

EFICIENCIA DE USO DE LOS RECURSOS, PRODUCTIVIDAD Y PRODUCCIÓN EN MAÍZ SEGÚN DIFERENTES CULTIVOS ANTECESORES

PIETROBÓN, M.¹; IMVINKELRIED, H. O.¹;

DELLAFERRERA, I. M.^{1,2} & MONTENEGRO, A. J.³

RESUMEN

La producción de materia seca y grano depende de la habilidad de los cultivos en capturar los recursos. La intensificación sustentable involucra un incremento en la productividad del sistema a través de un uso más intenso de los mismos. Este trabajo pretendió aportar resultados regionales en cuanto a alternativas de secuencias agrícolas sobre eficiencia de uso de los recursos y productividad y producción del maíz. El ensayo se realizó durante 2014 y 2015 en Esperanza (Santa Fe). Se implantaron tres cultivos invernales y luego maíz de segunda con dos niveles de fertilización nitrogenada. La fertilización nitrogenada mejoró la materia seca total, el rendimiento y la eficiencia de uso de agua; pero, provocó una caída en la eficiencia de uso de N. La falta de respuesta del maíz con respecto a los cultivos antecesores fue atribuida a las características favorables del año y a la escasa productividad de la vicia.

Palabras claves: *Zea mays L., eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia de uso de agua, rendimiento.*

ABSTRACT

Efficient use of resources, productivity and corn production by different cultures ancestors.

Production of dry matter and grain depends on the ability of the crops to harvest the resource. Sustainable intensification involves increased system productivity through a more intense use thereof. This work aimed to provide regional results in terms of agricultural alternative sequences on resource use efficiency and productivity and production of corn. The test was conducted during 2014 and 2015 in Esperanza (Santa Fe). Three winter crops implanted and then second maize with two levels of nitrogen fertilization. Nitrogen fertilization improved total dry matter, yield and water use efficiency; but caused a decline in nitrogen use efficiency. The lack of response of maize with respect to ancestors crops was it attributed to favorable characteristics of the year and low productivity of vetch.

Key words: *Zea mays L., nitrogen use efficiency, water use efficiency, yield.*

1.- Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe.
Email: mpietrobon@fca.unl.edu.ar

2.- CONICET

3.- Cientibecario FCA - UNL

Manuscrito recibido el 14 de abril de 2016 y aceptado para su publicación el 10 de mayo de 2016.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas actuales en la Argentina están basados en cultivos estivales, con una predominancia de soja; mientras que, la superficie destinada a los cultivos invernales ha descendido hasta alcanzar sólo el 20-25% del área cultivada (36). La mayor productividad de la tierra se obtiene cuando se logra un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

La producción de materia seca y grano depende de la habilidad de los cultivos en capturar los recursos. La eficiencia de captura de los recursos es definida como la relación entre las salidas (biomasa y rendimiento en grano) y las entradas anuales de radiación fotosintéticamente activa (RFA), las lluvias o los nutrientes, que condicionan la productividad (7). La intensificación sustentable involucra un incremento en la productividad del sistema a través de un uso más intenso de los recursos disponibles, de las tierras más aptas para agricultura y de una creciente red de conocimientos, incorporando también todas aquellas prácticas agronómicas orientadas a la producción eficiente y sustentable (9).

La inclusión de cultivos invernales para granos permite implementar el doble cultivo secuencial, sembrando un cultivo estival luego de la cosecha. En tal caso, la presencia de cultivos invernales mejora la captura de los recursos agua y radiación solar, que no serían aprovechados para producir biomasa y/o granos en el caso de una menor intensificación (sólo producción de un cultivo de verano) (9). La secuencia trigo/soja es una alternativa muy difundida en la Argentina, pero existen también otras posibles combinaciones. Entre ellas se podrían mencionar otras secuencias de cultivos que podrían incluir a gramíneas como el maíz

y otras alternativas invernales como garbanzo, vicia y cebada forrajera. Las leguminosas de invierno como cultivo antecesor provocan un mayor contenido de agua útil y oferta de nitrógeno (N) disponible en el suelo a la siembra de los cultivos estivales con respecto al trigo, otras gramíneas y colza (1).

