

Manejo de la fertilización nitrogenada y densidad de siembra de maíz en ambientes del sudeste de Córdoba – Experiencias de la Chacra Justiniano Posse

Ruiz, Alejo¹; Coyos, Tomás¹ y Pagnan, Luis².

¹Sistema Chacras, Aapresid

²INTA AER Justiniano Posse

alejorzh@gmail.com

Palabras clave: maíz – nitrógeno - densidad

Introducción

En los últimos años la región pampeana se vio afectada por excedentes hídricos y asenso de las napas freáticas (Bertram y Chiacchiera, 2014). El agua es uno de los factores que principalmente limitan la producción en el cultivo de maíz en la Región Pampeana (Maddonna et al., 2003). La napa puede constituirse en un factor de incremento de la productividad debido a la disponibilidad hídrica en la franja capilar que puede llegar a superar los 200mm (Cisneros et al., 2014). En la región pampeana se reportaron aportes de agua por parte de napas de hasta el 25% para alfalfa (Dardanelli y Collino, 2002) y 50% para soja (Cisneros et al., 2013) del total consumida por los cultivos. La banda óptima de profundidad de napa para maíz, soja y trigos es de 1,40-2,45, 1,2-2,2 y 0,7-1,65 metros respectivamente (Nosetto et al., 2009). En lotes del sudeste de Córdoba que poseen la napa a una profundidad dentro de estos límites, se pueden obtener elevados rendimientos y respuestas a las diferentes prácticas de manejo.

Luego de la disponibilidad hídrica, el factor que limita en mayor medida a la producción es el nitrógeno (Maddonna et al., 2003; Echeverría et al., 2015). La disponibilidad de nitrógeno regula la tasa de expansión foliar y, en consecuencia, la eficiencia en la interceptación de la radiación (Uhart y Andrade, 1995). Durante el periodo crítico, es necesario que el cultivo intercepte la mayor radiación posible para asegurar elevadas tasas de crecimiento y fije un mayor número de granos. Los umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada dependen de la potencialidad del ambiente y la capacidad de aportar nitrógeno por parte del suelo.

La densidad de siembra en maíz también afecta la interceptación de la radiación y los rendimientos. Es una práctica de manejo compleja de resolver debido al alto costo de la semilla, al comportamiento de respuesta productiva y a la interacción genotípica. El maíz presenta una densidad de siembra óptima que maximiza el rendimiento, y esta varía de acuerdo a la calidad ambiental. Las nuevas generaciones de híbridos toleran mayores densidades y el estrés que eso provoca (Duvick, 2005).

Uno de los ejes de trabajo priorizados por los miembros de la Chacra Justiniano Posse es la reducción de la brecha entre los rendimientos reales obtenidos a campo y los máximos alcanzables en los principales cultivos de la región, entre ellos el maíz. El manejo de la **fertilización nitrogenada** y su interacción con la **densidad de siembra** son las principales decisiones de manejo que los productores de la Chacra han decidido ajustar en maíz temprano en busca de la maximización de los rendimientos en ambientes con napa freática.

Otro tema priorizado por la chacra es la intensificación de las rotaciones con cultivos invernales, fundamental para la sustentabilidad de los sistemas. En la intensificación y diversificación de los sistemas surgen como alternativas la inclusión de *Vicia villosa* como antecesor al cultivo de maíz tardío en ambientes donde debido al riesgo climático no se realiza maíz temprano. Por otro lado, en ambientes donde por lo general el agua no es limitante, cuando se intensifica una opción por la que optan los productores es realizar trigo/maíz de segunda y luego soja de primera. Ya sea gramínea o leguminosa, el cultivo antecesor afecta la dinámica del nitrógeno en el suelo (Cazorla et al, 2011), modificando la respuesta a la fertilización del cultivo (Agosti et al, 2016). Se evaluó el **efecto del cultivo antecesor** sobre la respuesta del rendimiento de maíz a la fertilización nitrogenada.

Maíz temprano

Se realizaron 15 ensayos a campo próximos a la localidad Justiniano Posse (departamento Unión, provincia de Córdoba), en las campañas 16/17 y 17/18 en suelos serie Ordóñez, Monte Buey, Laborde, La Bélgica y Ballesteros.

