

RENDIMIENTO POTENCIAL DE MAÍZ EN RIO CUARTO (CÓRDOBA- ARGENTINA)

Esposito, Gabriel ^{1*}; Balboa, Guillermo¹; Cerliani, Cecilia¹; Balboa, Ricardo¹; Castillo, Carlos¹

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto,

* Autor de contacto: gesposito@ayv.unrc.edu.ar. UNRC. RRuta 36 Km 601. Río Cuarto (Córdoba). CP 5800; Teléfono: 0358-4676504.

RESUMEN

El rendimiento potencial de maíz es aquel que puede obtenerse en condiciones óptimas para su crecimiento y desarrollo sin considerarse limitaciones hídricas ni nutricionales y en ausencia de factores reductores de la producción. En la UNRC se han realizado hasta el presente un total de 7 experimentos a campo para la determinación del rendimiento potencial de maíz, durante las campañas agrícolas 2005/06 hasta 2011/12. Los resultados obtenidos permiten establecer que el rendimiento potencial promedio de este cultivo en el sur de Córdoba es de 18,66 tn ha⁻¹, con un mínimo de 16,3 y un máximo de 22,37 tn ha⁻¹. La eficiencia en el uso del agua promedio (riego + precipitación) fue de 22,14 kg grano mm⁻¹. Además, se han definido estrategias de manejo tendientes a la obtención de elevadas producciones de granos, como ser: fecha de siembra que maximice la captura de la radiación solar (1-5 de octubre), adecuado calendario de riego, fertilización balanceada tendiente a la reposición de N-P-S-Zn, elevada densidad de siembra (120.000 pl ha⁻¹), elección de híbridos adaptados a manejos de alta producción y control fitosanitario durante todo el ciclo del cultivo. El efecto de la reducción en la distancia entre hileras no ha quedado hasta el momento claramente demostrado como una ventaja productiva.

1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento potencial se define como el rendimiento de un cultivo cuando crece en ambientes a los que está adaptado, con condiciones no limitante de agua y nutrientes, y con un control efectivo de factores causantes de estrés como malezas, plagas, y enfermedades (Sinclair, 1993; Evans y Fischer, 1999). Bajo esta situación el rendimiento de una especie está dado por factores que tienen una marcada influencia sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo (Cirilo, 1994; Andrade y Sadras, 2002); así la radiación, que

determina la fotosíntesis del cultivo y la temperatura, que determina la longitud del ciclo, modifican directamente el rendimiento (Andrade et al., 1996).

Como resultado de varias investigaciones, Fred Bellow (2008), encontró que el clima es el principal factor que influye sobre el rendimiento por afectar directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas y por el escaso control que los agricultores tienen sobre él.

Los altos rendimientos en el cultivo de maíz están asociados con ambientes de alta radiación solar y temperaturas óptimas, maximizándose el mismo cuando la amplitud térmica (diferencia entre la temperatura del día y de la noche) se incrementa (Cantarero et al., 1999), debido a que temperaturas diurnas elevadas (alrededor de 30°C) posibilitan una alta fotosíntesis (Andrade et al., 1997), y las temperaturas nocturnas frescas disminuyen la respiración y retrasan el desarrollo fenológico, prolongando los días de aprovechamiento de la radiación incidente (Sadras et al., 2002).

Los sistemas de alta producción deben maximizar 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). Al incrementar la radiación interceptada durante el período crítico, se obtiene un mayor número de granos por superficie y por ende se incrementan los rendimientos (Andrade et al., 2002).

El número de granos fijado por planta se relaciona con la tasa de crecimiento de la misma en el período que rodea a la floración, esta tasa depende de numerosos factores, como la densidad de siembra, la temperatura, los niveles de radiación, nutrientes, el genotipo y la disponibilidad de agua. El maíz no debe sufrir deficiencias hídricas durante el período crítico comprendido entre V_{13} y R_3 , para no afectar el número de granos, pero tampoco deberían ocurrir estas deficiencias durante el llenado de los granos ($R_3 - R_6$) para lograr elevados niveles de producción (Andrade y Gardiol, 1995).

