

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA TARDÍA (V10-12) SOBRE
EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN CONDICIONES DE RIEGO Y SECANO**

por

Ignacio ABRAHAM CERUTI

Nicolás FALCO ANCIAUX

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2016

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. PhD. Carlos Perdomo

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Ing. Agr. PhD. Mónica Barbazán

Fecha:

26 de julio de 2016

Autores:

Ignacio Abraham Ceruti

Nicolás Falco Anciaux

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros agrónomos Carlos Perdomo y Esteban Hoffman por el apoyo académico brindado durante la realización de la tesis.

A Nicolás Fassana por el apoyo brindado durante todo el proceso experimental.

Al personal del laboratorio número 1 de la EEMAC. Facultad por su disposición.

Al personal del laboratorio de suelos por el apoyo al momento de realizar los análisis.

Al personal de la Biblioteca.

A nuestros padres, hermanos, familia, amigos y compañeros que nos apoyaron en todo momento en esta etapa que hoy llega a su fin.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. RESPUESTA AL AGREGADO DE NITRÓGENO	3
2.1.1. <u>Respuesta al N en función de la condición hídrica</u>	5
2.2. MOMENTO DE APLICACIÓN DEL N	8
2.2.1. <u>Respuesta al nitrógeno a seis hojas (V6)</u>	8
2.2.2. <u>Respuesta al N aplicado tardíamente</u>	9
2.3. LA IMPORTANCIA DEL AZUFRE EN CUANTO A LA RESPUESTA AL NITRÓGENO.....	11
2.4. INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO	13
2.4.1. <u>Siembra</u>	13
2.4.2. <u>Pos-emergencia temprana</u>	14
2.4.3. <u>Pos-emergencia tardía</u>	16
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO Y MANEJO DEL CULTIVO	19
3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	19
3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS	20
3.3.1. <u>A campo</u>	20
3.3.2. <u>En laboratorio</u>	20
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	21
3.4.1. <u>Modelo estadístico</u>	21
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	22

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL RIEGO	23
4.3. RENDIMIENTO Y COMPONENTES SEGÚN CONDICIÓN HÍDRICA	25
4.3.1. <u>Relación entre el rendimiento y sus componentes</u>	27
4.4. RESPUESTA AL AGREGADO DE N.....	28
4.5. RESPUESTA DE MAÍZ AL MOMENTO DE APLICACIÓN DEL N.....	31
4.6. POSIBILIDAD DE PREDECIR LA RESPUESTA AL NITRÓGENO EN V10-12.....	34
4.7. RELACIÓN ENTRE INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO.....	36
4.7.1. <u>Estimación de niveles críticos para distintos indicadores evaluados</u>	39
5. <u>CONCLUSIONES</u>	44
6. <u>RESUMEN</u>	46
7. <u>SUMMARY</u>	47
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	48
9. <u>ANEXOS</u>	58

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Umbral crítico de no respuesta en ppm de N-NO ₃ en suelo en el estadio de V6 según distintos autores.	15
2. Tratamientos evaluados para el experimento de riego y secano	19
3. Contraste ortogonales.....	21
4. Rendimiento promedio y máximo y agua acumulada (PP + Riego) en ambos experimentos.	24
5. Componentes del rendimiento según tratamiento de rendimiento mínimo, promedio y máximo, para las condiciones de riego y secano.....	26
6. Efecto del agregado incremental de N en V6 sobre el rendimiento y sus componentes.....	28
7. Equivalente fertilizante incremental según condición hídrica.	30
8. Efecto del momento de aplicación de 100 kgNha ⁻¹ incremental (V6-V10-V12) sobre los componentes de rendimiento.	31
9. Coeficientes de ecuaciones lineales entre nitrógeno agregado a V6 y valores de índices directos e indirectos de N en hoja, a V10.	35
10. Coeficientes de ecuaciones lineales entre nitrógeno agregado a V6 y valores de índices directos e indirectos de N en hoja, a V12.	36
 Figura No.	
1. Precipitaciones mensuales del período experimental en relación al promedio histórico 1980-2009 para la zona de Young	22
2. Precipitaciones por década mensual posterior al 1 de setiembre de 2012, Precipitaciones acumuladas en el período y ubicación de los momentos más relevantes del ciclo del cultivo: siembra, V6, V10, cosecha y el período crítico (PC).....	23
3. Precipitaciones, riego y evolución de la ETc y el agua acumulada en el ciclo del cultivo.....	24

4.	Rendimiento promedio, tratamiento de rendimiento mínimo y máximo, para el sitio con riego y secano.....	26
5.	Relación entre rendimiento y NG, entre rendimiento y PG, entre NG y PG, para condiciones de secano (a) y riego (b).....	27
6.	Ajuste de un modelo cuadrático a la dosis incremental de nitrógeno por sobre 78 Kg N.ha ⁻¹ a V6 en condiciones de secano y riego, con su correspondientes Dosis Óptima Física incremental (DOF) y Dosis Óptima Económica incremental (DOE).....	30
7.	Efecto del momento de aplicación de 100 kg N por encima de los 78 kg agregados en V6 sobre el rendimiento para secano (a) y riego (b), las líneas en las barras indican desvíos estándar. Los números del eje X, indican nitrógeno a V6-V10-V12.....	33
8.	Evolución de las lecturas de SPAD y LCCh desde V6 a V12 para distintas dosis de nitrógeno aplicado en V6, para secano (a) y riego (b).....	34
9.	Relación entre el concentración de nitrógeno en la última hoja totalmente desarrollada en V10 y el nivel de clorofila estimado por SPAD 502 y el índice de color LCCh bajo secano (a) y riego (b).....	38
10.	Relación entre la concentración de nitrógeno en la última hoja totalmente desarrollada en V12 y el nivel de clorofila estimado por SPAD 502 y el índice de color LCCh bajo secano (a) y riego (b).....	39
11.	Relación entre valor de la concentración de nitrógeno (a), SPAD (b) y LCCh (c) y rendimiento de maíz, en V10. Puntos grandes, datos de mayor rendimiento para cada nivel de los indicadores.....	41
12.	Relación entre valor de la concentración de nitrógeno (a), SPAD (b) y LCCh (c) en V12 y rendimiento de maíz. Puntos grandes, datos de mayor rendimiento para cada nivel de los indicadores.....	42

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo de gran importancia a nivel mundial. En el año 2013 se cosecharon más de 184 millones de hectáreas, obteniéndose aproximadamente 1.016 millones de toneladas de grano, lo que arroja una productividad promedio de $5,5 \text{ t ha}^{-1}$ (FAOSTAT, 2013). Este cultivo se siembra en muy diversas condiciones ambientales, desde una latitud norte de 50° en Canadá y Rusia, hasta latitud sur de 40° en Argentina y Chile (Paliwal et al., 2009). El mayor productor de maíz en el mundo es Estados Unidos, proveyendo el 35% de la producción mundial en 2013 y una productividad de casi 10 t ha^{-1} , mientras que el país que registra mayores rendimientos en grano es Israel con $22,5 \text{ t ha}^{-1}$ (FAOSTAT, 2013).

En Uruguay este cultivo es el segundo en área sembrada dentro de los cultivos de verano, con una superficie en la zafra 2013/14 de 123 mil hectáreas y una productividad promedio de $5,6 \text{ t ha}^{-1}$ (FAOSTAT, 2013). Este valor se encuentra por debajo del potencial determinado para la especie en nuestro país, que en condiciones experimentales llegó a 13 t ha^{-1} en secano con los mejores materiales del mercado (INIA e INASE, 2015) y $15,310 \text{ t ha}^{-1}$ con riego (Giménez, 2010). Estas diferencias se atribuyen principalmente al agua y al manejo de la fertilización nitrogenada.

La limitante al potencial dada por las condiciones típicas de déficit hídrico en el verano en Uruguay pueden ser levantadas mediante el riego, que permite una mayor estabilidad del rendimiento a lo largo del tiempo (Cardellino y Baethgen, 2000). La elección de la chacra, desde el punto de vista hídrico, es un factor de producción relevante, pero no es suficiente, ya que ningún suelo de nuestro país puede almacenar el total de agua necesario para que el régimen hídrico del año deje de ser la principal variable climática asociada con la variabilidad de los rendimientos (Cardellino y Baethgen, 2000). En conclusión, dada la variabilidad inter anual de las precipitaciones para nuestro país, el rendimiento de cultivos de secano está frecuentemente sujeto al régimen hídrico del año.

En cuanto al manejo de nutrientes, especialmente de nitrógeno (N), la propuesta de manejo para el país es en base al ajuste a la siembra y en V6, utilizando indicadores de suelo, principalmente el nivel de N-NO_3 (ppm) (Ceriani e Innella, 2012). Existen diferentes valores para el nivel crítico para el cultivo de maíz, que van desde 15 hasta 20 ppm en secano, y entre 24 y 27 ppm para este cultivo bajo riego (Salvagiotti et al. 2002, Perdomo 2009). La suba de precios de los fertilizantes y la concientización y legislación en cuanto al impacto ambiental hacen más importante la determinación de niveles críticos, para un mejor ajuste de la fertilización nitrogenada.

El aumento del área bajo riego para el cultivo de maíz lleva a la necesidad de generar la información que permita arribar a una propuesta de manejo objetivo del N, basada en la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y que conduzca a que este nutriente no limite un potencial que a priori es superior (Gregoret et al., 2006).

Los objetivos de este trabajo son, por lo tanto, contribuir a generar la información que permita contar con niveles críticos para el manejo del N en condiciones hídricas contrastantes, así como analizar la viabilidad de fraccionar su aplicación en etapas posteriores a V6 (V10 y V12). Estos objetivos se basan en la hipótesis de que existe respuesta al agregado de N en estas etapas del cultivo, posteriores a V6, y que la misma puede ser predicha con distintos métodos indirectos de medición del status nitrogenado de la planta.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. RESPUESTA AL AGREGADO DE NITRÓGENO

El N es un nutriente de gran importancia en el crecimiento del maíz, ya que está involucrado en la síntesis de proteínas y por ende en la fotosíntesis (Perdomo et al., 2008) y, por lo tanto, en el potencial de crecimiento. Varios autores aseguran que el N es el nutriente que tiene mayor impacto como limitante del potencial de rendimiento (Sharaahan et al., Fabrizzi et al., Nagy, citados por Szeles et al., 2012).

Deficiencias en este nutriente provocan reducciones en el crecimiento debido a la reducción en la tasa de crecimiento y expansión foliar que disminuyen el índice de área foliar (IAF) y consecuentemente la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (Torres Duggan, s.f.). El déficit de N, además, disminuye el contenido de clorofila de las hojas acelerando su senescencia (Eghball y Power, citados por Kaur, 2012). Uhart y Echeverría (2002) afirman que la pérdida de rendimiento por déficit de N está asociada a la disminución de la acumulación de biomasa y menor partición de la misma hacia los granos.

En la actualidad la predominancia del sistema de siembra directa aumenta la probabilidad de respuesta al agregado de N, ya que bajo este sistema la temperatura es menor y esto genera menor tasa de mineralización (Pagani et al., 2012). Sumado a que el sistema no rota con pasturas, ha disminuido la capacidad de aporte de N de los suelos en Uruguay (Ernst y Siri, 2013). Como ejemplo Hoffman y Perdomo (2011) citan la disminución en un 70% del potencial de mineralización del suelo (PMN) en 13 años para los suelos del litoral oeste. Ernst y Siri (2009) indican que al comparar agricultura/pastura contra agricultura continúa sin laboreo el contenido total de N del suelo se redujo en 300 kg ha^{-1} , implicando mayores necesidades de fertilizantes para mantener la productividad.

