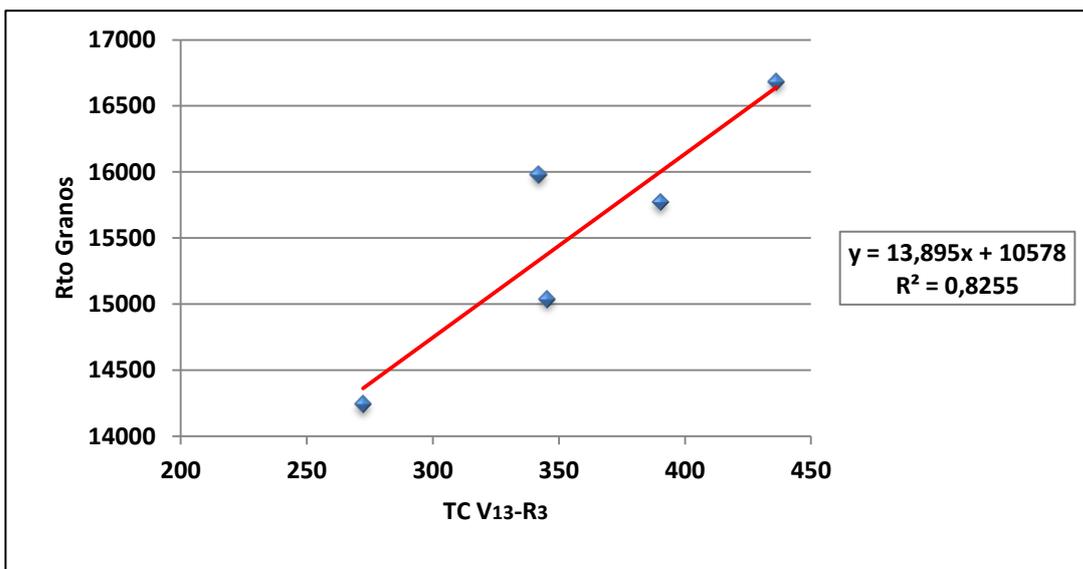


Figura 8: Relación entre rendimiento de granos y tasa de crecimiento del cultivo entre V₁₃ y R₃.
TC, tasa de crecimiento del cultivo (kg ha⁻¹), V₁₃, 13° número de hoja, R₃, grano lechoso.

Con respecto al rendimiento y sus componentes principales, número y peso de los granos, no se encontraron relaciones, si bien éstos explican la producción final obtenida, los diferentes híbridos estructuran la producción mediante distinta combinación entre componentes (Figura 9 y 10).

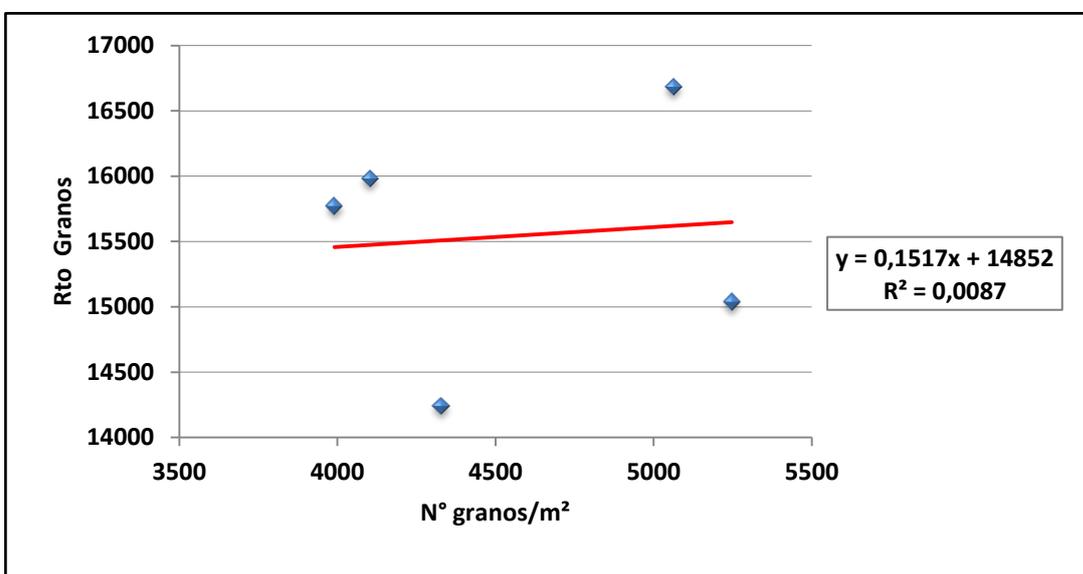


Figura 9: Relación entre rendimiento de granos y número de granos.