Asumiendo que la intensificación agrícola sustentable involucra la realización de más cultivos por unidad de tiempo, la manera más efectiva de intensificar las actuales secuencias agrícolas es realizar cultivos durante el invierno, ya sea para granos o para cobertura. Los cultivos de cobertura (CC) se realizan durante el período invernal de barbecho, previo a la siembra de un cultivo estival destinado a la producción de granos, interrumpiendo su crecimiento a través de la aplicación de herbicidas, con el objetivo de mantener cobertura e incorporar carbono al suelo, evitar la pérdida de nutrientes móviles y mejorar la eficiencia del uso del agua.

En zonas templadas, las especies más utilizadas como CC son fundamentalmente de las familias de las gramíneas y leguminosas. Las gramíneas más utilizadas son centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa* L.), triticale (*x Triticosecale* Wittmack) y raigrás (*Lolium multiflorum* Lam.). Mientras que las leguminosas mejor adaptadas como CC son las vicias (*Vicia villosa* L. y *Vicia sativa* L.) y los tréboles blanco (*Trifolium repens* L.), de olor (*Melilotus sp.* (L.) Mill.), de Alejandría (*Trifolium alexandrinum* L.) y encarnado (*Trifolium incarnatum* L.) (33). La cebada es una gramínea que produce un abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno (14). La *Vicia villosa* es la leguminosa más resistente al frío mientras que

el trébol encarnado acumula N más rápidamente que la vicia y tolera mejor los suelos moderadamente ácidos (15).

En los sistemas agrícolas actuales los CC pueden constituir una importante herramienta agronómica para el manejo de la dinámica del N (41). Algunos de sus beneficios están asociados a capturar N edáfico susceptible a lixiviación durante el período de crecimiento de los cultivos invernales. Luego, mediante la descomposición de residuos, es posible un aporte de N para el cultivo de cosecha (23, 34, 37).

El rendimiento del cultivo de maíz se encuentra principalmente limitado por agua y N, recursos que suelen evidenciar variabilidad espacial y temporal (2, 40). En estas situaciones, donde la demanda y oferta de recursos varía, la aplicación de dosis uniformes de N genera desajustes (18), que pueden tener consecuencias ambientales y económicas, por el uso de dosis sub- o supra-óptimas.

En efecto, se ha demostrado que la dosis óptima de N varía espacial y temporalmente, dentro de un mismo lote de acuerdo a la heterogeneidad del suelo y a las variaciones intra- e inter-anales del clima (4). Adicionalmente, el agua del suelo también muestra variaciones espaciales según las precipitaciones, la topografía y las propiedades del suelo afectando la absorción de N (5, 20).

Las eficiencias de uso del N (EUN, en kg de materia seca o de grano por kg de N absorbido) y del agua (EUA, en kg de materia seca o de grano por mm de agua disponible), en consecuencia, dependerán de la disponibilidad de N y agua durante la estación de crecimiento. Se ha reportado una estrecha relación entre ambas, donde el incremento en la disponibilidad de N disminuye linealmente la EUN (20) e incrementa la EUA (16).

Este trabajo pretende aportar resultados regionales en cuanto a evaluar distintas alternativas de secuencias agrícolas sobre la eficiencia de uso de los recursos y la productividad y producción del cultivo de maíz. De manera específica se pretende: 1) determinar la eficiencia de uso del agua y del nitrógeno en el cultivo según cultivos antecesores y fertilización nitrogenada; 2) evaluar el efecto de diferentes cultivos antecesores y fertilización nitrogenada sobre la productividad (kg de biomasa total), la producción (kg de granos o rendimiento) y los componentes de rendimiento en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de Cultivos Extensivos (Esperanza, Santa Fe) (31° 24' 56" S 60° 54' 28" O), sobre un suelo Argiudol típico serie Esperanza. Durante el primer año de la secuencia agrícola (2014) se implantaron tres cultivos invernales: trigo (considerado como testigo, por ser el cultivo más difundido), cebada forrajera y vicia (*V. villosa* L.) (como cultivo de cobertura). El segundo cultivo de la secuencia es el maíz de segunda (2014/2015), con dos niveles de fertilización (con y sin nitrógeno).