La respuesta al N depende de varios factores; entre los más importantes se encuentran: disponibilidad hídrica, el tipo de suelo, la historia agrícola y la concentración de N-NO₃ en suelo (Torres, 1996). Álvarez et al. (2003), expresan que cuanto menor es la disponibilidad de N-NO₃ mayor es la respuesta al agregado de N, concepto que también respaldan varios autores a nivel nacional (Borghini y Vornicow 1998, Perdomo y Hoffman 2011, Ceriani e Innella 2012, Cazabán y Rubio 2014).

Espósito et al. (2006), muestran que el contenido de N-NO₃ es mayor en situación de balance hídrico positivo lo que se asocia a las necesidades de agua para el proceso de mineralización. En Argentina, Echeverría y Ferrari (1993), estimaron que la cantidad de N mineralizado durante el ciclo de cultivo de trigo fue de 27- 47 kg de N ha⁻¹ en los 40 cm superiores del suelo para situaciones de baja disponibilidad hídrica (25% de agua útil) y de 60- 100 kg de N ha⁻¹ para situaciones de alta disponibilidad hídrica (60% de agua útil). A nivel nacional, Meroni et al. (2010) estimaron la mineralización de

N en suelos de la Cuenca Lechera Sur de Uruguay con diferentes niveles de humedad, concluyendo que los tratamientos con más humedad presentaron mayor mineralización neta de N, dándose los máximos en los niveles cercanos a capacidad de campo.

En Uruguay, Ackerman y Gasparri (2011), trabajando sobre suelos de la unidad San Manuel encontraron que la respuesta al agregado de N aumentó en forma lineal con los años de agricultura continua asociada con la disminución de la capacidad de aporte de N por parte del suelo. Estos mismos autores señalan que por cada kg de balance de N negativo en el sistema hubo que incrementar en 0,4 kg la fertilización nitrogenada para igualar el rendimiento en trigo. En concordancia en Argentina Ruiz et al., citados por García (s.f.), aseguran que la probabilidad de respuesta es mayor a partir de los 5 años de agricultura continua.

Experimentos a nivel de chacra realizados en el norte de China, Cui et al., citados por Gao et al. (2012), muestran una dosis óptima de 158 kg N ha⁻¹ mientras que el rango promedio de aplicación para esta región es de 263 kg N ha⁻¹. Esto implicaría, además de una baja EUN, problemas de contaminación. En el mismo trabajo en las chacras con rendimiento a nivel del testigo, de 11 t ha⁻¹, la respuesta fue de 1,1 t, mientras que en chacras con un rendimiento testigo menor a 5 t ha⁻¹, la respuesta promedio fue de 4100 kg ha⁻¹. Este mismo trabajo discute el antagonismo entre la obtención del máximo rendimiento y la eficiencia en el uso del N. A dosis por debajo del óptimo los valores de eficiencia fueron de 14 kg grano kg N⁻¹ y a la dosis óptima los niveles de EUN se mantuvieron (13 kg grano kg N⁻¹).

Nemati y Sharifi (2012) también encontraron que la EUN disminuyó en la medida que se incrementaba la dosis de N. Con el agregado de 75, 150 y 225 kg de nitrógeno, la EUN fue de 31, 27 y 19 kg grano kg N⁻¹ respectivamente. En este experimento la magnitud de la respuesta a la fertilización fue de 790, 2416 y 2611 kg de grano respectivamente, con un rendimiento testigo de 4745 kg ha⁻¹.

Pagani et al. (2009) confirman los conceptos mencionados donde la mayor respuesta se da con menor disponibilidad inicial de N y agregan que la misma es mayor en buenas condiciones hídricas. La respuesta a la fertilización fue baja (177 kg ha⁻¹ para 50 UN – EUN=4 y 248 kg ha⁻¹ para 100 UN – EUN=2) en los ambientes con bajas precipitaciones durante el período crítico, mientras que respuesta elevadas (2565 kg ha⁻¹ para 60 UN – EUN=43 y 4186 kg ha⁻¹ para 120 UN – EUN=35), se dieron en ambientes con buenas condiciones hídricas y menores niveles iniciales de N.

Below et al. (2007) en Illinois EEUU, encontraron una dosis óptima de 150 kg N ha⁻¹ para obtener 10,1 t ha⁻¹ en híbridos comerciales, con una EUN promedio de 21,6 kg grano kg N⁻¹. Para los híbridos experimentales de menor potencial, la dosis óptima fue de 118 kg N ha⁻¹, con una EUN promedio de 18,7 kg grano kg N⁻¹, que permitió alcanzar rendimientos de 6,9 t ha⁻¹.

Caviglia et al. (2007), confirman que al aumentar la dosis de nitrógeno en un sitio la eficiencia en el uso de este nutriente se reduce como muestran varios experimentos mencionados previamente en este trabajo. Sin embargo, la EUR y EUA aumentan al aumentar la dosis de N por lo que el objetivo ha de ser aumentar la EUR y EUA provocando la mínima disminución de la EUN.

En conclusión, es de esperar una mayor respuesta a N en suelos con larga historia agrícola, con bajos contenidos de nitratos y materia orgánica (MOS), condiciones de cultivos que permitan un elevado potencial de producción y condiciones hídricas no limitantes.

2.1.1. Respuesta al N en función de la condición hídrica

El maíz es un cultivo que requiere entre 540 y 575 mm de agua en todo su ciclo (Otegui y Totis de Zeljkovich, citados por Giménez et al., 2009) y es altamente sensible al estrés hídrico, en un período concreto en torno a la floración (Andrade et al., 2000b). Un estrés hídrico durante el período vegetativo reduce el crecimiento del cultivo, el IAF la tasa fotosintética, y la eficiencia de conversión de la radiación (Echeverría y Sainz Rozas, 2006). Si el estrés sucede durante el período crítico que va desde 15 días antes de floración hasta 15-20 después de la misma, las consecuencias son más graves ya que esta genera asincronía floral y gran disminución en el índice de cosecha. Por su parte un estrés durante el llenado de grano reduce el rendimiento a través de una reducción del peso de los granos (Echeverría y Sainz Rozas, 2006). Otegui (1992), en ensayos realizados durante dos años en Balcarce, comparó un tratamiento con 40 días de sequía alrededor de la floración, con un testigo sin limitación hídrica. Halló una reducción de la evapotranspiración cercana al 50%, lo cual determinó un menor crecimiento, manifestado en reducción del área foliar, biomasa aérea, altura del cultivo y menor rendimiento, por disminución en el número de granos. La pérdida de rendimiento fue de $17,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de grano por mm de deficiencia. Giménez (2012) también evaluó el impacto del estrés hídrico en distintos momentos del ciclo. El autor coincide en que un estrés hídrico durante el período crítico, el cual define como el período que va desde 15 días antes de la floración femenina hasta 15 días posteriores a la misma, tiene mayor impacto sobre el rendimiento que cuando este se da durante el llenado de grano ya que en el primer caso se afecta el número de granos, mientras que en el segundo se afecta solamente el peso de los mismos. Los resultados de Giménez (2012) muestran una reducción del 50% del rendimiento cuando el estrés se da durante el período crítico.

Es abundante la información en cuanto a la interacción entre la respuesta al N y la condición hídrica del cultivo de maíz, expresada a través del balance hídrico. En este sentido en experimentos realizados en Pergamino y Río Cuarto, Álvarez y Álvarez, citados por Espósito et al. (2006) encontraron eficiencias agronómicas de 62 y 41 kg grano por kg N (Pergamino) y 42 y 10 kg grano por kg N (Río Cuarto), para balances hídricos totales de +36 mm y de -144 mm, respectivamente.

Andrade et al. (2000) expresan que un déficit hídrico durante el barbecho y las primeras etapas vegetativas, seguidos de buena disponibilidad hídrica reducen la oferta de N en mayor magnitud que la demanda, por lo que es probable tener alta respuesta a la fertilización nitrogenada. Mientras que en buenas condiciones hídricas hasta las primeras etapas vegetativas y condiciones de déficit hídrico durante floración la respuesta va a ser inferior. Esto se debe a que la disponibilidad de agua durante el barbecho y etapas tempranas permite la acumulación de nitrógeno por aumentar la mineralización mientras que un déficit hídrico en dicha etapa restringe la capacidad del suelo de mineralizar nitrógeno, reduciendo la oferta y aumentando por ende la respuesta a la fertilización.

Espósito et al. (2006), trabajando en el sur de Córdoba encontraron que solo con balances hídricos positivos se obtuvieron diferencias significativas entre la aplicación de 37 y 74 Kg N ha⁻¹. En este mismo trabajo los autores encontraron una relación lineal entre el agua disponible en un metro de profundidad (agua disponible en V6, medida como diferencia entre contenido volumétrico total de agua del suelo y el contenido a 15 bares de succión) y la respuesta a la fertilización, con valores de respuesta de 200 y 1500 kg ha⁻¹ para valores de 20 y 120 mm de agua disponible respectivamente, con el agregado de 74 kg N ha⁻¹, y de 0 y 1200 kg ha⁻¹ para la aplicación de 37 kg N ha⁻¹. También analizaron la respuesta en función del contenido de nitratos para situaciones de balance hídrico positivo (BH+) y negativo (BH-) previo a la fertilización (diferencia entre precipitaciones y evapotranspiración para el período 30 días previos a la siembra y V6) con dosis de 37 y 74 kg N ha⁻¹. Los resultados muestran que con BH+ el nivel de nitratos (NO₃ – 0-40cm) variaba desde 50 a 220 ppm mientras que en BH- el nivel era de 50-90 ppm. Para el caso de BH+ la respuesta varió de 2800 a 1200 kg ha⁻¹ para 50 y 220 ppm de nitratos respectivamente habiendo diferencias entre dosis por debajo de 100 ppm, mientras que para BH- la respuesta varió de 1000 a 0 kg ha⁻¹ para niveles de 50 y 90 ppm de nitratos respectivamente, no habiendo diferencias significativas entre dosis.

En el trabajo realizado en el sudeste de Córdoba, durante cuatro años consecutivos (2003 a 2007) por Sánchez y Muñoz (2008), se observa que, independientemente del régimen de precipitaciones, siempre hubo respuesta al agregado de N. En este caso, la magnitud de la respuesta estuvo condicionada por el régimen de precipitaciones. En la zafra 2003-04 no se encontraron diferencias significativas entre el agregado de 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹ pero todas se diferenciaron significativamente del testigo sin N. Esto se atribuye a la escasez de precipitaciones en dicha zafra (391 mm) que determinó que no fuera el N el factor más limitante, sino el agua. La respuesta promedio de los tratamientos para esa zafra fue de 1282 kg ha⁻¹. Por su parte para las zafras 2004/05, 2005/06 y 2006/07 la respuesta promedio fue de 2177, 1914 y 2614 kg ha⁻¹ con regímenes de 646, 532 y 791 mm durante toda la estación de crecimiento respectivamente. La mayor respuesta se vio en la zafra 2006/07 en donde las precipitaciones fueron máximas (791 mm a lo largo del ciclo) y donde todos los tratamientos (0, 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹) se diferenciaron significativamente. Esto

muestra como la condición hídrica puede limitar la respuesta al N. En el mismo trabajo los autores encuentran un nivel de 216 kg N ha⁻¹ (considerando el N en la profundidad de hasta 60 cm suelo, más el aportado vía fertilizante) a partir del cual no hay respuesta al agregado de N.

En este mismo sentido, un experimento realizado en una zona aledaña a Manfredi-Argentina, trabajando con zonas de manejo por ambiente, se encontró que el N disponible óptimo agronómico (DOA), considerando el N en el perfil hasta 60 cm, fue considerablemente superior en buena disponibilidad hídrica (285 vs. 184 kg de N ha⁻¹ para riego y secano respectivamente). Los rendimientos variaron entre 6981 y 10434 kg ha⁻¹ para las zonas de alta productividad en secano y entre 8330 y 14258 kg ha⁻¹ para las zonas de alta productividad con riego, lo que demuestra el mayor potencial del cultivo cuando es regado y por ende su respuesta a mayores dosis de N (Gregoret et al., 2006).