Referido al peso de los granos, éste depende de la duración de llenado y de la tasa de llenado. Incrementos en el peso de los granos está relacionado con la capacidad de cada híbrido para removilizar reservas desde estructuras vegetativas, es decir, el peso de los granos tiene influencia genética.

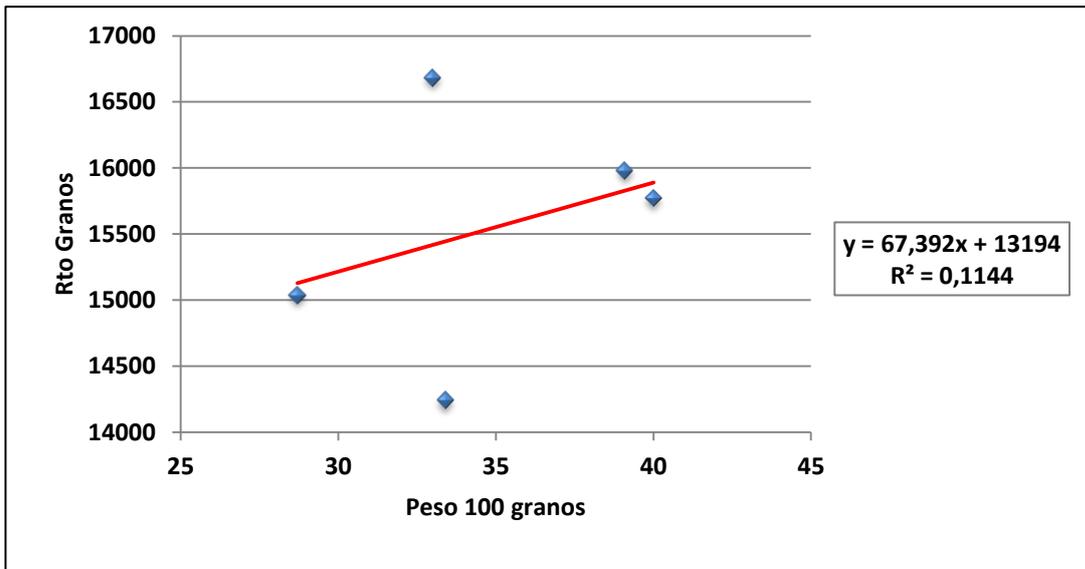


Figura 10: Relación entre rendimiento de granos y peso 100 granos

Estas dos últimas figuras (9 y 10) explican que los híbridos evaluados difieren en la estrategia de rendimiento, lográndolo por número de granos, como es el caso de DK 747 o por peso de granos como los materiales AX 820 y DK 670. No se pudo hallar una relación entre rendimiento y número o rendimiento y peso de granos. Por lo tanto se resalta que los distintos rendimientos de los materiales analizados se explican por distinta acumulación de biomasa y distinta partición a órganos cosechables.

Por lo último planteado resulta conveniente comprender los mecanismos ecofisiológicos que modifican la producción de biomasa entre los híbridos evaluados.

Como bien ha quedado explicado con anterioridad, una mayor producción de biomasa aérea total se atribuye a dos causas principales: la mayor cantidad de radiación interceptada (RFAi) y a la mayor eficiencia en el uso de la radiación (EUR). Referido a la RFAi, se puede observar (Figura 11) que no se presenta correlación con el rendimiento de granos.