El diseño utilizado fue en bloques completos aleatorizados con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. La parcela principal fue el cultivo antecesor (A; trigo, cebada y vicia) y la sub-parcela el nivel de fertilización del maíz (F; con N y sin N). Cada unidad experimental fue de 4,5 m de ancho por 40 m de largo.

El maíz se sembró el 18/12/2014 a una densidad de 80000 pl ha⁻¹ y un espacia-

miento entre surcos de 52 cm. La dosis de N aplicada fue de 150 kg_N ha⁻¹, según una dosis de reposición del N extraído por el cultivo (con un rendimiento objetivo planteado de 10000 kg ha⁻¹ de grano). Los datos meteorológicos (lluvias, radiación, temperatura) se tomaron de la casilla meteorológica ubicada en la Facultad de Ciencias Agrarias de Esperanza, a 5 km del ensayo.

Para obtener la EUA se midió por gravimetría el agua útil inicial almacenada en el perfil hasta 1 m de profundidad y la residual al momento de madurez fisiológica. Con la variación del contenido hídrico del suelo (Δh) se utilizó el método de balance hídrico para la obtención de la evapotranspiración del cultivo (Etc) despejando la fórmula: $\Delta h = Etc - Pe - Per$; donde Pe= precipitación efectiva y Per= percolación profunda (se asumió cero). La EUA se calculó como el cociente entre la MS total o grano y los mm totales disponibles.

Para calcular la EUN de materia seca (MS) y grano se tomaron alícuotas de MS total y de granos, se molieron y por la metodología de micro-destilación Kjeldahl se determinó la concentración de N. El N acumulado en grano (Ng) y el resto de planta (Nresto) se calculó como el producto de la biomasa de cada fracción y la concentración de N, mientras que el N total acumulado (Ntotal) como la suma de ambas fracciones. La EUN se calculó como el cociente entre MS total o rendimiento (Rto.) y el N absorbido total.

En madurez fisiológica [R6, según la escala propuesta por Ritchie y Hanway (31)] se determinó: (i) materia seca total (MSt, en kg ha⁻¹); (ii) rendimiento ajustado al 14 % de humedad (Rto., en kg ha⁻¹); (iii) índice de cosecha (IC, en %); (iv) peso de mil granos (P1000, en g); (v) número de granos por m² (NG m⁻²). Para las determinaciones

(i), (ii), (v) se tomaron 5 plantas por parcela. La medición de MSt se obtuvo luego del secado en estufa de aire forzado hasta peso constante. Luego se trillaron las espigas y se estimó el Rto. y en NG. Se calculó el IC a través del cociente entre Rto./MSt. Se determinó el P1000 con contador de granos.

Los valores obtenidos se analizaron por medio del software estadístico InfoStat, versión 2014 (11). Cuando las diferencias entre tratamientos para una variable fueron significativas, las medias se compararon según el test LSD ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones agrometeorológicas

Las precipitaciones totalizaron en el período analizado (diciembre-abril) 830 mm, unos 206 mm, aproximadamente, por encima del promedio histórico para la zona (Fig. 1). Cabe destacar el exceso de lluvias en el mes de febrero (100 % superior), sin efectos negativos sobre el cultivo.

Las temperaturas medias fueron superiores a los valores históricos (Fig. 1), variando entre los 0,5 a 9 °C por encima de la media. Esta diferencia se produjo por un aumento de las temperaturas máximas (de 30,6 T_{máx} vs. 28,6 °C T_{máx_H}) y una caída en las temperaturas mínimas (de 18,3 °C T_{mín} vs. 21 °C T_{mín_H}).

Nitrógeno disponible y agua acumulada a la siembra

Al analizar el efecto del cultivo antecesor no hubo diferencias de aporte en N ($p = 0,6699$). Sin embargo, si hubo diferencias significativas en la cantidad de agua disponible ($p = 0,0495$) (Tabla 1).