Este mismo trabajo muestra que el agregado de igual cantidad de N (64 kg de N ha⁻¹) generó rendimientos mayores bajo buena disponibilidad hídrica (12,89 vs. 9,15 t ha⁻¹ para riego y secano respectivamente). Esta diferencia de rinde entre riego y secano con el agregado de 64 kg de N ha⁻¹ (3,74 t ha⁻¹) es mayor que la diferencia de rendimiento entre los testigos sin N para las distintas condiciones hídricas (1,35 t ha⁻¹) que dieron 8,33 y 6,98 t ha⁻¹ en riego y secano respectivamente. Esto implica que hay interacción N x condición hídrica, arrojando una mayor eficiencia agronómica del fertilizante para las condiciones de buena disponibilidad hídrica (71 vs. 34 kg grano kg N⁻¹ para riego y secano respectivamente).

En el mismo sentido un trabajo realizado en Venezuela por Medina y Ramírez (1996), para condiciones hídricas desfavorables durante la floración (seca), la respuesta al agregado de N fue muy baja (3 kg grano kg N⁻¹, para el agregado de 60 kg de N ha⁻¹).

Sánchez y Ascheri (2005), evaluaron las respuesta a la fertilización en 6 sitios, con diferentes dosis (0, 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹), durante dos zafras (2003/04 y 2004/05). Las zafras con diferencias en el régimen de precipitaciones, completaron 509 y 646 mm el 2003-04 y 2004-05 respectivamente. El rendimiento promedio fue de 9734 kg ha⁻¹ para la zafra 2003-04 y 12646 kg ha⁻¹ para la zafra 2004-05. En la zafra con mayores precipitaciones, se observó respuesta hasta la dosis de 180 kg N ha⁻¹ mientras que en la zafra 2003-04 existieron sitios sin diferencias y en algunas de los sitios la aplicación de 180 kg N ha⁻¹ generó disminución del rendimiento en grano.

En Uruguay Ceriani e Innella (2012) trabajando en un experimento de respuesta al N con dosis de 50, 100, 150 y 200 kg N ha⁻¹ indican que solo por el agregado de agua (192 mm), el rendimiento promedio se incrementó 4214 kg ha⁻¹, existiendo respuesta diferencial al N para las condiciones de secano y riego. La dosis óptima física fue de 188 y 123 UN para riego y secano respectivamente. Este trabajo también muestra que bajo riego se alcanza la máxima eficiencia con la dosis de 150 UN (EAN=25,3 kg grano kg N) mientras que en secano la máxima eficiencia se obtiene con 100 UN (EAN=16 kg

grano kg N^{-1}). Esto demuestra que en años secos el riego otorga respuesta a más N y con mayor eficiencia agronómica del mismo ($\text{kg grano kg N}^{-1}$).

Cazabán y Rubio (2014) estudiando la respuesta al N en tres sitios distintos, encontraron una EUN (con el agregado de 100 UN) del orden de 32 kg de grano kg N^{-1} en promedio. Este valor es sustancialmente mayor a los 16.4 kg de grano kg N^{-1} encontrados por Ceriani e Innella (2012), teniendo en ambos casos niveles muy bajos de N-NO₃ en V6. Esto puede deberse a que la zafra 2009-10 en la cual se llevó a cabo el experimento de Cazabán y Rubio tuvo un régimen de precipitaciones más favorables aumentando la respuesta al N mientras que en el experimento de Ceriani e Innella (2012) el agua limitó la respuesta al N.

2.2. MOMENTO DE APLICACIÓN DEL N

2.2.1. Respuesta al N a seis hojas (V6)

En este estadio fenológico la eficiencia es mayor que a la siembra debido a que en este momento el cultivo comienza la fase de máximo crecimiento y absorción de nutrientes (Ciampitti et al., 2010), determinando en parte que las pérdidas de N por desnitrificación, inmovilización y lavado sean menores (Calviño y Echeverría, 2003).

En concordancia con esto, Méndez et al. (2012), señalan que los requerimientos de N del maíz son crecientes desde su implantación, siendo máximos en la etapa desde V6 hasta floración. Por lo tanto, el ajuste de las necesidades de N tiene como objetivo proveer buena disponibilidad de este nutriente en dicha etapa. Los mismos autores expresan que tras numerosos estudios realizados en la región pampeana se demuestra que aplicaciones al momento de la siembra son menos eficientes sobre suelos de textura arenosa y en años con elevadas precipitaciones al inicio del cultivo debido a que la oferta de N está desfasada de la demanda del cultivo dando lugar a pérdidas de N, principalmente por lixiviación, con la consiguiente disminución de la eficiencia agronómica del fertilizante ($\text{kg de grano/kg de N aplicado}$).

La eficiencia agronómica resulta del producto de sus componentes: eficiencia fisiológica ($\text{kg de grano/kg N absorbido}$) y fracción recuperada ($\text{kg N absorbido/kg N aplicado}$) (Novoa y Loomis, citados por Uhart y Echeverría, 2002). Esta eficiencia ($\text{kg grano kg N}^{-1}$) ha sido estimada en un 33% para la producción de cereales, esto implica que un 67% de N que no es utilizado generando pérdidas a nivel mundial inestimadas (Dale et al., citados por Calvo, 2008).

Si bien algunos trabajos no encuentran diferencias la mayoría de las veces las aplicaciones retrasadas dan mayores valores de eficiencia de recuperación (Uhart y Echeverría, 2002). En el mismo sentido, Sainz Rozas et al. (2000) señalan que altas dosis de N aplicadas al momento de la siembra, incrementan los riesgos de pérdidas por lixiviación ante lluvias intensas. Por lo tanto la aplicación de N entre la siembra y antes

de la floración, es una técnica de manejo agronómico que mejora la eficiencia de uso de este nutriente (Scharf et al., citados por Calvo, 2008).

En varios ensayos realizados en suelos Argiudoles del área del centro de Buenos Aires y el sur de Santa Fe, no se detectaron diferencias significativas entre aplicaciones a la siembra y V6, aun cuando en algunos sitios como en Pergamino en el año 2000, las precipitaciones alcanzaron 323 mm entre siembra y V6. Sin embargo, en dos de tres ensayos en suelos Hapludoles, se detectaron diferencias significativas a favor de la aplicación a V6 (Ferrari et al., citados por Gudelj, 2004). Los autores atribuyen estas diferencias a los distintos tipos de suelo, siendo los Argiudoles suelos con mayor diferenciación textural y por ende menor potencial de lixiviación.

En un experimento realizado en Balcarce, Argentina en condiciones de riego se encontraron respuestas de 2876 y 2088 kg ha⁻¹ para las zafras 98/99 y 99/00 respectivamente, con la aplicación de 70 kg N ha⁻¹ en V6. La eficiencia agronómica fue de 41 y 30 kg grano kg N⁻¹ para las zafras 98/99 y 99/00 respectivamente.

Borghini y Wornicov (1998), trabajando en 10 sitios en Uruguay encontraron respuesta significativa al agregado de N en V6 en solo 1 de los 10 sitios. Los autores atribuyen esto a los altos niveles de N-NO₃ que presentaban los ensayos en V6, 70% de los sitios con valores en torno a 17 ppm N-NO₃ o más.

Ceriani e Innella (2012) en Uruguay, encontraron alta respuesta al agregado de N a V6, con dosis de 0, 50, 100 y 200 Kg N ha⁻¹, determinaron la dosis óptima física (DOF) y dosis óptima económica (DOE). Obtuvieron valores de 188 y 123 UN para DOF en riego y secano respectivamente, mientras que la DOE fue de 163 y 97 UN para riego y secano respectivamente. Es importante mencionar que parte de la alta respuesta se debe a los bajos valores de N-NO₃ a V6 (4 y 6 ppm para riego y secano respectivamente). Similares valores encontraron Pedrol et al. (2008) en INTA Oliveros, Argentina, quienes no obtuvieron respuesta más allá del agregado de 180 kg N ha⁻¹. Mientras que Pozzi y Halvorson (2011) en el Noreste de Colorado, EE.UU, estimaron que el máximo rendimiento en grano se dio a los 177 kg N ha⁻¹.

2.2.2. Respuesta al N aplicado tardíamente

Con las relaciones de precios grano/fertilizante, desfavorables el uso eficiente del N cobra singular importancia (Melchori et al., 2007). Las aplicaciones postergadas de N surgen así como una alternativa de mejorar la eficiencia haciendo coincidir los momentos de mayor demanda con la mayor oferta (Russelle et al., citados por Albarenque et al., 2010). En el mismo sentido Williams et al. (2009) consideran que el momento de fertilización debería retrasarse hasta estadios más avanzados del cultivo (V9-V12).

Según Plénet, citado por Maturano (2002), una deficiencia de N en estado de 10 hojas provoca una reducción del 30% de la superficie foliar. Esta reducción es dependiente del estado de nutrición nitrogenada (Girardin et al., citados por Maturano, 2002). El número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera (los que determinan la formación del número total de granos por mazorca) se definen durante las etapas vegetativas comprendidas entre la hoja 6 (V6) y la hoja 12 (V12) (Ritchie et al., citados por García y Espinosa, 2009), por lo que una buena nutrición durante esta fase, define el potencial de rendimiento por mazorca. Un sinnúmero de estudios demuestran que puede existir respuesta al agregado de N desde la siembra hasta el estadio de V14 (Scharf et al., Randall et al., Melchiori et al., citados por Albarenque et al., 2010).

Perdomo (2011), encontró para la aplicación de 100 kg N ha⁻¹ en V6 una respuesta cercana a kg ha⁻¹ con un rendimiento testigo de 8000 kg ha⁻¹. Mientras que la aplicación de la misma cantidad de fertilizante pero agregada en V10 generó una respuesta igual o mayor, mostrando la capacidad del cultivo de responder más allá del estado de seis hojas.

Siguiendo esta línea Méndez et al. (2012), trabajando en suelos franco limosos del sudeste de Córdoba con dosis de 0, 33, 66, 99 y 132 kg N ha⁻¹ aplicadas en V6 o V10 encontraron que aplicaciones de fertilizantes postergadas a V10 lograban aumentar el rendimiento en comparación con aquellas realizadas en V6 (9,42 vs. 8,74 t ha⁻¹ para V10 y V6 respectivamente). Los autores atribuyen esto a las muy escasas precipitaciones ocurridas entre V6 y V10 que generaron altas pérdidas por volatilización.

Ceriani e Innella (2012), analizaron la importancia del momento en condiciones de riego y secano. Los tratamientos fueron 100 kg N ha⁻¹ aplicados en V6, 100 kg N ha⁻¹ aplicados en V10 o fraccionada la mitad en cada estadio. Los autores encontraron que en condiciones de riego no hubo diferencias significativas entre tratamientos, mientras que en condiciones de secano la aplicación en V6 rindió significativamente más que la aplicación tardía (V10) o fraccionada. Los testigos sin N rindieron 6537 y 3432 kg ha⁻¹ en riego y secano respectivamente. La EUN (kg grano kg N⁻¹) para la aplicación completa en V10 fue de 30,6 y 3,1 kg grano kg N⁻¹ para riego y secano respectivamente. Estos resultados muestran que una sola aplicación en post emergencia tardía en secano puede ser insuficiente en condiciones hídricas desfavorable como las de este experimento (192 mm de precipitaciones en todo el ciclo). Por otra parte Cazabán y Rubio (2014) encontraron una disminución significativa del rendimiento por diferir la aplicación de N al estado de V10 mientras que no hubo diferencias entre aplicar 100 kg N en V6 o hacerlo fraccionado 50 kg N en V6 y 50 kg N en V10.