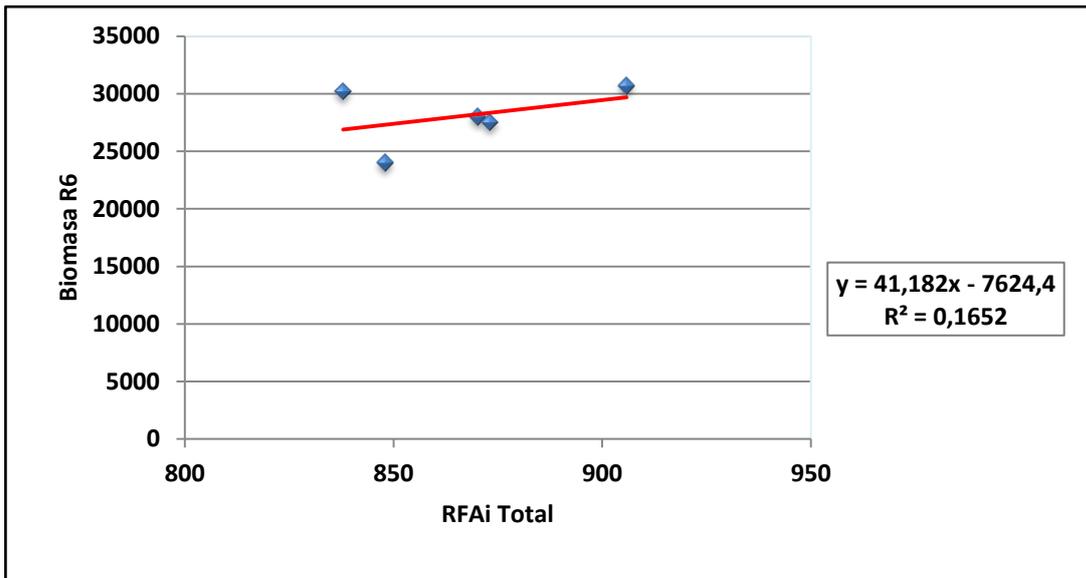


Figura 11: Relación entre biomasa total y radiación fotosintéticamente activa interceptada total.

R₆, madurez fisiológica, RFAi total, radiación fotosintéticamente activa interceptada total.

Por el contrario, en relación a la eficiencia con la cual la radiación interceptada es transformada en biomasa, fue una variable que explicó las diferentes producciones de biomasa encontrada entre híbridos, con una proporcionalidad lineal directa entre el rendimiento y la EUR (Figura 12).

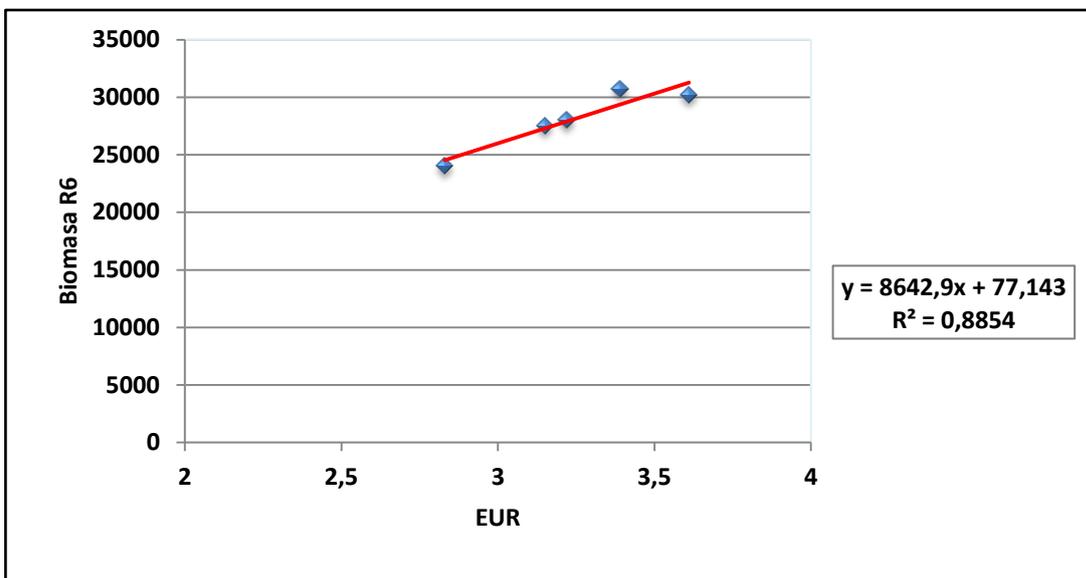


Figura 12: Relación entre biomasa total y eficiencia en el uso de la radiación.

R₆, madurez fisiológica, EUR, eficiencia en el uso de la radiación.

Por lo tanto, en este sentido, la producción de biomasa total fue modificada por las diferentes eficiencias en el uso de la radiación de los híbridos, no siendo alterada la capacidad de capturar radiación fotosintéticamente activa. Una de las particularidades de este periodo fue la nubosidad, por lo tanto las mayores producciones de biomasa se obtuvieron en los materiales que

presentaron mayor capacidad de convertir la radiación en biomasa. Lo cual explicaría que en condiciones potenciales y con altas densidades de siembra los híbridos no se diferencian en la capacidad de capturar radiación pero sí en la capacidad de utilizar la misma.