A pesar de la no significancia de la disponibilidad de N, se pudo hallar una tendencia de mejora en cuanto al antecesor vicia. El mejor comportamiento de la vicia frente al trigo o la cebada se debe a la característica propia de las leguminosas de fijar N. Sin embargo, la diferencia quedó enmascarada por efecto de la escasa producción de MS del cultivo de cobertura. La misma logró 2760 kg ha⁻¹ de MS, por lo que su posibilidad de fijación de N y dejar una mayor disponibilidad en el suelo para el cultivo siguiente no pudo expresarse.

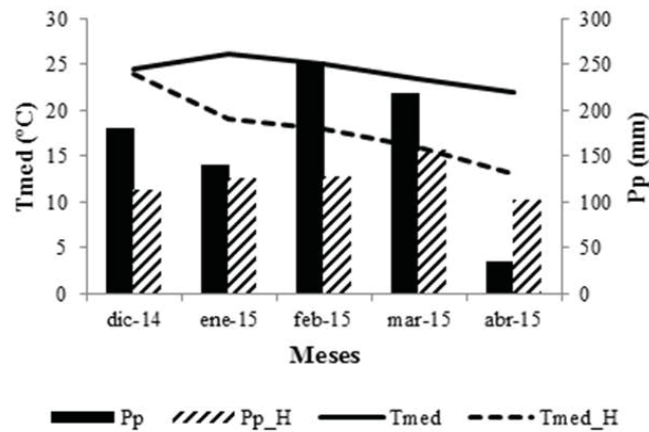


Figura 1: Evolución de la temperatura media actual e histórica (Tmed y Tmed_H, en °C) y de la precipitación actual e histórica (Pp y Pp_H, en mm) durante los meses de enero a abril de la campaña agrícola 2014/2015.

Tabla 1: Nitrógeno disponible (en kgN ha⁻¹) y agua acumulada (mm) a la siembra del cultivo de maíz para la campaña 2014/2015. Letras diferentes, dentro de una misma columna, indican diferencias según el test LSD ($p \leq 0,05$). Referencias ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$.

	N disponible (kgN ha ⁻¹)	Agua acumulada (mm)
Antecesor (A)		
Trigo	43,3 : a	134 : b
Vicia	48,5 : a	151 : ab
Cebada	42,5 : a	157 : a

El efecto del cultivo antecesor sobre la disponibilidad de N en el cultivo siguiente estará determinado por (35): (i) la relación C:N de los residuos que determina el balance inmovilización-mineralización del N de los residuos, (ii) el consumo de N del cultivo antecesor y (iii) el aporte de N atmosférico cuando el cultivo antecesor es una leguminosa. Albrecht y colaboradores (1) reportan que los cultivos antecesores leguminosas provocan una mayor oferta de N disponible a la siembra de los cultivos estivales, con incrementos entre 53-77 % respecto a los niveles aportados por el trigo.

Las diferencias entre los antecesores respecto del agua acumulada en el perfil estuvieron a favor de la cebada (17,2 %). Esta diferencia está dada por la menor longitud de ciclo y, por ende, una mejor recarga hí-

drica del perfil de suelo para el cultivo siguiente. Dicha diferencia coincide con lo documentado por Albrecht y colaboradores (1), quienes determinaron 25 % más de oferta hídrica inicial para el cultivo de verano con el antecesor cebada (siendo el cultivo de trigo el testigo). Sin embargo, esta ventaja inicial fue soslayada por el elevado régimen hídrico de la campaña en estudio (33 % superior a la media histórica para la zona).

Eficiencia de uso de agua y de nitrógeno

Las variables analizadas no presentaron interacción entre A x F (Tabla 2). Hubo diferencias significativas sólo con respecto al nivel de fertilización. Al analizar la EUN y la EUA sólo se determinó un efecto de la fertilización en EUN_MS ($p= 0,0025$) y en EUA_G ($p= 0,0189$) (Tabla 2).

Tabla 2: Eficiencia de uso de nitrógeno en granos y en materia seca (EUN_G y EUN_MS, en $kg\ kg_Nabs^{-1}$) y, eficiencia de uso de agua en granos y en materia seca (EUA_G y EUA_MS, en $kg\ mm_agua^{-1}$) del cultivo de maíz en la campaña 2014/15. Letras diferentes, dentro de una misma columna, indican diferencias según el test LSD ($p \leq 0,05$). Valores promedio de: dos niveles de fertilización para A y tres antecesores para F. Referencias ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$.