La elección de híbridos de elevado potencial de rendimiento es fundamental, ya que en esquemas de alta producción encontrarán las condiciones necesarias para su expresión (Andrade y Sadras, 2003). En los últimos años los híbridos de maíz liberados al mercado 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). Según Tollenaar y Lee (2002), los aumentos de rendimientos están asociados a mejoras en la interacción Genotipo*Ambiente. Coincidiendo con esto Bellow (2008), plantea que para llegar a rendimientos de grano de 20 tn ha⁻¹, se requieren mejoras simultáneas en genética y prácticas de manejo, para aliviar el estrés en las plantas. Este autor enumera y evalúa siete

factores que influyen sobre el rendimiento, a los que denomina “Las siete maravillas del rendimiento de maíz”. Entre estas maravillas menciona al clima como uno de los factores más importantes por su difícil control por parte de los agricultores y por su influencia directa en el crecimiento, desarrollo y la interacción con otros factores, principalmente la fertilización nitrogenada que es la segunda maravilla, según este autor. En tercer lugar y ganando cada vez más importancia, se encuentra la elección del híbrido, en cuarto lugar menciona la rotación de cultivos. La densidad y el sistema de siembra directa están en el puesto 5 y 6. Por último en el puesto 7 se encuentra lo que este autor denomina “químico”, concentrando en este grupo los reguladores del crecimiento y compuestos que ejercen efectos reguladores del crecimiento, como son los fungicidas foliares.

Otros autores reportan rendimientos cercanos a las 20 tn ha⁻¹, a inicios de los ´70 en Michigan se cosecharon 19,7 tn ha⁻¹, en Illinois se registró un rendimiento de 19,6 tn ha⁻¹ y en el año 2000 Murrell y Childs llegaron a las 20,9 tn ha⁻¹ (Tollenaar y Lee, 2002). Por lo tanto se plantea que se pueden llegar a rendimientos potenciales de 25 tn ha⁻¹.

2. RENDIMIENTO POTENCIAL

La exploración de rendimientos potenciales en un cultivo depende del potencial genético del material empleado y del manejo agronómico que se realicen del mismo. Una correcta planificación del cultivo debería brindarle a éste condiciones óptimas de radiación, agua, temperatura y disponibilidad nutricional para expresar todo el potencial genético del híbrido empleado. En planteos de este tipo cobra relevante importancia también todo lo relacionado al aspecto sanitario del cultivo. El control de enfermedades foliares, de tallo y de raíz así como también la lucha contra plagas es necesaria para poder reducir las mermas de rinde por estos factores que en planteos de alta producción tendrían un impacto relativo mayor.

La Tabla 1 muestra la producción de grano por metro cuadrado en función de la radiación solar disponible durante el ciclo de un cultivo de maíz sembrado el 4 de octubre (siembra óptima para la zona de Río Cuarto) y con un ciclo de 167 días a madurez fisiológica. Tomando como referencia valores de bibliografía para eficiencia de intercepción de la radiación solar, eficiencia de conversión promedio durante el ciclo e índice de cosecha; se obtiene un rendimiento teórico de 22,71 tn ha⁻¹ (2.271 g m⁻²) y de 16,16 tn ha⁻¹ (1.616 g m⁻²). Por lo tanto, es de esperar entonces que con en la zona de Río Cuarto se alcances rendimientos potenciales de maíz del orden de los 200 qq ha⁻¹.

Tabla 1: Rendimiento en grano de maíz para una fecha de siembra óptima y una fecha de siembra tardía para la localidad de Río Cuarto, Córdoba (Argentina).

	Fecha de siembra	
	04/10 (167 días)	04/12 (136 días)
RFA inc.	2.003 MJ m ⁻²	1.600 MJ m ⁻²
Ef. Int. Promedio	60 %	65 %
RFA interceptada	1.201 MJ m ⁻²	1.040 MJ m ⁻²
Ef. Conv. Promedio	3,5 gMS MJ ⁻¹	3,7 gMS MJ ⁻¹
Materia Seca	4.206 gMS m ⁻²	3.848 gMS/m ⁻²
Índice de cosecha	54 %	42%
Rendimiento	2.271 g m ²	1.616 g m ²

RFA: radiación fotosintéticamente activa. Ef. Int.: Eficiencia de interceptación. Ef. Conv.: Eficiencia de conversión.

Desde la campaña 2006 investigadores del Área Producción de Cereales de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto propusieron investigar y diseñar experimentos a campo con el fin de explorar la potencialidad de rendimiento del cultivo de maíz en la Región.