En resumen tanto Ceriani e Innella (2012) como Cazabán y Rubio (2014) coinciden que en condiciones hídricas no limitantes no hay diferencias significativas entre agregar todo el N a V6 o fraccionarlo entre V6 y V10. Mientras que aplicar únicamente en estados avanzados (V10-11) puede significar llegar tarde con el N independientemente de la condición hídrica.

García y Espinosa (2009), trabajando en Colombia en diferentes municipios con fraccionamiento de la fertilización, y dosis que iban desde los 110 a los 150 kg N ha⁻¹ según el sitio, encontraron superioridad del fraccionamiento triple (siembra-V6-V10) sobre el doble (siembra-V6). A su vez, dentro del fraccionamiento triples el 20-40-40 (20% V0- 40% V6-40% V10) fue superior al 30-40-30. En tres municipios, pese a no haber diferencias significativas entre fraccionamientos, se observó una diferencia a favor del fraccionamiento 20-40-40 que produjo 6.5, 4.8 y 4.8 t ha⁻¹ de grano en cada sitio, comparado con 5.7, 3.3 y 3.2 t ha⁻¹ obtenidas con el fraccionamiento doble (20-80) en los mismos sitios. En este trabajo el fraccionamiento triple permitió una mayor eficiencia en el uso del N (30-35 vs. 20-25 kg grano kg N⁻¹ para fraccionamiento triple y doble respectivamente).

Perdomo y Hoffman (2011) expresan que una posible estrategia para mejorar el ajuste de la dosis óptima, y así incrementar el rendimiento y rentabilidad del cultivo, sería agregar una dosis baja de N a la siembra, a V6, basada en el test de nitrato y monitorear el cultivo 30 días post V6 a través de indicadores como la concentración de N en hoja o lectura de clorofilómetro (SPAD) para aplicar en función de estos indicadores, que serán abordados más adelante en este trabajo.

2.3. LA IMPORTANCIA DEL AZUFRE EN CUANTO A LA RESPUESTA AL N

La disponibilidad de azufre (S) depende de la mineralización de la fracción orgánica. En general las deficiencias de azufre se observan en situaciones de bajo contenido de materia orgánica ya sea por las características del suelo, o resultado de una larga historia agrícola, sobre todo cuando es altamente extractiva (García, s.f.). En el mismo sentido, García (2000), describe que la intensificación de la agricultura en la zona pampeana Argentina ha traído aparejado una extracción de nutrientes, entre ellos azufre, que no fue repuesto con la misma intensidad. Pagani et al. (2012) al igual que Relun (2005) señalan que en SD es mayor la probabilidad de respuesta por menor mineralización de la materia orgánica.

En concordancia con esto, en Uruguay trabajando con cereales de invierno. Hoffman et al. (2013), encontraron respuesta al agregado de 50% más del N recomendado por el modelo de Baethgen (1992) y azufre en aquellas chacras con más de 5 años de agricultura continúa en siembra directa sin pasturas. Estando esto asociado a que estas chacras ven disminuida su capacidad de aporte de N así como su capacidad de aporte de S, por estar la dinámica de ambos nutrientes ligada a la materia orgánica, la cual se ve disminuida bajo agricultura continua (Ernst y Siri, 2011).

Se han encontrado valores de eficiencia de uso del S de 43 a 135 kg de grano.kg de S aplicado⁻¹ (Ventamiglia et al., citados por Pagani et al., 2009). Entre la literatura consultada se encontraron distintos resultados en cuanto a la interacción de la respuestas al N, con S.

Ceccoti, citado por Pagani et al. (2009) indica que deficiencias de azufre podrían reducir la eficiencia en el uso del N. Salvagiotti et al. (2002) en un experimento realizado durante los años 1998-2000 en INTA oliveros encontró que la EUN fue aumentada por el agregado de azufre. Este aumento fue de mayor magnitud en la campaña 98-99 ya que en la campaña siguiente las condiciones hídricas fueron limitantes. Sin embargo, las tendencias se mantuvieron. El rendimiento testigo fue de 7728 kg ha⁻¹, cuando se agregaron 93 kg N ha⁻¹ a la siembra se obtuvo un rendimiento de 9012 kg ha⁻¹, mientras que cuando se agregaron 47 kg N ha⁻¹ y 34 kg ha⁻¹ de azufre se obtuvo un rendimiento de 9628 kg ha⁻¹. En resumen la EUN fue de 40 y 14 kg grano kg N⁻¹ para los tratamientos con y sin azufre respectivamente.

En concordancia con lo anterior Hoffman et al. (2015) trabajando en el cultivo de trigo encontraron que el agregado de azufre aumenta la eficiencia de uso del N (EUN). Estos autores dividen la EUN en dos sub-componentes la eficiencia de recuperación del N derivado del fertilizante (RAN – kg N absorbidos/kg N agregados como fertilizante) y la eficiencia fisiológica del fertilizante (EFNr kg N en grano kg N absorbidos) y aseguran que la variación en la EUN se debe principalmente a la RAN, mientras que la EFNr tiene una variación sensiblemente menor (Salvagiotti et al., citados por Hoffman et al., 2015). Los mismos autores encontraron que el agregado de azufre logró un aumento de la RAN en todos los niveles de fertilización, incluso cuando se agregó más N al recomendado por el modelo de Baethgen (1992).

Fontanetto et al. (1999) trabajando con diferentes dosis de N (0-30-60 kg N ha⁻¹) y azufre (0-12-24 kg S ha⁻¹) encontraron una tendencia al aumento de rendimiento por el agregado de S. Estos autores señalan que las diferencias son mayores cuando la dosis de N es mayor, por ejemplo cuando la dosis es de 30 kg N ha⁻¹ el agregado de 12 kg S ha⁻¹ generan un aumento de 275 kg ha⁻¹ del rendimiento mientras que cuando la dosis es de 60 kg N ha⁻¹ el agregado de 12 kg S ha⁻¹ generan una respuesta de 600 kg ha⁻¹.

En el mismo sentido, Capurro et al. (2002) hallaron que la respuesta a S fue significativa con dosis de N superiores a 60 kg ha⁻¹ y mayor a dosis creciente de N demostrando una clara interacción N*S. La eficiencia agronómica del N (kg grano kg de N aplicado) fue de 30,6 y 16 kg grano kg N⁻¹ para el tratamiento de 150 kg N ha⁻¹ con y sin 12 kg S ha⁻¹ respectivamente.

Pagani et al. (2009), en un experimento conducido en la pampa argentina durante los años 2005 -2008, en cuatro sitios, con dosis de N entre 0-125 kg ha⁻¹ y S entre 0-20 kg ha⁻¹, indican que no se determinó interacción N-S sobre los rendimientos en ninguno de los cuatro ensayos. En este sentido, un ensayo conducido en Malawi sobre suelos con severas deficiencias de azufre y rendimientos máximos inferiores a los 5000 kg ha⁻¹ Weil y Mugohogho (2000), determinaron interacción significativa entre N y azufre para tres de las cuatro localidades. Los autores mencionan que no hubo respuesta al azufre cuando no se aplicó N. Sin embargo, cuando se agregaron 80 kg N

ha⁻¹ el agregado de 20 kg S ha⁻¹ generó respuestas de entre 500 y 1100 kg ha⁻¹. Los mismos autores señalan que la adición de N sin azufre acentuó la deficiencia de azufre.

Szulc et al. (2012) realizaron un experimento con dosis crecientes de N (0, 30, 60, 90, 120 y 150 kg N ha⁻¹) y S (0, 20 y 40 kg S ha⁻¹), los autores mencionan que existe interacción entre N y azufre, encontrando mayor respuesta al azufre con dosis mayores a 90 kg N ha⁻¹. Estos autores encontraron que la dosis óptima física para N aumentó con el nivel de azufre con valores de 111, 134 y 161 kg N ha⁻¹ para el agregado de 0, 20 y 40 kg S ha⁻¹ respectivamente.

Masino et al. (2010) no encontraron efecto de la fertilización azufrada sobre la eficiencia en el uso del N ni tampoco efecto del azufre sobre el rendimiento, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos que recibieron N (0-160 kg N ha⁻¹) y los que recibieron N y azufre (10 kg S ha⁻¹), con niveles de producción de 8-12 Mg ha⁻¹ sin limitantes hídricas importantes. Ceriani e Innella (2012), en Uruguay tampoco encontraron interacción N por azufre para altas dosis de N (200 kg N ha⁻¹) independientemente de las condiciones hídricas del ambiente. Estos autores observaron una tendencia al aumento de rendimiento por el agregado de azufre bajo riego, mientras que en secano los autores atribuyen la falta de respuesta a otro factor más limitante en dicha zafra, el agua.

2.4. INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO

En el marco de corregir las deficiencias nitrogenadas de cultivos como el maíz, es evidente la necesidad hacerlo sobre la base de la mejora en la eficiencia del uso, dado el alto costo del fertilizante y el impacto ambiental que puede tener este insumo si se aplica en exceso. Como ha sido tratado anteriormente la mejora de la EUN se lograría fraccionando la aplicación del mismo, de manera de que la oferta de N en parte acompañe a la demanda del cultivo. Para lograr un equilibrio entre la oferta y la demanda es necesario conocer el status nitrogenado del cultivo durante las distintas etapas del mismo.

2.4.1. Siembra

Si bien el indicador a la siembra sería la concentración de N-NO₃ (0-20 cm), no hay trabajos nacionales que establezcan con certeza los niveles críticos para este indicador. En un trabajo realizado en España utilizando el indicador N-NO₃ (0-30cm) Villar et al. (2000), encontraron un nivel crítico de 12 ppm. Perdomo y Hoffman (2011) mencionan que probablemente los niveles se ubiquen entorno 13-15 ppm, aunque el N a siembra, es el resultante del ajuste de N con fertilizantes binarios, cuya dosis está fija por el ajuste de P. Por su parte Giménez (2011), menciona un nivel crítico de 25-30 ppm N-NO₃ a la siembra en caso de no realizar refertilización. García et al. (2009), mencionan un nivel crítico de 25 ppm N-NO₃ a la siembra para los suelos típicos del litoral oeste de Uruguay, también sin previsiones de ajuste en pos emergencia.

2.4.2. Pos-emergencia temprana

En nuestro país en este estadio se recomienda la fertilización nitrogenada siguiendo la filosofía del nivel crítico, que indica que la respuesta de un cultivo al agregado de un nutriente cesa o tiende a decrecer luego de que sobrepasa cierto nivel del mejor indicador de referencia (Olson et al., citados por Perdomo et al., 2006). Pese a que hay métodos que proponen estimar el status nitrogenado a partir de N en planta la mayoría de la bibliografía respalda a la prueba de N como nitratos en suelo como el mejor estimador de status nitrogenado para el estadio de 6 hojas, ya que en este estadio la absorción por parte del cultivo todavía es baja y por ende es poco probable que se presenten deficiencias en la planta.

En este sentido Binford et al. (1992), afirman que la concentración de N en planta no es un buen indicador del status nitrogenado en estadios tempranos (V5-V6), ya que la relación con la respuesta a la fertilización y con el rendimiento, es baja.

Varios trabajos han tratado de establecer correlaciones entre las lecturas de clorofila (SPAD) y el rendimiento. Tanto Blackmer y Shepers (1995) como Sainz Rozas y Echeverría (1998), no lograron encontrar relación alguna entre la lectura de clorofila y el rendimiento o la respuesta a la fertilización para el estadio de seis hojas, indicando en ambos casos que la lectura de clorofila no es un buen indicador. Al medir la precisión de este método para los distintos estadios relacionando un índice de suficiencia de N con el rendimiento relativo encontraron que el $R^2=0,46$ para V6 y R^2 de 0,86, 0,87, 0,90 para los estados V10-11, R1 y R3, respectivamente. Szeles et al. (2012) no encontraron diferencias en el tenor de clorofila a V6 para tratamientos de 0, 30, 60, 90, 120 o 150 kg N ha⁻¹. Ceriani e Innella (2012), tampoco encontraron correlación entre el concentración de N en planta con las lecturas de Leaf Color Chart (LCC) ni con las lecturas de SPAD en seis hojas y concluyen que estos métodos no fueron buenos como estimadores de la deficiencia de N a V6.