CONCLUSIONES

- Existen diferencias de rendimiento potencial en los diferentes híbridos de maíz estudiados dado las diferencias de producción de materia seca total.
- Las diferencias de producción de biomasa se explica por las diferencias de eficiencia en el uso de la radiación no así en la radiación fotosintéticamente activa interceptada.
- Los híbridos difieren en la estrategia de generación de rendimiento, ya que algunos aumentan el número de granos y otros el peso de los granos. El híbrido DK 747 y el DK 670 fueron los que presentaron mayor rendimiento, el primero por alto número de granos y el segundo por peso.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, C. y E. MULLIN 2004 Enciclopedia de la nueva Agricultura. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. Ed. Artes gráficas Rioplatenses SA.: 201-204.
- ANDRADE, F. y J. GARDIOL 1995 Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín técnico 132. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce, Buenos Aires, Argentina
- ANDRADE, F. H. y M. A. FERREIRO 1996 Reproductive growth of maize, sunflower and sunbean at different source levels during grain filling. *Field Crops Research* 48.: 155- 165.
- ANDRADE, F., A. CIRILO, S. UHART y M. OTEGUI 1996 Maíz en sistemas de alta producción. *En: Ecofisiología del cultivo de maíz*. Cap 9.: 255- 269.
- ANDRADE, F.H., A.G. CIRILO, S.A. UHART y M.E. OTEGUI 1997 Ecofisiología del cultivo de maíz. La Brrosa (Ed.). Dekalbpres. INTA, FCA-UNMP. Balcarce, Argentina.
- ANDRADE, F. H. y V. O. SADRAS. 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Producciones Gráficas Sirio. EEA INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 443 pp. Cap. 3.: 61-91.
- ANDRADE, F. y O. SADRAS 2003 Producción potencial y demanda futura de alimentos agrícolas. *En: Bases para el manejo del maíz, del girasol y de la soja*. Ed.: Andrade y Sadras. Editorial Médica Panamericana SA.: Cap. 1.: 9-28.
- ANDRADE, F. y P. ABBATE 2005 Response of Maize and Soybean to Variability in Stand Uniformity *Agron. J.* 97:1263–1269.
- AVELLANEDA, 2006. Maíz: La revolución del mercado interno. <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=131>
- BARBIERI, P. A., H. SAINZ ROJAS y F. ANDRADE 2002 Narrow rows in corn under no till: Accumulation and dry matter partition.
- BORRAS, L., G. MADONNI y M. OTEGUI 2003 Leaf senescent in maize hybrs: plant population, row spacing and kernel set effects. *Field Crops Res.* 82: 13-26
- CANTARERO, M. G., A. G. CIRILO y F. H. ANDRADE 1999 Night Temperature at Silking Affects Kernel Set in Maize. *Crop Science*. Cap. 39:703–710.
- CÁRCOVA, J., L. BORRÁS y M. E. OTEGUI 2004 Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del maíz. *En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Ed. Satorre *et al.* Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Cap. 8.: 135-166.
- CASTILLO, C., G. ESPÓSITO y R. BALBOA 2006 Definición del rendimiento potencial de maíz en la región de Río Cuarto. Informe presentado a Nidera SA.

- CIRILO, A 1994 Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 86 págs.
- CIRILO, A. G y F. H ANDRADE 1996 Sowing date and kernel weight in maize. *Crops Science*. Cap. 36.: 325- 331.
- DI RIENZO, J.A., A.W. GUZMÁN y F. CASANOVES 2002 A Multiple Comparisons Method based on the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics*, 7(2): 1-14.
- DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- DUVICK, D. N. 1984. Genetic contributions to yield grain of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980, pp. 15-47 En: W.E. Fehr (Ed). Genetic contribution to yield grains of five major crops plants. *Crop Science Society of America. Special Publication 7*
- ECHARTE, L y F. ANDRADE 2003 Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Res.* 82:1-12.
- EVANS, L y R. FISCHER 1999 Yield potential: Its definition, Measurement and significance. *Crop Sci.* 39:1544-1551.
- FISCHER, K.S. y F.E. PALMER 1984 Tropical maize. In: Goldsworthy, P.R. Fischer, N.M (ed.), *The Physiology of the Field Crops*. Wiley, New York, pp 213-248
- GESUMARIA, J., C. CASTILLO, G. ESPOSITO y R. BALBOA. 2000. NP-Zea ~ Programa para el cálculo de dosis de nitrógeno y fósforo. Registro del derecho de autor DNDA Exp 97476. 13/11/2000.
- LAING WA., W. L OGREN y R. H HAGEMAN 1974 Regulation of soybean net photosynthetic CO₂ fixation by the interaction of CO₂, O₂, and ribulose 1, 5-diphosphate carboxylase. *Plant Physiol* 54: 678-685
- MADONNI, G. A., M. E OTEGUI y A. G CILO 2001 Plant population density, row spacing and Irbid effects on maize Canopy architecture and light interception. *Field crops. Res.* 71: 183-193
- OTEGUI, M.E. y F. H ANDRADE 2000 New relationships, between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: *Physiology and modelling kernel set in maize. CSSA Special Publication Number 29*.
- PASSIOURA, J. B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Reg.* 20:79-83.
- PEPER, A. 2002. Bases fisiológicas de la estabilidad del rendimiento de maíz. Tesis M. Sc. EPG-Fac. Agron., UBA, Bs As., Arg. 152 pp.
- PIATTI, F.D. y L. FERREYRA 2008 Ensayos comparativos de rendimientos de maíz: Red interna de INTA Manfredi. Campaña 2007/08. Manfredi, Córdoba (AR): INTA – EEA. Cartilla Digital Manfredi no. 4, 11 p. Disponible en:

http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/boletines/cartilla_dig_manfredi/cartilla_digital_1_08.htm

- PILATTI, M.A. y A.L. NORERO 2004 Simulación de cultivos anuales. Formulaciones básicas del desenvolvimiento normal. Ed. Universidad Nacional del Litoral, 148 pp. ISBN 987-508-256-2 (Cátedra: Ciencias Agrarias).
- REAG. (Relevamiento de productores agropecuarios) 1999 Gobierno de Córdoba. Ministerio de Producción y Trabajo. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Información Estadística y Técnica. Producción Agrícola. <http://www.cba.gov.ar/vercanal.jsp?idCanal=2067>
- REETZ F 2000 Better crops with plant food. What is the potential? *In* Producing High Corn Yields- Hernan Warsaw's Challenging Legacy.
- RITCHIE W. y J. HANWAY 1997 How a corn plant develops. Special Report N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames. Iowa.: 21p.
- RIVETTI A 2005 Efecto del riego complementario sobre el rendimiento en grano del maíz y sus componentes. Trabajos presentados y resúmenes de conferencias del VIII Congreso Nacional de maíz. Rosario. Argentina.
- RODERICK H. 1981 Plant growth analysis. The Institute of Biology's. Studies in Biology, University of Sheffield.
- RUSSEL, W.A. 1986 Contribution of breeding to maize improvement in the United States. 1920s-1980s. Iowa State Journal of Research. Cap. 61.:5-34.
- SADRAS, V.O., M. FERREIRO, F. GUTHEIM y A.G. KANTOLIC 2002 Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. p. 25-56. En: Andrade, F.H. y V.O. Sadras (eds). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina.
- SATORRE, E. H., R. L. BENECH ARNOLD, G. A. SLAFER, E. B. DE LA FUENTE, D. J. MIRALLES, M. E. OTEGUI y R. SAVIN 2003 Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina.
- SATORRE, E. 2005. El arreglo espacial de las plantas del cultivo de maíz. Tendencias y efectos en los planteos de la región pampeana. VIII Congreso Nacional de Maíz. Trabajos presentados. Rosario. Argentina: 430-432.
- SHAW. R 1998 Climate requirement. *In* G.F. Sprague y J.W. Dudley (eds.) Corn and improvement (3 ra ed). Series Agronomy N° 18. American Society of Agronomy, Inc. Publishers. Madison, Wisconsin, USA. P 609-638
- SINCLAIR, T 1993 Crop yield potential and fairy tales. p 707- 711. *In* D. Buxton et.al. (ed.) International crop science I. CSSA, Madison.
- SINCLAIR T 1994 Limits to crop yield. *In* K. Boote *et al.* (ed) Physiology and determination of crop yield. ASA, Madison.: 509-532. temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. Crop Science. Cap. 19.: 363- 366.

- TETIO KAGHO, F y F.P GARDNER 1988 Responses for maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustments. Agron. Cap. 80.: 935- 940.
- UMARÁN, I. 2006 Indicadores del sector maíz. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, SAGPyA, Dirección de Agricultura. República Argentina, Buenos Aires, Argentina. 4 pp.
- VALENTINUZ O. y O. PAPANOTTI 2004 Rendimiento Potencial y Tolerancia al Estrés en Maíz. http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/res_renpot_maiz.htm
- VEGA C. y F. ANDRADE 2000 Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editorial Médica Panamericana. Ed. Andrade F. y V. Sadras. Capítulo 4:97-133.
- WATSON, S.A 1988 Corn marketing, processing and utilization. En: G. F. Sprague y J. W. Dudley (eds.). Corn and corn improvement (3^a ed.). Series Agronomy N° 18. American Society of Agronomy, Inc. Publishers. Madison, Wisconsin, USA.
- WILLIAMS, W.A., R.S. LOOMIS, W.G. DUNCAN, A. DOVRAT y F. NUÑEZ 1968 Canopy architecture at various population densities and growth and grain yield of corn. Crop Science 8