El manejo agronómico del cultivo fue similar en todas las campañas. Los ensayos se condujeron bajo un equipo de riego de avance lateral, excepto la campaña 2010-2011 donde se empleó riego por goteo. La fertilización fosforada se manejó bajo el criterio de reposición para un rendimiento objetivo de 20 tn ha⁻¹. Para el caso del nitrógeno se empleó el método del balance y se aplicó una fuente líquida repartida en al menos dos momentos a partir de V6 para acompañar la curva de absorción del cultivo. Se realizaron controles exhaustivos de malezas (químicos y manuales) para eliminar posibles interferencias durante el ciclo del cultivo. En todas las campañas se aplicó en el estadio de V8 y R1 fungicidas específicos para el control de roya del maíz y tizón. El riego se aplicó para mantener el suelo al 80% de capacidad de agua útil durante todo el ciclo.

En la Tabla 2 se pueden observar los rendimientos alcanzados por Campaña, la cantidad total de agua recibida (como precipitaciones más riego) y la eficiencia en el uso del agua total recibida (EUA).

Los valores de eficiencia de uso del agua se ubican en 22 kg de grano por mm de agua. En la Figura 1 se observa la estrecha relación entre la radiación solar global para el periodo 1 de diciembre 15 de enero y el rendimiento en grano del cultivo de maíz. La ecuación de ajuste podría ser empleada para establecer el rendimiento potencial para ambientes térmicos similares al de Río Cuarto. Debemos lograr ubicar al cultivo en el período de mayor oferta de radiación y darle las condiciones de crecimiento óptimo para poder capturar la mayor cantidad de radiación solar para luego transformarla en grano.

Tabla 2. Agua total, riego, rendimiento y eficiencia en el uso del agua para las diferentes campañas de ensayo de rendimiento potencial en maíz.

Campaña	Agua total (riego+lluvia)	Riego (mm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	EUA (kg grano mm ⁻¹)
2005/06	831	345	19.800	23.83
2006/07	867	60	18.000	20.76
2007/08	942	200	16.300	17.3
2008/09	760	300	16.500	21.71
2009/10	695	270	17.300	24.89
2010/11	1009	405	22.365	22.17
2011/12	836	360	20.334	24.32
Promedio	849	277	18.657	22.14

EUA, eficiencia en el uso del agua.

Con la información obtenida se realizaron ajustes de calibración del modelo *Soil Water Balance* en relación a la producción de biomasa y rendimiento en grano. La calibración y validación de modelos de este tipo permiten luego emplear los mismos para hacer análisis de campañas o de lotes de producción. De esta forma los modelos de cultivos se perfilan como una potente herramienta a la hora de tomar decisiones de manejo, pudiendo simular diferentes situaciones y observando los resultados productivos obtenidos.

3. FECHA DE SIEMBRA

La elección de la fecha de siembra es sin duda uno de los parámetros más importantes a la hora de explorar rendimientos potenciales. El objetivo principal sería ubicar el período crítico del cultivo en el momento de mayor oferta de radiación solar. Como se observa en la Figura 1, la oferta de radiación durante el período crítico del cultivo tiene un importante impacto en el rendimiento del mismo y es el factor ambiental que no se puede modificar con manejo. Para la zona de Río Cuarto esa fecha óptima de siembra se ubica hacia fines de septiembre y primera semana de octubre, llevando de esta forma el período crítico del cultivo entre el 15 de diciembre y el 15 de enero.

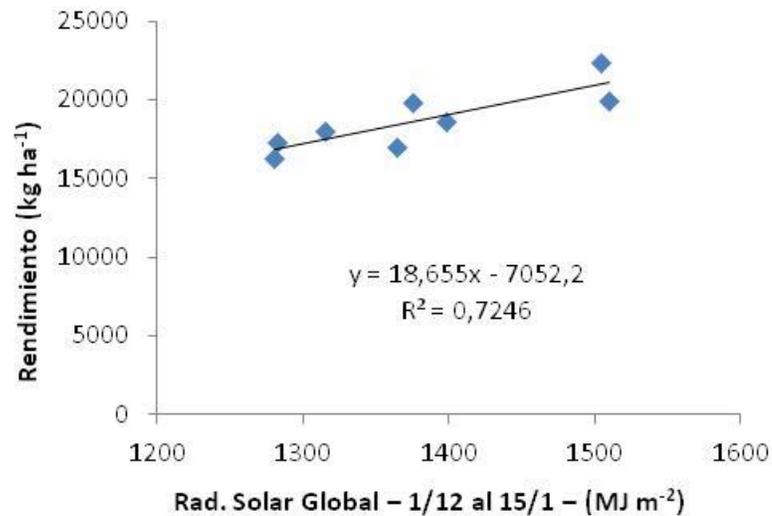


Figura 1. Relación entre la radiación global para el período 1/12 al 15/1 y rendimiento en grano por hectárea. Río Cuarto.