	EUN_G	EUN_MS	EUA_G	EUA_MS
($kg\ kg_Nabs^{-1}$).....	($kg\ mm_agua^{-1}$).....	
Antecesor (A)				
Trigo	54,1 a	126 a	16,4 a	38,7 a
Vicia	52,2 a	128 a	16,3 a	39,7 a
Cebada	52,2 a	131 a	19,1 a	45,3 a
Fertilización (F)				
sin N	53,4 a	137 a	15,2 b	39,1 a
con N	52,2 a	120 b	18,9 a	43,5 a
Análisis de la varianza				
A	ns	ns	ns	ns
F	ns	*	*	ns
A*F	ns	ns	ns	ns

Con relación a la EUN se determinó una caída del 12,4 % en la producción de MS total por cada unidad de N absorbido por el cultivo. Dicha situación está relacionada con la mayor absorción de N por parte del cultivo fertilizado (129 vs. 195 kgN ha⁻¹ para los tratamientos sin y con N, respectivamente).

La fertilización nitrogenada disminuyó significativamente la EUN_MS y la EUN_G debido a la mayor disponibilidad de N. Esta situación fue corroborada por varios autores (17, 21, 25, 28), quienes postularon que la alta disponibilidad de N varía la EUN por cambios, principalmente, en la capacidad de captura del nutriente. De manera similar Ciampitti y Vyn (10) establecieron, por medio de un ensayo con diferentes híbridos, densidades y dosis de N, que a medida que se incrementaba la dosis de N disminuía la EUN del fertilizante. Similares resultados fueron también informados por Subedi y Ma (38) y Boomsma y colaboradores (6).

La EUA_G aumentó un 24,3 % con el agregado de N. Para las diferentes dosis de N, las EUA_G halladas están dentro de los rangos mencionados en la bibliografía. Pedrol y colaboradores (27) en ensayos de dosis de N y agua (secano vs. riego) reportaron que la EUA para el rendimiento promedio en grano tanto en secano como en riego fue la misma (15,5 kg de grano mm⁻¹). Esta EUA similar entre riego y secano es coincidente con lo obtenido por Karam y colaboradores (19) y Rivetti (32), si bien el valor promedio de EUA logrado por estos autores fue muy superior (27 kg de grano mm⁻¹).

A pesar de no evidenciarse diferencias en la EUA_MS, se mantuvo la misma tendencia que en la EUA_G; es decir, mayor EUA en los casos de agregado de N. Los valores de EUA_MS hallados estuvieron

dentro de los valores encontrados en la bibliografía. Entre ellos, Pedrol y colaboradores (26) reportaron EUA_MS entre 20 kg mm⁻¹ en suelos degradados hasta 40 kg mm⁻¹ en ambientes de alta productividad.

Materia seca total, rendimiento, índice de cosecha, peso y número de granos

Las variables analizadas no presentaron interacción entre A x F (Tabla 3). Hubo diferencias significativas sólo con respecto al nivel de fertilización en todas las variables (MSt: p= 0,0013; Rto.: p= 0,0017; IC: p= 0,0023; P1000: p< 0,0001; NG m⁻²: p= 0,0364).

Las producciones de MSt difirieron en 5884 kg ha⁻¹ de MSt, siendo un 33,6 % superior en los tratamientos con N. Esto también se evidenció en el Rto., con 49,2 % al comparar con y sin N (3366 kg ha⁻¹). De manera similar, el IC se incrementó en 4,34 unidades, lo que representa un aumento del IC por la aplicación de N de 11,1 %. Finalmente, con relación a los componentes de Rto. analizados, P1000 y NG m⁻², aumentaron en 22,8 y 21,5 % en los tratamientos con N.

La falta de interacción entre A y F, como el efecto puro del cultivo antecesor podría estar asociada a dos factores. En primer lugar, las diferencias entre leguminosa (vicia) vs. gramíneas (trigo y cebada) y, en segundo lugar a la diferencia en longitud de ciclo (trigo > cebada) (ver “Nitrógeno disponible y agua acumulada a la siembra”).