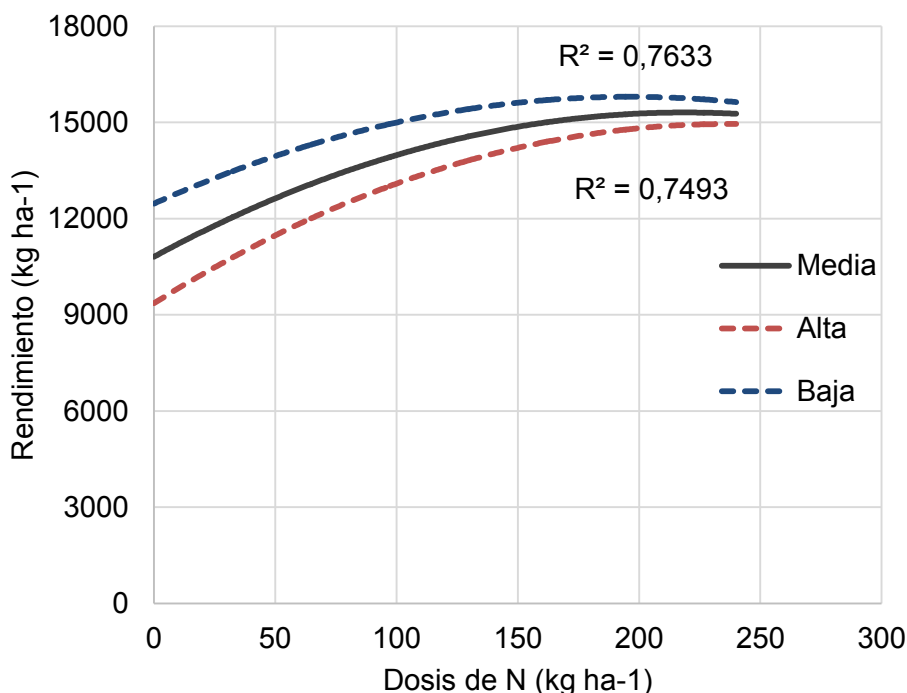
Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones. Se establecieron 5 tratamientos de fertilización 0 kg N ha⁻¹, 60 kg N ha⁻¹, 120 kg N ha⁻¹, 180 kg N ha⁻¹ y 240 kg N ha⁻¹. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea (46-0-0, N-P-K) tratada con inhibidores de la volatilización (eNeTotal de Profertil) y se la aplico al voleo en cobertura total.

Previo a la siembra, en cada sitio se tomaron muestras de suelo 0-60cm. El porcentaje de materia orgánica, contenido de fósforo, nitrógeno anaeróbico (Nan), ph y conductividad se determinaron a la profundidad de 0-20cm mientras que nitratos a la profundidad de 0-60cm. En madurez fisiológica se cortaron, secaron y pesaron 5 plantas de las tres parcelas testigo de cada sitio. Luego se las molió y determinó la concentración de N por digestión Kjeldhal en grano y biomasa.

Se ajustó un modelo de regresión cuadrática, de rendimiento en función de la dosis de N aplicada (Figura 1.). Hubo una gran respuesta a la fertilización que en promedio supero los 4500 kg ha⁻¹ considerando en conjunto a todos los sitios. A los sitios se los separo según su respuesta a la fertilización en alta y baja, con respuestas máximas de fertilización de 5700 y 2700 kg ha⁻¹ respectivamente.

Cuando se estimaron las dosis óptimas económicas para los diferentes ambientes con una relación de precios de 7 (kg de grano por cada kg de N), la dosis óptima económica (DOE) Media fue de 180 kg N ha⁻¹ aplicados. Para los sitios de alta respuesta se encontró próxima a los 200 kg N ha⁻¹ y en los de baja en 150 kg N ha⁻¹.

Figura 1. Respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada para sitios de media, alta y baja respuesta.