4. GENÉTICA

Como ya se planteó anteriormente, la elección del material genético constituye una decisión muy importante para explorar potencialidad de rendimiento. En este tipo de experimentaciones se trabaja con densidades de más de 100.000 pl ha⁻¹, razón por lo cual los híbridos deben estar adaptados a este manejo. A continuación se resumen algunas de las características que debe cumplir un material genético para ser tenido en cuenta a la hora de apuntar a altos rendimientos:

-Tolerancia a enfermedades: ya sean producidas por hongos o por virus. Ha sido reportado por numerosos investigadores que la tolerancia a enfermedades depende del material genético. La potencialidad de producción debe ir acompañada de tolerancia a las enfermedades más comunes como el Mal de Río Cuarto, la roya de la hoja, el tizón foliar, la podredumbre de tallo y de raíces, entre otras.

-Buen vigor inicial: es rápido establecimiento del cultivo también se constituye como un importante factor a tener en cuenta. Durante el período de establecimiento el cultivo está sometido a diversos factores que pueden impactar fuertemente en el resultado final, como ser bajas temperaturas. Para alcanzar rendimientos máximos, se debe lograr un rápido establecimiento del cultivo con gran homogeneidad temporal y espacial en la emergencia, evitándose así generar relaciones de dominancia entre las plantas.

-Ciclo intermedio-largo: considerando que la cantidad de días bajo crecimiento vegetal depende de la longitud del ciclo del maíz, ha sido demostrado que los ciclos largos alcanzan

una mayor producción de biomasa total, mayor índice de cosecha y por lo tanto mayor rendimiento que ciclo de menor longitud. A su vez, el peso final de los granos se incrementa conforme se aumenta la longitud del ciclo.

-Tolerancia a elevadas densidades: para explorar rendimientos potenciales máximos es necesario trabajar con elevadas densidades, a los efectos de incrementar la producción de granos por unidad de superficie. Normalmente debería sembrarse entre un 30-40% más de la densidad empleada en condiciones de secano. El comportamiento de los híbridos disponibles en el mercado es muy variable respecto a los aumentos de densidad. Es claro que cada material genético en un determinado ambiente de producción responde a una densidad óptima distinta. Pero el material que se seleccione debe ser capaz de producir en altas densidades ya que, por la escasa capacidad de compensación del cultivo, el aumento de densidad es la única alternativa para explorar rendimientos potenciales.

-Plasticidad foliar: Considerando que la disposición foliar del maíz es alterna y dística cuando se emplean altas densidades, suele ocurrir una gran superposición de las hojas en plano vertical, lo cual conlleva una menor eficiencia en la captura y conversión de la radiación solar. Para disminuir este inconveniente se deben emplear híbridos con plasticidad foliar en su disposición acimutal.

-Alta partición a grano (alto IC): La elevada tasa fotosintética alcanzada bajo condiciones potenciales de crecimiento que se traduce en grandes producciones de biomasa debe ser luego convertida en granos como consecuencia de la partición a espiga. Debe considerarse que esta partición está influenciada genéticamente y por esta razón híbridos con alta partición tendrán un mayor rendimiento potencial.

-Baja inserción de espiga: con el objetivo de reducir la susceptibilidad al vuelco. En planteos de alta producción en altas densidades los tallos de las plantas suelen ser más finos y si no se realiza un manejo adecuado del cultivo, la removilización de nutrientes desde la caña puede debilitar la misma. Una altura de inserción baja de la espiga contribuirá a reducir el efecto palanca que ejerce la misma para evitar el vuelco de la planta.

-Carácter *stay-green* (mayor capacidad durante el llenado): Para la obtención de altos rendimientos es necesario fijar un elevado número de granos por superficie y luego un elevado peso de los mismos. Para sostener la tasa de llenado de los granos es necesario mantener la actividad fotosintética hasta la madurez fisiológica y para ello, el carácter *stay-green* es una característica deseable en híbridos de alta producción.