En relación al Rto., existen en la bibliografía numerosos trabajos que indican la mejora frente a la fertilización. Analizando la respuesta de un maíz con y sin N para diferentes antecesores, se encontraron aumentos de: 88,3 % para trigo; 114 % para cebada y 34,7 % para leguminosas (promedio de los antecesores arveja, garbanzo y lenteja) (1).

Tabla 3: Materia seca total (MS_t), rendimiento (Rto.), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (P1000) y número de granos (NG m⁻²) del cultivo de maíz en la campaña 2014/15. Letras diferentes, dentro de una misma columna, indican diferencias según el test LSD ($p \leq 0,05$). Valores promedio de: dos niveles de fertilización para A y tres antecesores para F. ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$.

	MS total (kg ha ⁻¹)	Rto. (kg ha ⁻¹)	IC (%)	P1000 (g)	NG m ⁻²
Antecesor (A)					
Trigo	19442 a	8109 a	41,5 a	202 a	3980 a
Vicia	19347 a	7967 a	40,8 a	202 a	3885 a
Cebada	22532 a	9495 a	41,7 a	198 a	4765 a
Fertilización (F)					
sin N	17499 b	6840 b	39,1 b	180 b	3802 b
con N	23382 a	10207 a	43,5 a	221 a	4618 a
Análisis de varianza					
A	ns	ns	ns	ns	ns
F	*	*	*	*	*
AxF	ns	ns	ns	ns	ns

La respuesta del cultivo en la mayor MS acumulada por efecto de la fertilización nitrogenada coincide con los reportes de Caviglia y colaboradores (8), quienes condujeron un ensayo con diferentes densidades de siembra (5,5, 7 y 9 plantas m⁻²) y dosis de N (0, 50, 100 y 200 kgN ha⁻¹); donde, MS y el Rto. fueron afectados tanto por efecto de la densidad de plantas como de la fertilización nitrogenada.

La elevada respuesta en Rto. al agregado de N pone de manifiesto que la disponibilidad de dicho nutriente es uno de los factores edáficos que con mayor frecuencia, y en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, restringe el logro de altos rendimientos en grano de maíz en la Región Pampeana (3). La respuesta del cultivo a las aplicaciones de N depende de factores edáficos, climáticos y de manejo (29). En

sistemas de SD, la menor mineralización de la materia orgánica y la inmovilización generada por los residuos de los cultivos antecesores acentúa las deficiencias nutricionales (12, 13, 30).

El desarrollo de las espigas y de los granos está fuertemente afectado por deficiencias de N (24). La reducción del Rto. por baja disponibilidad de N está dada, principalmente, por el incremento en el aborto de granos, lo que determina un menor NG por espiga (24, 28). Se han reportado incrementos en Rto. por el agregado de N entre 15 y 50 % al comparar las diferentes dosis y tipo de fertilización con el testigo –sin N– (22). Las deficiencias de N afectan el NG y el Rto., pues reducen la tasa de crecimiento y la partición a espiga, lo que afecta el peso de granos y el IC (2, 39).

CONCLUSIONES

La productividad y producción del cultivo de maíz sólo fue modificada por la fertilización nitrogenada. El agregado de N mejoró la producción de MSt, el Rto., el IC, el peso y el NG.

La eficiencia de uso de los recursos (agua y nitrógeno) sólo fue afectada por la fertilización. El aumento de N incrementó la EUA y disminuyó la EUN.