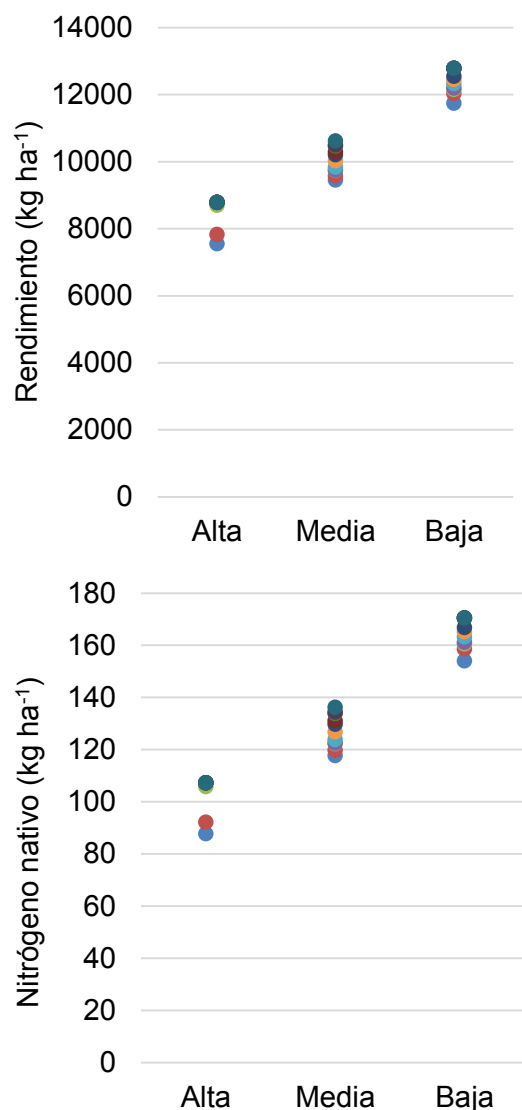
De las plantas cortadas en las parcelas testigo a madurez fisiológica se calculó índice de cosecha de la biomasa y por digestión Kjeldhal, la concentración de nitrógeno en el grano y tallo y hojas. Considerando el rendimiento de las parcelas testigo, el índice de cosecha y las concentraciones de nitrógeno, se calculó el nitrógeno nativo (Nn) de cada sitio.

El nitrógeno nativo (Nn) indica cuanto N apporto cada suelo y puede ser tomado por los cultivos.

Este, se encontró muy relacionado con el rendimiento de los testigos, fundamentalmente

por no haber grandes limitantes hídricas en los ambientes. Los aportes de los suelos variaron entre 100, 130 y 160 kg N ha⁻¹ en los sitios de alta, media y baja respuesta a la fertilización nitrogenada respectivamente.

Figura 2. Rendimientos de los testigos y Nitrógeno nativo según ambientes de alta, media y baja respuesta a la fertilización.



Manejo de la densidad y su interacción con la fertilización nitrogenada.

Se realizaron seis ensayos a campo próximos a la localidad Justiniano Posse (departamento Unión, provincia de Córdoba), en las campañas 15/16, 16/17 y 17/18. Los suelos corresponden a Hapludoles típicos y Argiudoles típicos, serie Ordóñez y Monte Buey respectivamente, pertenecientes a la clase de capacidad de uso IIc (Carta de Suelos de la República Argentina, 1978), manejados bajo siembra directa.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados, con dos repeticiones. En cada bloque se establecieron 4 tratamientos de fertilización 0 kg N ha⁻¹, 60 kg N ha⁻¹, 120 kg N ha⁻¹ y 180 kg N ha⁻¹. A su vez, dentro de cada parcela de fertilización se sembró en franjas de entre 9 y 13 surcos de ancho y 300 m de largo con cuatro densidades objetivo diferentes: 50 000, 80 000, 100 000 y 130 000 plantas ha⁻¹; resultando en un arreglo de tratamientos en parcelas divididas con la fertilización como tratamiento principal y la densidad

como subtratamiento.

Previo a la cosecha se midió la densidad de plantas lograda en los diferentes tratamientos. El rendimiento se determinó por cosecha mecánica y se tomó una muestra de grano de cada parcela se midió humedad y se corrigieron los rendimientos a 14,5% de humedad.