-Mayor peso de 1000 granos: considerando que el peso de 1000 presenta una alta dependencia genética, al hacer un plateo de alta producción el peso granos juega un papel importante sobre todo su comportamiento ante variaciones en la disponibilidad de recursos. La tasa de caída del peso de 1000 granos que también tiene un componente genético es una importante característica a tener en cuenta ya que hay híbridos que experimentan caídas en el peso de 1.000 de mayor magnitud frente a otros cuando se los expone a condiciones de alta competencia (Figura 2).

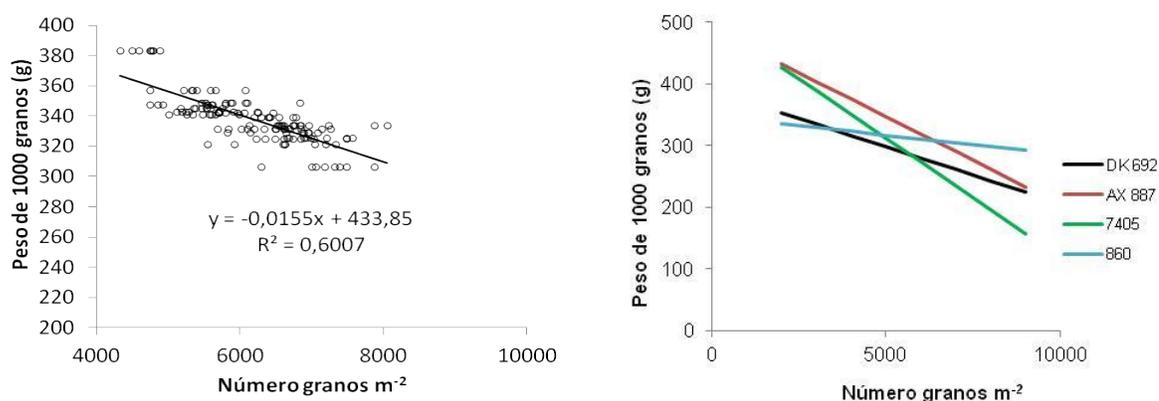


Figura 2. Relación entre el número de granos y el peso de 1000 granos para maíz ensayo campaña 2010-11 (izquierda). Relación entre el número de granos y el peso de 1000 granos para 4 híbridos de maíz, Campaña 2011-12 (derecha).

5. ESTRUCTURA DE SIEMBRA

En relación a la distancia entre hileras, se puede apreciar en la Tabla 3, que en la campaña 2010/11 la distancia de 35 cm superó en rendimiento a la mayor distancia.

Tabla 3. Rendimiento y componentes directos de maíz según la distancia entre hileras para una densidad de 120.000 pl ha⁻¹, en Río Cuarto Campaña 2010/11 y 2011/12.

Año	Tratamientos DEH	Rendimiento (kg/ha)	Nº granos/m ²	Peso 1000 granos (g)
2010/11	35 cm	22157 a	6638 a	334 a
	52 cm	21055 b	6424 b	329 b
2011/12	35 cm	16683 a	6129 a	274 a
	52 cm	16837 a	5879 a	287 a
	Diferencia 35 cm	-24,71 %	-7,67 %	-17,96 %
	Diferencia 52 cm	-20,03 %	-8,48 %	-12,77 %

DEH, distancia entre hileras

Por el contrario en la campaña 2011/12, no se encontraron diferencias significativas por el estrechamiento en la siembra. Es factible suponer que las diferentes condiciones climáticas entre campañas, expliquen estas diferencias.

6. NUTRICIÓN

El manejo nutricional de un planteo de alta producción debe acompañar los altos requerimientos del cultivo. Para el caso del fósforo, en todos los ensayos a campo se aplicó dosis de reposición para un rendimiento objetivo de 20 tn ha⁻¹. Además, se debe tener en cuenta que la nutrición debe ser balanceada, evitando generar deficiencias de nutrientes por manejo. Un claro ejemplo de esto es la acción antagonista del fósforo con el zinc. Al aplicar grandes cantidades de P se produce antagonismo con el este nutriente que puede generar deficiencias inducidas. No obstante estas interferencias nutricionales, se ha establecido para el Sur de Córdoba, la necesidad de aplicar Zn a razón de 1,5 kg ha⁻¹ según análisis de suelo, recordando el umbral de 1ppm (extractante DTPA).