Debido a las características favorables del año (Pp por encima de la media) y a la escasa productividad del cultivo de cobertura antecesor (vicia), sería interesante la repetición de dicho ensayo para contemplar mayor variabilidad climática y su impacto sobre la respuesta del maíz con respecto a los diferentes cultivos antecesores en la región.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALBRECHT, J; H. FONTANETTO; G. MEROI; M. SILLÓN; P. RUFFINO & S. GAMBAUDO.** 2010. Efecto de diferentes cultivos antecesores invernales sobre el comportamiento del maíz y de la soja de segunda. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/cultivos-legumbres/Efecto-Cultivos-Invernales-En-Soja-Maiz-Segunda.pdf>. Acceso: abril de 2015.
2. **ANDRADE, F.; A. CIRILO; S. UHART & M.E. OTEGUI.** 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 292 p.
3. **BARRACO, M. & M. DÍAZ-ZORITA.** 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. *Ci. Suelo.* 23 (2): 197-203.
4. **BASSO, B.; M. BERTOCCO; L. SARTORI & E.C. MARTIN.** 2007. Analyzing the effects of climate variability on spatial pattern of yield in a maize-wheat-soybean rotation. *European Journal of Agronomy.* 26: 82-91.
5. **BATCHELOR, W.D.; B. BASSO & J.O. PAZ.** 2002. Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. *Europ. J. Agronomy.* 18: 141-158.
6. **BOOMSMA, C.R.; J.B. SANTINI; M. TOLLENAAR & T.J. VYN.** 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. *Agron. J.* 101: 1426-1452.
7. **CAVIGLIA, O.P.; V.O. SADRAS & F.H. ANDRADE.** 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87: 117-129.
8. **CAVIGLIA, O.P.; R.J.M. MELCHIORI; A. KEMERER; N.V. VAN OPSTAL & V.C. GREGORUTTI.** 2007. Relaciones entre la eficiencia en el uso del nitrógeno y de la radiación en maíz (pp.: 7-12). En: Actualización Técnica maíz, girasol y sorgo. EEA Paraná. Proyecto Regional Agrícola. Ediciones INTA. Serie Extensión N° 44.
9. **CAVIGLIA, O.P.** 2011. Intensificación agrícola: un enfoque a nivel de sistema para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y nutrientes y la sustentabilidad ambiental. 10° Simposio de Fertilidad de suelos. IPNI Cono Sur-Fertilizar. Disponible en: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/E42A628001F1D168852579060067F74D/\\$FILE/CAVIGLIA%20-%20Intensificaci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20sustentable.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/E42A628001F1D168852579060067F74D/$FILE/CAVIGLIA%20-%20Intensificaci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20sustentable.pdf). Acceso: septiembre de 2011.
10. **CIAMPITTI, I.A. & T.J. VYN.** 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Res.* 121 (1): 2-18.

11. **DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZÁLEZ; M. TABLADA & C.W. ROBLEDO.** 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>.
12. **DOMÍNGUEZ, G.F.; G.A. STUDDERT; H.E. ECHEVERRÍA & F.H. ANDRADE.** 2001. Sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada en maíz. *Ci. Suelo*. 19: 47-56.
13. **ECHEVERRÍA, H.E. & H.R. SAINZ ROZAS.** 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ci. Suelo*. 19: 57-66.
14. **FORJÁN, H. & L. MANSO.** 2010. Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos. Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción. Chacra Experimental Integrada Barrow, Convenio INTA – MAA Pcia. de Buenos Aires. En: http://rian.inta.gov.ar/Boletines/Articulos/Documentos/Cereales_de_invierno_en_la_secuencia_de_cultivos.pdf. Consulta: febrero de 2016.
15. **FRYE, W.W.; R.L. BLEVINS; M.S. SMITH; S.J. CORAK & J.J. VARCO.** 1988. Role of annual legume cover crops in efficient use of water and nitrogen. ASA-CS-SA-SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU. Publicación Especial N° 51: 129-154.
16. **HATFIELD, J.; T.J. SAUER & J.H. PRUEGER.** 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy Journal*. 93:271-280.
17. **HIREL, B.; P. BERTIN; I. QUILLERE; W. BOURDONCLE; C. ATTAGNANT; C. DELLAY; A. GOUY; S. CADIOU; C. RETAILLIAU; M. FALQUE & A. GALLAIS.** 2001. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiol*. 125: 1258-1270.
18. **HUGGINS, D.R. & W.L. PAN.** 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal*. 85: 898-905.
19. **KARAM, F.; J. BREIDY; C. STEPHAN & J. ROUPHAEL.** 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekae Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management*. 63: 125 – 137.
20. **LEMAIRE, G. & F.F. GASTAL.** 2009. Chapter 8: Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency (pp.: 171-211). In: Sadras, V. and D. Calderini (eds). *Crop Physiology*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374431-9.00008-6>.
21. **MA, B.L.; L.M. DWYER; M. TOLLENAAR & D.L. SMITH.** 1998. Stem infusion of nitrogen-15 to quantify nitrogen remobilization in maize. *Commun. Soil Sci. Plan.* 29: 305-317.
22. **MA, B.L.; L.M. DWYER & E.G. GREGORICH.** 1999. Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize. *Agron. J.* 91: 650-656.
23. **MALPASSI, R.; T. KASPAR; T. PARTIN; C. CAMBARDELLA & N. NUBEL.** 2000. Oat and rye root decomposition effects on nitrogen mineralization. *Soil Science of American Journal*. 64: 208-215.
24. **MI, G.; F. CHEN & F. ZHANG.** 2007. Physiological and genetic mechanisms for nitrogen-use efficiency in maize. *J. Crop Sci. Biotech.* 10 (2): 57-63.
25. **MOLL, R.H.; E.J. KAMPRATH & W.A. JACKSON.** 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* 74: 562-564.
26. **PEDROL, H.; J. CASTELLARÍN & F. SALVAGIOTTI.** 2004. El maíz en el centro sur de Santa Fe. En: Para Mejorar la Producción N° 26. EEA Oliveros INTA. 8 – 15 pp.