La metodología propuesta por Magdoff et al. (1984), conocida como Presidedress Soil Nitrate Test (PSNT) consiste en la medición del N-NO³ en el suelo antes del período de máxima absorción (V5-6), estableciendo un nivel crítico a partir del cual no habría respuesta al agregado de N o la misma sería muy baja. Esta metodología fue desarrollada en distintas regiones de los Estados Unidos (Bock y Kelley, citados por Slavagioti et al., 2002) y validada por Blackmer et al., Fox et al., Meisinger et al., Klausner et al., citados por Slavagioti et al. (2002), mientras que en Argentina fueron validadas por Melchiori et al., García et al., Ferrari et al., Sainz Rozas et al., citados por Slavagioti et al. (2002). En Uruguay Borghi y Wornicov (1998), propusieron utilizar este test e indican que el contenido de N-NO₃ en los primeros 20 cm se correlacionó muy bien con el contenido de NO₃ en los primeros 40 cm ($R^2=0,93$).

Borghi y Wornicov (1998), evaluaron distintos indicadores de status nitrogenado a V6: N-NO₃ en suelo, nitratos en planta, contenido de N en planta e índice

de clorofila. El único indicador que mostró una correlación clara con el rendimiento relativo fue el N-NO₃ en los primeros 20cm de suelo, cuyo valor crítico fue de 17 ppm. También Villar et al. (1999), en INTA Refaela- Argentina, encontraron que la respuesta a la fertilización fue mejor explicada por el contenido N como nitrato en suelo (en los primeros 27 cm) que por el nitrato en el jugo de la base del tallo en el estadio V4-V6, encontrando un nivel crítico de 23 ppm a partir del cual no habría respuesta. En nuestro país el trabajo conducido por Perdomo et al. (1998), en predios comerciales, arroja un nivel crítico de 18 ppm N-NO₃, muy similar al encontrado por Borghi y Wornicov (1998).

En un trabajo realizado por Salvagiotti et al. (2002), en el centro-sur de Santa Fe, utilizando información de ensayos de fertilización nitrogenada sobre Argiudoles típicos y vérticos durante cinco zafras buscando evaluar el test de nitratos en V5-6, los autores destacan que es importante relativizar el nivel crítico según el rendimiento del cultivo ya que a mayor rendimiento el nivel crítico también es mayor. En este caso agrupando en rendimientos mayores o menores a 8000 kg ha⁻¹ se obtuvieron niveles de 26 y 21 ppm N-NO₃ (0-30cm) respectivamente, a partir de los cuales no habría respuesta. Los autores expresan que este umbral es superior a las a las 21 ppm (0-20cm) encontradas por Melchiori et al. (1996). Bianchini et al. (2005) trabajando en Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires durante cuatro zafras encontraron un nivel crítico de 19 ppm N-NO₃ para rendimientos máximos que variaron entre 10000 y 12000 kg ha⁻¹.

En el sudeste bonaerense, Sainz Rosas et al. (2000), determinaron niveles críticos de nitrato en el estrato de 0-30 cm de 17 y 27 ppm para rendimientos de 8.5 y 13.5 t ha⁻¹ respectivamente, valores que coinciden con los determinados por otros autores en el hemisferio norte (Fox et al. 1989, Binford et al. 1992). Sainz Rosas et al. (2000) encontraron una relación lineal entre el rendimiento promedio y los umbrales de N-NO₃, con un incremento de 2 ppm en el nivel crítico por cada tonelada de aumento en el rendimiento.

A modo de resumen se realiza un cuadro en el que se muestra como varía el nivel crítico de N-NO₃ en diferentes situaciones y para los distintos autores.

Cuadro 1. Umbral crítico de no respuesta en ppm de N-NO₃ en suelo en el estadio de V6 según distintos autores.

	Rend. máx. (kg ha ⁻¹)	Nivel crítico	Autores	País
Secano	7.000	17	Borghi y Wornicov (1998)	Uruguay
	<8.000	21	Salvagiotti et al. (2002)	Argentina

	10.000 – 12.000	20	Bianchini et al. (2005)	Argentina
	11.000	23	Villar et al. (1999)	Argentina
	12.000	20-25	Blackmer et al. (1989)	EEUU
	12.000	23-23	Binford et al. (1992)	EEUU
	>8000	26	Salvagiotti et al. (2000)	Argentina
	s/d	18	Perdomo (1998)	Uruguay
	s/d	21	Melchori (1996)	Argentina
	s/d	21	Klausner et al. (1993)	EEUU
	s/d	21-25	Fox et al. (1992)	EEUU
Riego	13500	27	Sainz Rozas et al. (2000)	Argentina

La columna de rendimiento máximo es un indicador del potencial de rendimiento en el que se enmarca cada trabajo. Por ejemplo, Salvagiotti et al. (2002) agruparon los datos de nivel crítico en dos grupos, encontrando un nivel crítico de 21 ppm N-NO₃ en los sitios con rendimiento menor a 8 toneladas y 26 ppm N-NO₃ para los sitios con rendimientos mayores a 8 toneladas. Es de esperar que en situaciones con mayor rendimiento el nivel crítico sea mayor por una mayor demanda del cultivo (Perdomo y Cardellino, 2007).

2.4.3. Pos-emergencia tardía

Cuando otros factores no limitan el crecimiento del cultivo, la carencia de N durante el período crítico de determinación del rendimiento (período comprendido entre los 15 días antes hasta los 15 días después de la floración), reduce la tasa de crecimiento, afectando el número de granos por unidad de superficie (Uhart y Andrade, 1995).

En este estadio el suelo deja de ser un buen indicador del status nutricional de la planta, ya que el cultivo está en su etapa de máxima absorción en donde es probable que el N en suelo sea bajo y poco variable y pasan a ser los indicadores en planta los más precisos, tanto indicadores de suficiencia directos como indirectos (Ceriani e Innella, 2012).

Un indicador directo del status nitrogenado sería la medición del N total mediante el análisis químico de Kjeldahl. Correndo y García (2013), señalan que el rango de suficiencia para los estadios vegetativos (V3-4) y floración (medido en la hoja

opuesta a la espiga) sería de 3-5 y 2,7-4% respectivamente. Daigger y Fox (1971), señalan un nivel crítico de 2,9% y una relación lineal positiva ($r=0,9$) entre el concentración de N en la hoja de la espiga y el rendimiento para maíz dulce.

Tyner (1946) propuso una concentración crítica de 2,90% para N, valor muy similar al encontrado por Viets et al. (1954) de 2,88%. Por otra parte, Ellis et al. (1956) indican que posiblemente el maíz necesita entre 2,50 y 2,70% de N para evitar deficiencias. Todos estos valores se refieren al momento de la floración y se miden en la hoja opuesta a la espiga.

Bennet et al. (1953), encontraron que para producir 95% del máximo rendimiento es necesario una concentración foliar entre 2,6 y 3.1% de N. Jones (1967) establece valores mínimos de suficiencia de 2,76% para N. El rango normal para Jones y Eck (1973), en la hoja de la mazorca al momento de la floración, es de 2,70% a 3,50% para N. Ceriani e Innella (2012) encontraron un nivel crítico de 2.56 % N en hoja en riego mientras que en secano el mismo fue de 2.07 %. Por su parte Cazabán y Rubio (2014) encontraron un nivel de 2.21% de N en hoja que produce 90% del máximo rendimiento.

Sin embargo, este método podría tener desventajas, si existe un método indirecto efectivo. Por este motivo surgen varios métodos indirectos que buscan medir la concentración de N en planta de manera más fácil y económica.

En Estados Unidos varios autores han propuesto el uso del medidor portátil de clorofila (SPAD minolta 502) como un instrumento capaz de entregar medidas rápidas, precisas, no destructivas y altamente correlacionadas con el contenido de N de las hojas (Wood et al., Peterson et al., Blackmer et al., Piekelek et al., citados por Novoa y Villagrán, 2000). También en argentina se la considera una alternativa promisoría para estimar el contenido de N en planta (Argenta et al., 2001a) dada su capacidad de entrega de mediciones instantáneas del tenor de clorofila en hoja en forma no destructiva a través de una rápida lectura in situ en la última hoja completamente desarrollada (Echeverría y Sainz Rozas, 2006). Bullock y Anderson, citados por Varinderpal et al. (2011), encontraron correlaciones significativas entre las lecturas de SPAD y el contenido de N en planta entera. Los autores señalan que la correlación aumenta conforme avanza el estado del cultivo siendo de 0,33, 0,35 y 0,78 para V7, R1 y R4 respectivamente.

Varios trabajos muestran la relación entre la lectura (SPAD 502) y el tenor de clorofila (Yadava et al., Dwyer et al., Argenta et al., citados por Argenta et al., 2003). Y entre el tenor de clorofila en hoja y el N en planta (Smeal y Zhang, Argenta et al., citados por Argenta et al., 2003), siendo el tenor de clorofila un buen indicador de N en planta (Argenta et al., 2001a). Argenta et al. (2001b), determinaron que niveles de clorofila por encima de 55,3 y 58,0 son suficientes para los estadios de V10- V11 y espigazón respectivamente.

Ceriani e Innella (2012), obtuvieron una correlación alta entre la concentración de N en planta en V10 y la lectura de clorofila (SPAD 502) bajo riego ($r=0,84$). Sin embargo, en secano los valores fueron muy bajos ($r=0,39$). Esto lo atribuyeron a las condiciones de déficit hídrico previo al momento de la determinación a V10. Los autores encontraron un nivel crítico, bajo riego en V10 de 50 a partir del cual se logró un 90% de rendimiento relativo. Los mismos autores señalan que ese resultado es similar al encontrado por Perdomo y Hoffman (2011) y superior a las 40 unidades encontradas por Cazabán y Rubio (2014) para riego.

Otro indicador indirecto podría ser la cartilla de colores Leaf Color Chart (LCC) desarrollada en la universidad de California, que permite reproducir en forma precisa el color de hojas con distintos grados de deficiencia de N. El mismo autor señala que este indicador se relaciona tanto con la concentración de N como con el índice de clorofila de las hojas. Perdomo y Hoffman (2011), mencionan como probable un nivel crítico de 4 para V 10. Ceriani e Innella (2012), encontraron que la relación entre LCC y concentración de N en planta fue menor que para SPAD 502, con un R^2 de 0,5 y 0,03 para riego y secano respectivamente. Estos autores encontraron un nivel crítico en V10 de 3,75, cercano al mencionado por Perdomo y Hoffman (2011) y levemente menor al valor de 4 encontrado por Cazabán y Rubio (2014).

Varinderpal et al. (2011), en el noroeste de India, obtuvieron una estrecha relación entre la variación de las lecturas de LCC y SPAD ($R^2=0,81$). Los autores señalan que con el uso de niveles críticos en base LCC y aplicación cuando los niveles se encontraban por debajo de 5 (escala de 1 a 6), se logró una mayor eficiencia agronómica del N, que en aplicaciones de dosis fija fraccionada en tres momentos (siembra, V6 y prefloración). La eficiencia de recuperación aumentó entre un 20-22% y 34-38 % para los años 2008 y 2009 respectivamente y la eficiencia agronómica aumentó entre 7-8,5 y 12-17 kg de grano kg de N^{-1} aplicado, para los años 2008 y 2009, respectivamente. Estos autores señalan la necesidad de establecer diferentes niveles críticos para la etapa vegetativa y reproductiva y proponen un umbral de 5 (escala de 1 a 6) para el período entre V6 y R1 y un umbral de 5,5 de R1 en adelante.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO Y MANEJO DEL CULTIVO

El experimento se instaló en el establecimiento “Santa Margarita”, ubicado en la ruta nacional 3 km 325, Departamento de Río Negro. El suelo es un brunosol éutrico háplico perteneciente a la Unidad Young (11.4 según carta 1:1.000.000 MAP. DSF, 1976).