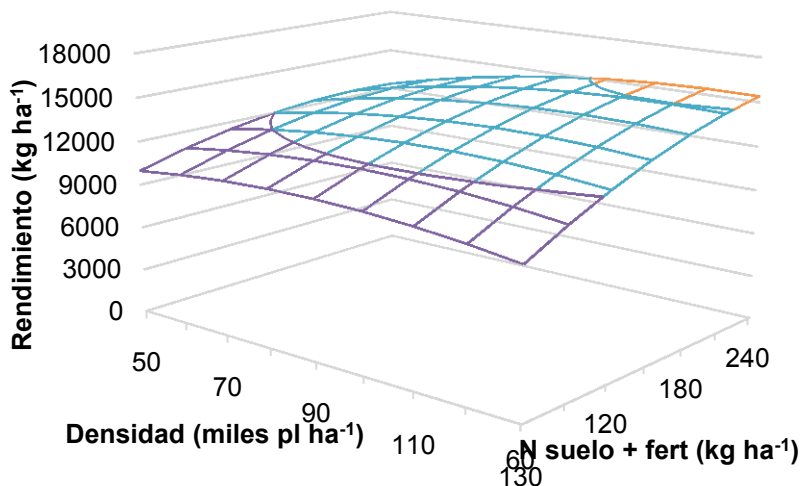
Se calculó la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) como el cociente entre la diferencia de rendimiento del tratamiento fertilizado con N y el testigo, u la dosis de N aplicada. La EAN se calculó para las diferentes densidades de siembra.

El rendimiento medio logrado entre todos los sitios y tratamientos fue de 12665 kg ha⁻¹. Los rendimientos mínimos correspondieron a los tratamientos sin fertilizar (testigos) y variaron entre 9 500 y 11 200 kg ha⁻¹ dependiendo del sitio. Mientras que los rendimientos máximos en todos los sitios se obtuvieron con la mayor densidad de plantas evaluada y la mayor dosis de nitrógeno, variando entre 13 500 y 16 300 kg ha⁻¹.

Se encontró respuesta a la fertilización nitrogenada y la densidad de siembra. Los rendimientos fueron diferentes según el sitio. La interacción entre la dosis de nitrógeno y la densidad fue significativa, por lo que se prosiguió a ajustar un modelo de regresión polinómica que considere los efectos de la densidad, la dosis de nitrógeno y su interacción sobre la determinación de los rendimientos de maíz.

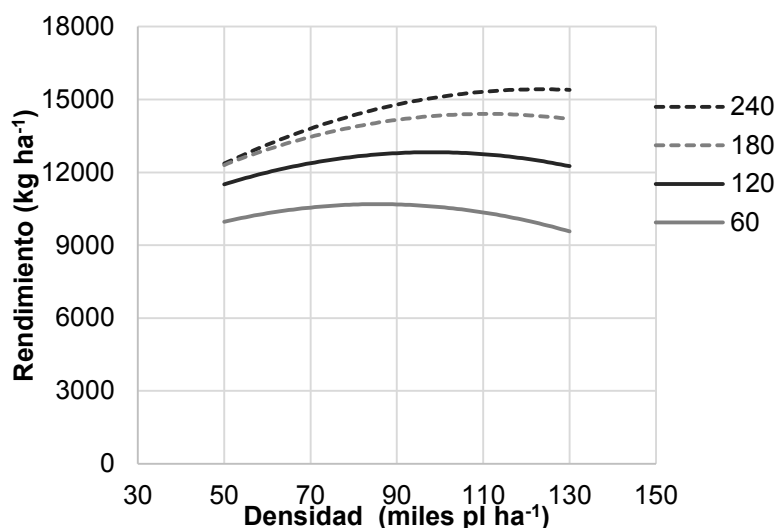
Como puede observarse en la Figura 3., los mayores rendimientos se obtuvieron con planteos contaron con más 90 mil plantas ha⁻¹ y niveles de nitrógeno objetivo superiores a los 210 kg ha⁻¹. Estos planteos en promedio en los 6 sitios evaluados superaron los 15 000 kg ha⁻¹. Un planteo típico de la zona, utiliza una densidad de siembra de 75 mil plantas ha⁻¹ y un nivel de nitrógeno de 160 kg ha⁻¹, y en ese caso, se habrían obtenido 13 200 kg ha⁻¹, siendo la brecha de rendimiento entre el manejo actual y el alcanzable cercana a los 2000 kg ha⁻¹ (15%).

Figura 3. Rendimiento en función de la densidad de siembra y dosis de nitrógeno.



Al analizar específicamente los niveles de nitrógeno, en la Figura 4. se puede observar la respuesta al aumento de densidad cuando hay más nitrógeno disponible. Además, la densidad con la que se maximiza el rendimiento (densidad óptima agronómica) también aumenta, pasando de 85 a 130 mil plantas ha⁻¹ al pasar de la situación testigo a la de mayor oferta de nitrógeno.