27. **PEDROL, H.M.; J.M. CASTELLARÍN; F. FERRAGUTI & O. ROSSO.** 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. *Informaciones Agronómicas*. 40: 17-20.
28. **PIETROBÓN, M.** 2012. Densidad de plantas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y su efecto sobre la eficiencia de uso de nitrógeno. Trabajo de Tesis para optar al Título de *Magister Scientiae* en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 98 p.
29. **QUIROGA, A.; D. FUNARO; O. ORMEÑO; A. BONO & C. SCIANCA.** 2003. Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Cultivos de Cosecha Gruesa. Actualización 2003. EEA INTA Anguil. Boletín de Divulgación Técnica N° 77. 264 p.
30. **RICE, C.W. & M.S. SMITH.** 1984. Short-term immobilization of fertilizer N at the surface of no-till soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48: 295-297.
31. **RITCHIE, S.W. & J.J. HANWAY.** 1982. How a corn plant develops? Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa, EEUU. Special Report N° 48.
32. **RIVETTI, A.R.** 2005. Efecto del riego complementario sobre el rendimiento en grano de maíz y sus componentes (pp.: 36-39). En: Actas 8° Congreso Nacional de Maíz. Rosario, Santa Fe, Argentina.
33. **RUFFO, M.L. & A.T. PARSONS.** 2004. Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 21. 8 p.
34. **SAINJU, U. & B. SINGH.** 2001. Tillage, cover crop, and kill-plating date effects on corn yield and soil nitrogen. *Agron. J.* 93, 878-886.
35. **SALVAGIOTTI, F.; F. FERRAGUTI; J.M. ENRICO & G. PRIETO.** 2014. Respuesta a nitrógeno en maíz de fecha tardía según cultivo antecesor. En: Actas del 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
36. **SIIA.** 2011. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. En: <http://www.siiia.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>. Acceso: abril de 2013.
37. **STUTE, J.K. & J.N. POSNER.** 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. *Agron. J.* 87: 1063-1069.
38. **SUBEDI, K.D. & B.L. MA.** 2005. Effects of N-deficiency and timing of N supply on the recovery and distribution of labeled 15N in contrasting maize hybrids. *Plant Soil.* 273: 189-202.
39. **UHART, S.A. & F.H. ANDRADE.** 1995a. Nitrogen deficiency in maize (*Zea mays* L.). I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Science.* 35: 1376-1383.
40. **UHART, S.A. & F.H. ANDRADE.** 1995b. Nitrogen deficiency in maize (*Zea mays* L.). II. Carbon-nitrogen interaction on kernel number and grain yield. *Crop Science.* 35: 1384-1389.
41. **WAGGER, M.; M. CABRERA & N. RANELLS.** 1998. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover crop residue quality. *Journal of Soil and Water Conservation.* 53: 214-218.