El híbrido sembrado fue NK900 y la población al momento de instalar el experimento fue de 7.5 pl.m⁻². El manejo durante el barbecho se realizó en base a dos aplicaciones de herbicida (2.4 D-amina + Tordon; Panzer + 2.4 D-amina) y dos más en post-emergencia (Ultramax + Acetoclor; Ultramax). La fertilización a la siembra fue de 77 Kg por ha⁻¹ de 18- 46, respondiendo a los análisis de suelo a la siembra de 9 y 10 ppm de N-NO₃ y P Bray 1, respectivamente, ajustando la disponibilidad de nutrientes al nivel crítico de 14 ppm de P (Quincke et al., 2008). Sobre el cultivo se realizó una sola aplicación de insecticida (Ectan + Escolta).

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se instaló en una chacra comercial de maíz bajo riego. Este constó de dos sitios, uno dentro del área con riego (riego) y el otro fuera del alcance del pivot, dejando un área sin riego (secano). Hasta el estado de V6 (27/11/2012), se mantuvo en las mismas condiciones que el cultivo comercial, luego se instalaron los experimentos con los distintos tratamientos. Por accidente cuando el cultivo estaba ingresando al estadio de V6, se agregó urea al área experimental, quedando establecido un nivel basal de 80 kg N ha⁻¹ de urea para todos los tratamientos.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados para el experimento de riego y secano

Tratamiento	N V6	N V10	N V12
1	80	0	0
2	130	0	0
3	180	0	0
4	230	0	0
5	280	0	0
6	80	100	0
7	130	50	0
8	80	0	100
9	130	0	50

Nota: la fuente fue UREA y se incluyen los 80 kg N ha⁻¹ agregados por el productor en V6.

El modelo utilizado fue un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Las parcelas fueron de siete metros de largo por seis surcos de ancho (3.12 m), siendo el total del área de cada ensayo de 851.76 m².

3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS

3.3.1. A campo

Al momento de instalación del experimento en el estadio V6 (27/11/2012), se extrajeron muestras de suelo, planta y se estimó la población en 10 metros lineales en cada experimento. También se realizaron mediciones de LCCh y Minolta SPAD 502 por sitio. Luego de extraídas las muestras se realizaron las fertilizaciones correspondientes por parcela.

En el estadio V10 (11/12/2012) se realizaron las fertilizaciones correspondientes. A su vez se extrajeron muestras de la décima hoja, realizándose también mediciones indirectas de status nitrogenado LCCh y SPAD.

En V12 (28/12/2012) se hizo un muestreo y lecturas de LCCh y SPAD, al igual que en V10. Por último, se hicieron las fertilizaciones correspondientes.

A la cosecha se tomaron los tres surcos centrales de cada parcela, dejando un metro lineal de cada cabecera sin cosechar, arrojando un total cosechado por parcela de 7,8 m². Se midió la población a cosecha y la prolificidad (espigas planta⁻¹). Se recolectaron todas las espigas para calcular el rendimiento y sus componentes.

3.3.2. En laboratorio

Las muestras de suelo, planta y hoja de campo se secaron y molieron en estufa y molinillo. Luego se determinó para las muestras de suelo la concentración de N-NO₃ y NH₄ por espectrofotometría, MOS y pH. Para las muestras de planta y hoja se determinó N total por el método Kjeldahl.

Las espigas cosechadas se trillaron mecánicamente, determinándose en el mismo momento la humedad del grano cosechado. Se determinó el rendimiento corrigiendo la humedad a 14%, rendimiento.espiga⁻¹, espigas.m⁻² y espigas.planta⁻¹. También se les realizó %N por método Kjeldahl.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.4.1. Modelo estadístico

Como modelo estadístico se utiliza el Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres repeticiones:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

i: 1,2... 9.

j: 1,2,3.

Donde:

Y_{ij} : rendimiento de la unidad experimental ij

μ : media general

τ_i : efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ijk} : error experimental de la unidad experimental ij

Supuestos:

- es aditivo
- ε_{ij} son variables aleatorias independientes
- ε_{ij} tiene distribución $N(0, \sigma^2)$

Se utilizaron contrastes ortogonales como herramienta para hacer las comparaciones abajo detalladas.

Cuadro 3. Contraste ortogonales

CONTRASTE	DETERMINACIÓN
C1	Sin N vs. N en V6
C2	100 kg de N a V6 vs. 100 kg de N a V10
C3	100 kg de N a V6 vs. 100 kg de N a V12
CL	Lectura de N 0 vs. lectura N 50,100, 150 y 200

Además, se realizó un análisis de la regresión para decidir si se ajustaba un modelo lineal o uno cuadrático en la respuesta en rendimiento y valor de los indicadores directos e indirectos, al N en V6.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La zafra 2012-13 se caracterizó por un régimen de precipitaciones mayor al promedio histórico de 1980-2009, ubicándose 431 mm por encima de dicho promedio (1254 vs. 762 mm, figura 1).

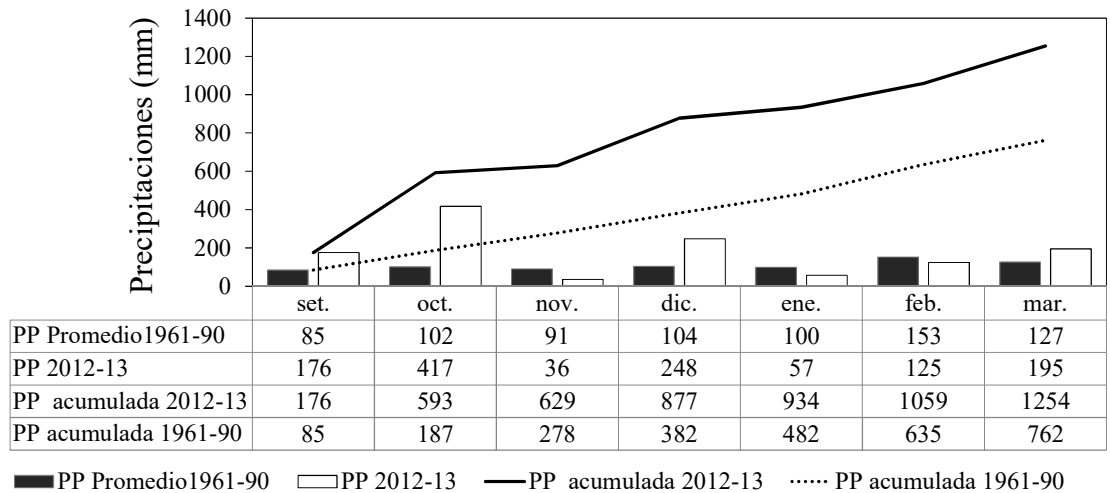


Figura 1. Precipitaciones mensuales del período Experimental en relación al promedio histórico 1980-2009 para la zona de Young (Fuente: INIA. GRAS, 2011).

Las precipitaciones en los meses de setiembre, octubre y diciembre fueron superiores a la media y determinaron que el agua no fuera una limitante para la implantación. Es importante destacar que las características del suelo y topografía con buen drenaje y pendiente, permitirían descartar problemas de anegamiento que perjudicaran la implantación del cultivo.

A pesar que las precipitaciones del mes de noviembre estuvieron 55 mm por debajo del promedio, es dable esperar escasos efectos negativos sobre el potencial del cultivo. Esto se explica por las abundantes precipitaciones del mes anterior que posiblemente permitieran que el suelo estuviera a capacidad de campo al inicio de noviembre.

Para analizar detalladamente el régimen de precipitaciones en relación a la definición y concreción del potencial del cultivo, se muestra en la figura 2 la distribución de las mismas por década, en referencia a los estadios claves del cultivo.

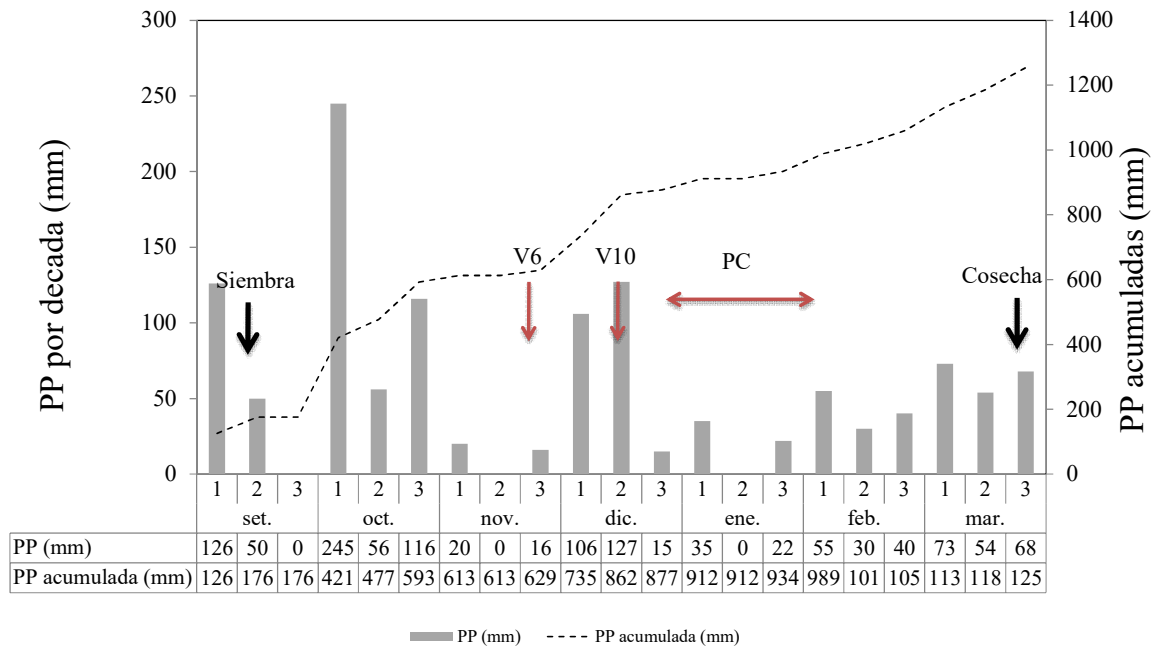


Figura 2. Precipitaciones (PP) por década mensual posterior al 1 de setiembre de 2012 (barras), precipitaciones acumuladas en el período (línea punteada) y ubicación de los momentos más relevantes del ciclo del cultivo: siembra, V6, V10, cosecha y el período crítico (PC).

Si bien no se cuenta con la información para construir el balance hídrico del cultivo, en base a la figura 2, se podría inferir que no hubo períodos prolongados de déficit hídrico, que hubiesen podido afectar severamente la generación y concreción del potencial. En la segunda década de enero algún probable déficit hídrico podría haber sido resuelto por el riego, concentrado sobre fines de diciembre y mediados de enero.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL RIEGO

Durante el ciclo del cultivo se realizaron cuatro intervenciones de riego que coinciden con el inicio del período crítico, el momento de mayor escasez de lluvia y mayor demanda atmosférica, con un total de 51,4 mm aplicados. El riego se suspendió a los 121 días pos siembra en el estadio R4-5, aproximadamente.

En la figura 3 se presenta la evolución de la Evapotranspiración del cultivo (ETc), las precipitaciones (PP) y el agua acumulada (PP +Riego), así como los eventos de precipitación y riego durante el ciclo del cultivo. Como se puede observar el agua acumulada estuvo por encima de la demanda del cultivo apoyando los comentarios realizados anteriormente.