En relación al manejo del N, se debe considerar que un aumento en la densidad de siembra implica una mayor demanda nutricional y que en la medida en que se aumente la densidad se deberá incrementar la provisión de N. Como se puede apreciar en la Figura 3, en los dos híbridos se encontró una interacción entre la densidad y la dosis de N.

La dosis de N debería ser optimizada haciendo aplicaciones a partir de V6 y en estadios más avanzados mediante fertirriego, para asegurar una buena provisión de N incluso durante el llenado de grano. A su vez, las dosis de N deben ser acompañadas por aportes de S, dado el sinergismo que se ha encontrado entre estos dos nutrientes.

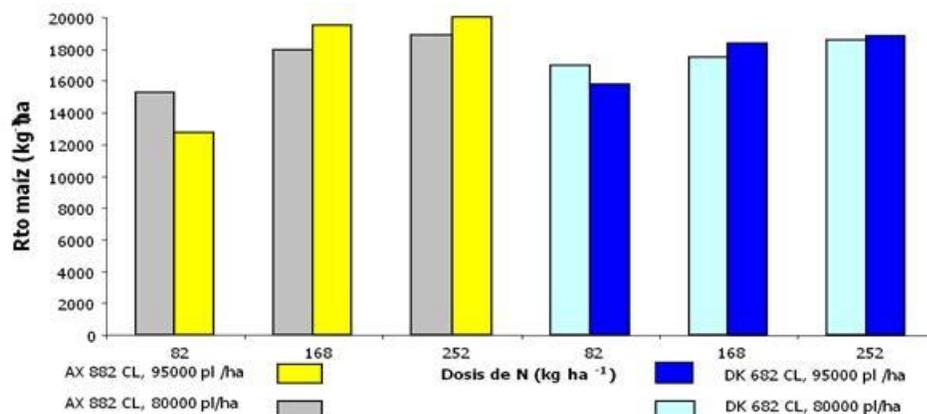


Figura 3. Rendimiento de maíz para dos híbridos y dos densidades en función de 3 dosis de nitrógeno.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F; Gardiol, J. 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; Cirilo, A; Uhart, S; Otegui, M. 1996. Maíz en sistemas de alta producción. En: Ecofisiología del cultivo de maíz. Cap 9: 255- 269.
- Andrade, FH; Cirilo, AG; Uhart, SA; Otegui, ME. 1997 Ecofisiología del cultivo de maíz. La Barrosa (Ed.). Dekalbpress. INTA, FCA-UNMP. Balcarce, Argentina.
- Andrade, FH; Sadras, VO. 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; Calvino, P; Cirilo, A; Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. Agron. J. 94:975-980.
- Andrade, F; Sadras, O. 2003. Producción potencial y demanda futura de alimentos agrícolas. En: Bases para el manejo del maíz, del girasol y de la soja. Andrade y Sadras (Eds). Editorial Médica Panamericana SA.: Cap. 1.: 9-28.
- Bellow, F. 2008. The Seven Wonders of the Corn Yield World. In 2008 Illinois Crop Protection Technology Conference. Illinois, USA. p 86-91.
- Cantarero, MG; Cirilo, AG; Andrade, FH. 1999. Night Temperature at Silking Affects Kernel Set in Maize. Crop Science. Cap. 39:703–710.
- Cárcova, J; Borrás, L; Otegui, ME. 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.
- Cirilo, A. 1994. Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas. Tesis Magister Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 86 p.
- Echarte, L; Andrade, F. 2003. Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. Field Crops Res. 82:1-12.
- Evans, L; Fischer, R. 1999. Yield potential: Its definition, Measurement and significance. Crop Sci. 39:1544-1551.
- Tollenaar, M; Lee, AE. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field Crops Research. 75:161–169.

- Sadras, VO; Ferreiro, M; Gutheim, F; Kantolic, AG. 2002. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. p. 25-56. En: Andrade, FH y Sadras, VO (Eds). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina
- Sinclair, T. 1993. Crop yield potential and fairy tales. p 707- 711. In D. Buxton et.al. (ed.) International crop science I. CSSA, Madison.