Figura 4. Rendimiento en función de la densidad de siembra para diferentes niveles de nitrógeno.



Impacto del cultivo antecesor y ajuste de la fertilización nitrogenada en maíces de fechas tardías.

Se realizaron 10 experimentos de dosis crecientes de nitrógeno en maíces sembrados en fechas tardías en lotes de producción bajo siembra directa pertenecientes a miembros de la Chacra Pergamino y Chacra Justiniano Posse.

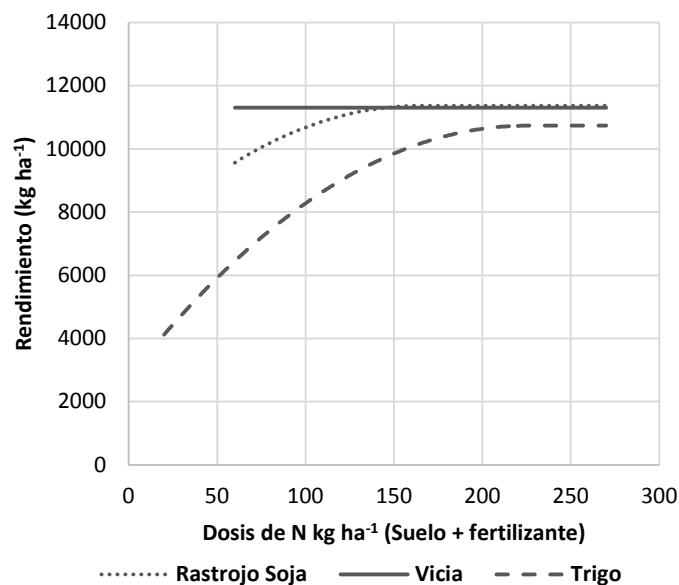
Cinco experimentos se ubicaron en sitios con *Vicia villosa* como cultivo de cobertura en los que había un sector sin la cobertura (Rastrojo de soja). Los restantes 5 sitios, se realizaron sobre trigo cosechado. Los experimentos consistieron en cinco dosis de nitrógeno con 2-3 repeticiones, para evaluar el efecto del antecesor en la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz.

En los cinco experimentos sobre vicia, el cultivo de cobertura había superado los 5000 kg ha⁻¹ de producción de materia seca previo al secado de los mismos. Estos niveles son considerables suficientes para competir contra las malezas y generar un buen aporte de nitrógeno. Los trigos antecesores rindieron en promedio 4700 kg ha⁻¹, con valores que se encontraron entre los 3300 y 7000 kg ha⁻¹.

El rendimiento de las parcelas testigo varió significativamente según el antecesor, a favor del antecesor vicia (10900 kg ha⁻¹), seguido por la franja barbecho (10100 kg ha⁻¹) y en último lugar los maíces luego de un trigo (4900 kg ha⁻¹).

Se calibraron modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada para los diferentes antecesores (Figura 5.). Se eligió el modelo cuadrático plateau por su mejor ajuste en la zona donde se ubican las dosis económicamente más rentables. En maíces sembrados sobre vicia no hubo respuesta a la fertilización nitrogenada obteniéndose en promedio 11300 kg ha⁻¹. En los maíces tardíos sobre rastrojo de soja hubo una baja respuesta, errática que se saturó en los 165 kg N ha⁻¹, alcanzando niveles de rendimiento similares a los obtenidos con *Vicia villosa*. Mientras que, en los maíces sobre trigo, la respuesta al nitrógeno fue alta y consistente, ajustando muy bien el modelo, saturándose en 225 kg N ha⁻¹ con un rendimiento inferior a los otros dos antecesores (10700 kg ha⁻¹).

Figura 5. Modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada para Rastrojo de Soja, *Vicia villosa* y Trigo



El crecimiento inicial de los maíces sembrado en fechas tardías es rápido en comparación con los sembrados en fechas tempranas, aumentando rápidamente los requerimientos de nitrógeno. Al ser baja la disponibilidad inicial de nitrógeno en lotes sobre trigo, es fundamental fertilizar al maíz en estadios tempranos o inclusive en pre siembra para evitar una deficiencia crítica en las etapas iniciales del cultivo.