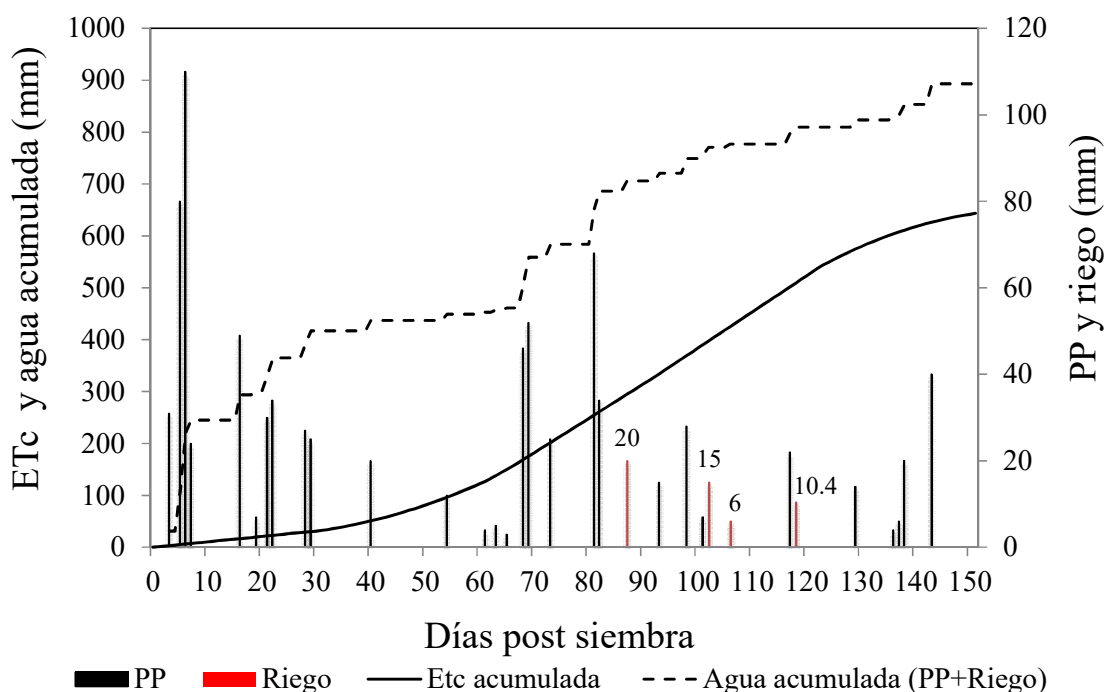


Figura 3. Precipitaciones, riego y evolución de la ETC y el agua acumulada en el ciclo del cultivo.

Cuadro 4. Rendimiento de grano promedio y máximo del cultivo de maíz y agua acumulada (precipitaciones + riego) en ambos experimentos.

	SECANO	RIEGO
	----- Agua acumulada (mm) -----	
Precipitaciones	893	893
Riego	0	51
Total	893	944
Rend. promedio (kg.ha ⁻¹)	13233	14158
Rend. máx. (kg.ha ⁻¹)	15353	17038

En el cuadro 4 se observa que tanto en riego como en secano la condición hídrica fue muy buena, consecuencia de que las precipitaciones se ubicaron por encima de los requerimientos del cultivo (Andrade et al., Echeverría y Sainz Rozas, Otegui y Totis de Zeljkovich, citados por Giménez, 2009). Si bien el total de agua recibida por el cultivo por precipitaciones no implica agua disponible (la que solo podría ser analizada mediante estimación de balance hídrico), en base al total de precipitaciones, la distribución de los eventos de lluvia y las escasas intervenciones de riego durante el PC, lleva a que se evalúe las condiciones hídricas, como muy favorables para la concreción de elevados potenciales de producción.

Considerando los tratamientos con y sin irrigación como experimentos separados, la respuesta promedio al riego fue de 925 kg ha^{-1} y la máxima fue de 1685 kg ha^{-1} ; por tanto se podría estimar una eficiencia en el uso del agua de riego entre 18 y 33 kg de grano por mm agregado. Similar respuesta encontró Otegui (1992) en el sudeste bonaerense, mientras que Ceriani e Innella (2012) en el litoral oeste uruguayo, reportan una eficiencia de $14,5 \text{ kg mm}^{-1}$ para el agregado de 192 mm de agua de riego.

4.3. RENDIMIENTO Y COMPONENTES SEGÚN CONDICIÓN HÍDRICA

El maíz es un cultivo muy sensible al déficit hídrico durante todo el ciclo, especialmente durante el período crítico. Durante la etapa temprana del desarrollo reproductivo el déficit hídrico reduce el número de granos, debido a la absorción de ovarios y/o esterilidad del polen que se da por la disminución de la tasa fotosintética y conecuentemente del flujo de foto asimilados a los órganos en desarrollo (Boyer y Westgate, citados por Avendaño-Arrazáte et al. 2008, Schussler y Westgate, citados por Giménez 2012). Cuando el estrés se produce durante el desarrollo de los cigotos, se induce aborto o el desarrollo del saco embrionario se ve afectado, por lo que se induce asincronía entre la antesis y floración femenina (Ouarar et al., Ober et al., Desai y Singh, citados por Avendaño-Arrazáte et al., 2008). Cuando se produce un déficit hídrico en la floración se genera asincronía entre la liberación del polen y la emergencia de los estigmas provocando fallas en la polinización (Hall et al., citados por Giménez, 2012). Para lograr un elevado número de granos por superficie se requieren altas tasas de crecimiento del cultivo durante el período crítico (Andrade et al., citados por Giménez, 2012). En la etapa de llenado de grano el déficit hídrico tiene menor repercusión sobre el rendimiento, debido a que se espera fundamentalmente influencia sobre el peso de los granos (PG). NeSmith y Ritchie, citados por Giménez (2012), estudiando deficiencias hídricas en llenado de grano, concluyen que el efecto del déficit en este período depende de cuan temprano ocurra. Si se produce en la fase lag del llenado es donde se van a producir las mayores pérdidas debido a que se afecta no solo el PG, sino también al número de granos fijados.

Si bien en los objetivos del trabajo no figuraba estudiar la respuesta al riego, igualmente el riego generó en promedio un aumento del 7% del rendimiento. Para el rendimiento máximo el aumento fue de 11% con respecto a los máximos obtenidos en secano. En los mínimos el aumento fue aún mayor (20%). Este aumento promedio del 7% es inferior al 28,5% encontrado por Pedrol et al. (2008) en Santa Fe, Argentina y al 23% obtenido por O'neill et al. (2004) en Nebraska y muy inferior al 51% observado por Ceriani e Innella (2012) en Uruguay. Estas menores diferencias probablemente estén asociadas al régimen de precipitaciones del año analizado previamente y que llevó a un muy elevado rendimiento medio para el sitio en secano (13233 kg ha^{-1}).

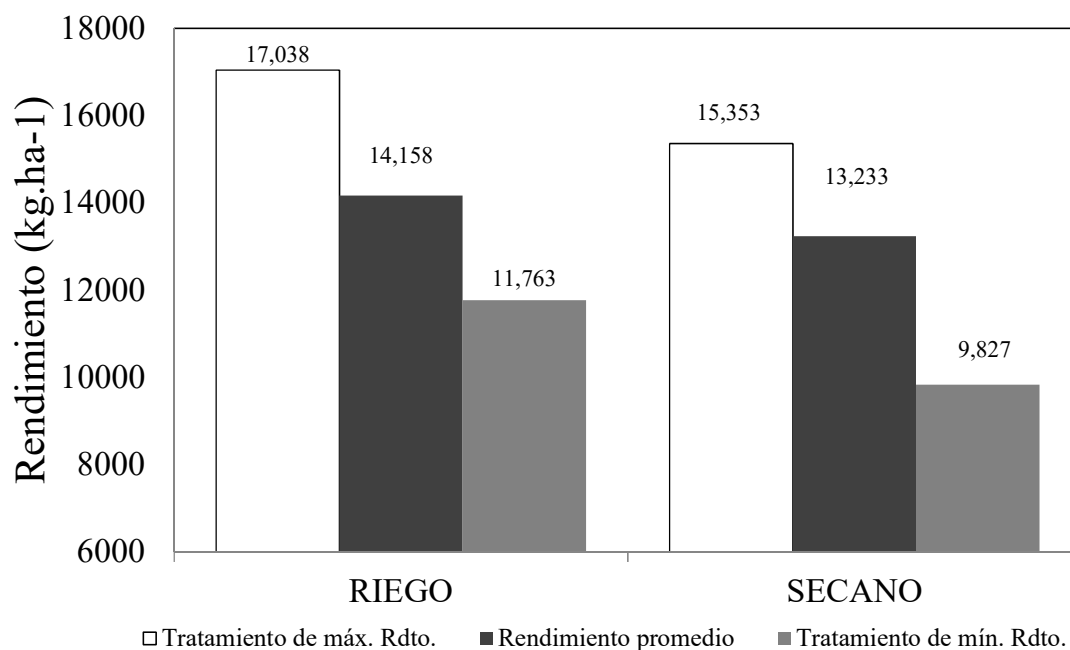


Figura 4. Rendimiento promedio, tratamiento de rendimiento mínimo y máximo, para el sitio con riego y secano.

El rendimiento máximo se ubicó en 15353 y 17038 kg ha⁻¹ para secano y riego respectivamente. En el caso de riego este máximo se encuentra por encima de los 15000 kg ha⁻¹ potenciales propuestos por Giménez (2010), para condiciones experimentales bajo riego y manejo de suelo bajo laboreo.

Cuadro 5. Componentes del rendimiento según tratamiento de rendimiento mínimo, promedio y máximo, para las condiciones de riego y secano.

	SECANO			RIEGO		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	9827	13233	15353	11763	14158	17038
PG (mg)	324	364	352	328	348	345
Granos.m ⁻²	3040	3673	4358	3587	4074	4946
Pl.m ⁻²	7.7	6.8	7.3	5.8	6.8	7.6
No. granos. Pl ⁻¹	395	541	596	622	597	654
Espigas.Pl ⁻¹	1.1	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6
No. granos. espiga ⁻¹	368	381	395	430	404	398
Rend. espiga ⁻¹ kg	0.120	0.139	0.139	0.141	0.141	0.137

Si bien el centro del trabajo es analizar la respuesta al N para condiciones hídricas contrastantes y considerando que no se comparan los sitios, igualmente en el

cuadro 5, las escasas diferencias entre sitios, aparentemente obedecería al número de granos por metro cuadrado. El menor número de granos en secano (-10 %) estaría compensado por un 5% más de PG y por tanto las diferencias en rendimiento final son menores a las diferencias observadas en el número de granos. El mayor número de granos por unidad de superficie bajo riego sería consecuencia de un mayor número de granos por espiga y espigas por m^{-2} .

4.3.1. Relación entre el rendimiento y sus componentes

Con el fin de entender cómo se construyó el potencial, a continuación se analiza la relación entre el rendimiento en grano y sus principales componentes (NG y PG, figura 5) según la condición hídrica.