Consideraciones finales

Las DOE de fertilización estimadas se encuentran muy por encima de las dosis que comúnmente se utilizan la zona, siendo una oportunidad para mejorar la renta de los productores y la productividad del agua por un mayor consumo y eficiencia en el uso de la misma.

El rendimiento de los cultivos sin fertilizar es una medida de la capacidad que tiene un suelo de proveer nitrógeno (Cassman et al 1996). Existió una gran variabilidad en el rendimiento de los testigos y esto se tradujo en respuestas diferenciales a la fertilización. En una futura etapa se va a proseguir a ajustar diferentes modelos considerando variables de suelo, clima y manejo con el objetivo de poder detectar ambientes de alta y baja respuesta a la fertilización con N.

El ajuste de la densidad de siembra y dosis de N deben ser pensadas en conjunto y no como variables independientes, la maximización de rendimientos se dio en tratamientos de alta densidad acompañados con las dosis más altas de N.

Quedó demostrado que para lograr maíces competitivos se debe ajustar la fertilización nitrogenada en función del cultivo antecesor. En el caso de maíz tardío (sin cultivo antecesor invernal) la respuesta a la fertilización fue errática mostrando la necesidad incorporar al análisis otras variables que puedan predecir la magnitud de la respuesta y así optimizar la nutrición del cultivo. En el caso de maíz con antecesor Vicia la probabilidad de encontrar respuesta a la fertilización nitrogenada fue muy baja sugiriendo que lograr altos niveles de materia seca de Vicia permitiría abastecer los requerimientos de N de maíz sin necesidad de aplicaciones adicionales. En el caso de maíz con antecesor trigo las respuestas son más predecibles y de elevada magnitud relativa saturándose en niveles de nitrógeno (suelo + fertilizante) mayores a los 210 kg N ha⁻¹.

Bibliografía

- Agosti M.B.; Madias A.; Salvagiotti F.; Enrico J.M. y Prieto G. 2016. ¿Cómo fertilizar con N los maíces en sistemas intensificados? Actas Congreso Aapresid 2016.
- Bertram, N.; Chiacchiera, S. 2014. Ascenso de napas en la Región Pampeana: ¿Consecuencia de los cambios en el uso de la tierra? INTA EEA Marcos Juárez.
- Cazorla C.; Baigorria T.; Lardone A.; Bojanich M.; y Vilches B. 2011. Antecesores de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura? INTA Marcos Juárez.

- Cisneros, J.; Gil, H.A.; De Prada, J.D.; Degioanni, A.; Cantero, G.A.; Giayetto, O.; Ioele, J.P.; Madoery, O.A.; Masino, A.; Rosa, J. 2014. Estado actual, pronósticos y propuestas de control de inundaciones en el centro-este de la provincia de Córdoba. Río Cuarto, Argentina.
- Cisneros, J.; Scilingo, M.; Giayetto, O.; Morla, F.; Jobbágy E.G. 2013. Uso del modelo de simulación AquaCrop-FAO para estimar el aporte subterráneo de agua al cultivo de soja. En: Actas del XXIV Congreso Nacional del Agua. San Juan, Argentina. p 1-10.
- Dardanelli, J.; Collino, D.J. 2002. Water table contribution to alfalfa water use in different environments of the Argentine Pampas, *Agriscientia*, 19: 11–18.
- Echeverría, H.E.; Sainz Rozas, H.R.; Barbieri, P.A. 2015. Maíz y Sorgo. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos, Eds.: Echeverría, H. E.; García, F. Capítulo 15. 904 pgs.
- Maddoni, G.A.; Ruiz, R. A., Villariño, P.; García de Salamone, I. 2003. Fertilización en los cultivos para grano. En: Producción de granos: bases funcionales para su manejo, Eds.: Satorre et al. Capítulo 19. 783 pgs.
- Nosetto, M.D.; Jobbágy, E.G.; Jackson, R.B.; Sznaider, G. A. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crop Research* 113:138-148.
- Uhart, S.A.; Andrade, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth development dry matter partitioning and kernel set. *Crop Science* 35:1376-13835
- Duvick, D.N.; Smith, J.S.C.; Cooper, M. 2004b Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. pp. 109-151. In: J. Janick (Ed.), *Plant Breeding Reviews. Part 2. Long Term Selection: Crops, Animals, and Bacteria*, Vol. 24. John Wiley & Sons, New York.