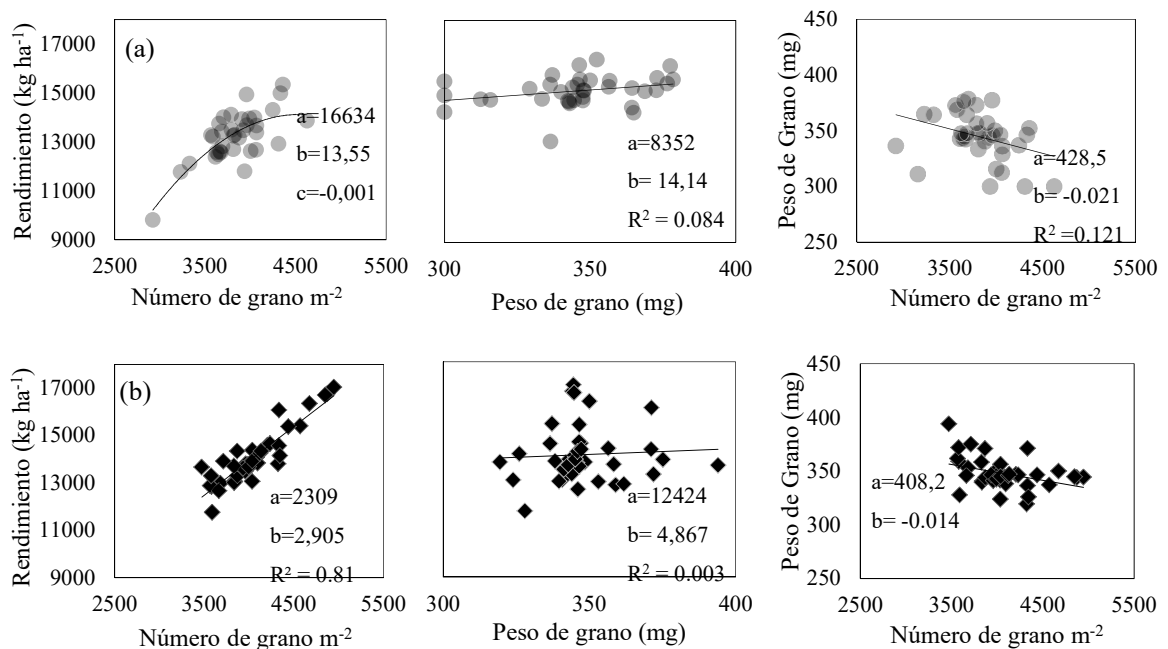


Figura 5. Relación entre rendimiento y número de grano, entre rendimiento y peso de grano, entre número de grano y peso de grano, para condiciones de secano (a) y riego (b).

Como muestra la gráfica 5 a y b, tanto en secano como en riego se encontró una relación consistente entre el rendimiento y el número de granos por unidad de superficie, que coincide con lo encontrado por Ceriani e Innella (2012), donde señalan que el número de grano es el componente que mejor explica el rendimiento. La relación fue lineal en riego con un R² de 0,81 mientras que en secano fue cuadrática con un R² de 0,56, lo que podría indicar que en secano el peso de grano se vio limitado cuando el número de granos fue muy alto.

El peso de granos mostró no ser un factor determinante del rendimiento, obteniendo similares rendimientos con pesos de mil granos que fueron desde 300 hasta 400 mg, siendo superiores a los 200 a 300 mg obtenidos por Ceriani e Innella (2012). Tanto en secano como en riego los mayores rendimientos se observaron con pesos intermedios de 350 mg. Por último, entre los dos componentes no hubo una relación clara, aunque existió una tendencia a que al aumentar el número de granos, disminuyó el peso de los mismos. Esta tendencia es más fuerte en secano. Como mencionan Borrás et al. (2004) al aumentar el número de granos por metro disminuye la disponibilidad de asimilados por grano y por ende disminuye el peso de los mismos, dado que la fuente se ve limitada. El mismo autor señala que en caso de aumentar la disponibilidad de asimilados por grano la respuesta en aumento del peso de los mismos no compensa la pérdida de número de granos. El mismo autor señala que allí radica la importancia de establecer un alto número de granos por superficie durante el período de floración para no ver limitado el rendimiento.

4.4. RESPUESTA AL AGREGADO DE N

Debido al agregado accidental de 80 kg N ha⁻¹ por parte del productor a ambos sitios (riego y secano), la respuesta al N se analizará como respuesta al agregado total de N ha⁻¹ en V6, considerando en parte del análisis la respuesta probable al N en base al nivel de N en suelo a V6, y equivalente fertilizante en base a resultados contemporáneos del cultivo en Uruguay.

Los niveles de N-NO₃ en V6 fueron de 9 y 12 ppm para riego y secano, respectivamente. Como se mencionó previamente (cuadro 1), varios autores coinciden en que el nivel crítico de N-NO₃ se ubica cerca de 20 ppm en secano y 25 ppm bajo riego. Los resultados nacionales muestran valores de equivalente fertilizante de 6,7 y 7,1 kg de N para secano y riego, respectivamente en el caso de Ceriani e Innella (2012) y valores de 5,6, 8,2 y 9,5 para situaciones de secano y bajos niveles de nitrato en V6 (3-4 ppm N-NO₃) en el caso de Cazabán y Rubio (2014). Tomando en cuenta un equivalente fertilizante de 7 kg N ha⁻¹ la dosis de N a agregar sería de 56 y 112 kg N ha⁻¹ en secano y riego, respectivamente. Dado que se agregaron 80 kg N ha⁻¹ en V6, deberíamos esperar baja respuesta en secano mientras que en riego podría esperarse mayor respuesta al N. En el cuadro 6 se muestran los resultados del contraste 1 (80 kg N ha⁻¹ en V6 vs. el promedio de los tratamientos que recibieron 130, 180, 230 y 280 kg N ha⁻¹).

Cuadro 6. Efecto del agregado incremental de N en V6 sobre el rendimiento y sus componentes.

	Tratamiento	80	130	180	230	280	CV	C1*(P)
	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	12177	13128	12566	13908	12151	6.7	0,089
S	PG (mg)	348	314	333	353	321	7.5	0,253
E	Granos.m ⁻²	3518	4203	3779	3947	3790	10.1	0,121
C	Plantas. m ⁻²	7.5	7.0	6.2	6.8	6.5	11.0	0,080

A	NG.pl ⁻¹	468	603	610	581	585	14.1	
N	Espigas.pl ⁻¹	1.31	1.4	1.53	1.45	1.36	9.0	0,075
O	No. granos. espiga ⁻¹	358	430	398	400	431	10.1	0.036
	Rend. espiga ⁻¹ (g)	125	135	133	141	138	6.5	
Rendimiento (kg ha ⁻¹)		13562	13312	14857	14015	12951	6.8	0,660
R	PG (mg)	336	348	342	343	339	6.8	0,284
I	Granos.m ⁻²	4040	3831	4346	4086	3814	6.9	0.891
E	Plantas. m ⁻²	7.3	6.7	7.4	6.9	5.9	12.1	0,211
G	NG.pl ⁻¹	556	571	584	594	642	9.3	
O	Espigas.pl ⁻¹	1.44	1.46	1.37	1.46	1.55	7.7	0,805
	No. granos. espiga ⁻¹	386	391	427	407	415	6.1	0,110
	Rend. espiga ⁻¹ (g)	130	136	146	140	141	5.5	

*C1 es el contraste ortogonal que compara 80 N vs. 130, 180, 230 y 280 kg N ha⁻¹ en V6. Valores de *P* por debajo de 0.05 indican diferencias significativas.

El C1 no fue significativo al 5% para rendimiento en ninguno de los dos sitios. Esto era esperable para secano dado que con el valor de N-NO₃ en V6 y los equivalentes fertilizantes manejados en la bibliografía nacional se estaría alcanzando el umbral crítico de no respuesta con los 80 kg N ha⁻¹ basales. Sin embargo, en una condición de secano muy benigna como la de la zafra 2012-13 los niveles críticos podrían acercarse a los considerados para riego y en ese caso esperar respuesta al agregado de N. En secano el C1 fue significativo con una probabilidad de 10%. El aumento del rendimiento fue explicado por un mayor número de espigas por planta y más granos por espiga (C1 significativo al 10% para ambas variables). Para riego la falta de respuesta podría estar explicada por una mayor tasa de mineralización del N del suelo.

Para relacionar cuantitativamente la respuesta al agregado de N en secano y riego, se ajustó un modelo cuadrático, ya que al evaluar los distintos modelos este fue el que mayor R² arrojó: 0,31-0,29 para secano y riego, respectivamente.

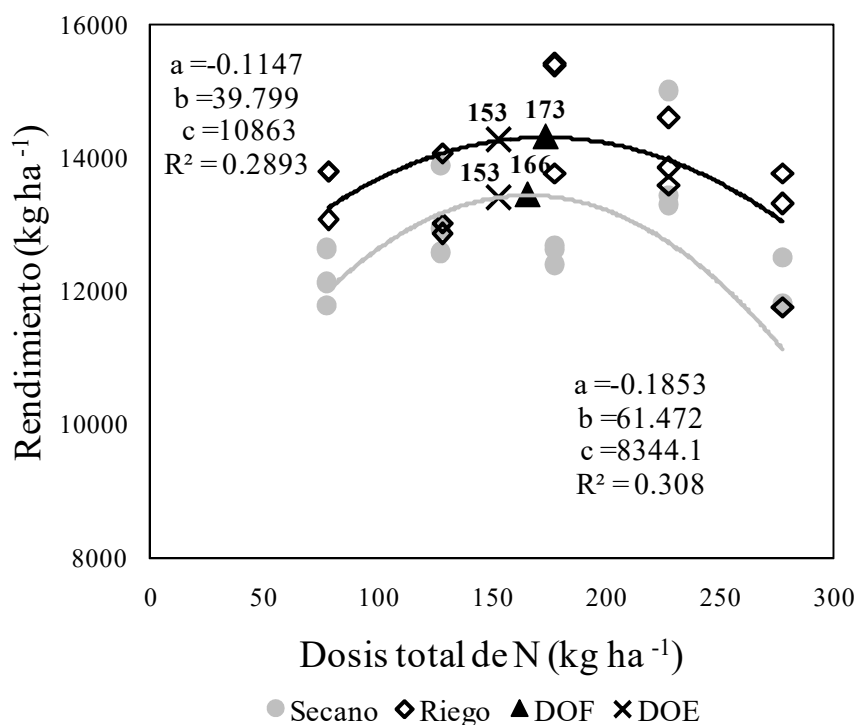


Figura 6. Ajuste de un modelo cuadrático a la dosis total de N a V6 en condiciones de secano (gris) y riego (negro), con su correspondientes Dosis Óptima Física (DOF) y Dosis Óptima Económica (DOE).

Cuadro 7. Porcentaje de eficiencia según condición hídrica.

	SECANO	RIEGO
DOF (kg N/ha)	166	173
DOE (kg N/ha)	153	153
N-NO ₃ V6 (ppm)	12	9
NC de referencia N-NO ₃ suelo a V6 (ppm)*	28	28
Porcentaje de eficiencia	0.24	0.27

* Cuadro 1, ** % eficiencia = $(NC \text{ ref} - N \text{ NO}_3 \text{ V6}) * EF / DOE$

En condiciones de buena disponibilidad hídrica como las de la zafra 2012-13, el nivel crítico para secano probablemente sea cercano al considerado para riego (28 ppm N-NO₃). Achaval y Ducamp (1998) encontraron respuesta al N en chacras con niveles

mayores a 20 ppm N-NO₃ en V6 en condiciones de secano y buena disponibilidad hídrica.

Asumiendo que el NC es 28 ppm en ambas condiciones hídricas, y en base a los valores medidos de N-NO₃ a V6 y a las DOF derivadas del ajuste de los datos de este experimento, se estimó cantidad de N necesaria para llegar a dicho NC. Esta cantidad incluye el equivalente fertilizante (EF) para N y un porcentaje de eficiencia de utilización de ese N. El EF surge de asumir que 1 ppm de N (o sea, 1 mg de N en 1 kg) llevado a 2,5 millones de kg (que es lo que pesa 1 ha de suelo a los 20 cm de profundidad, con una densidad aparente de 1,25 g cm³) son 2,5 kg N ha⁻¹. Este valor de 2,5 (el EF), dividido por el porcentaje de eficiencia de 0,24 y 0,27, que surge de la fórmula:

$$\text{DOF} = [(\text{NC} - \text{NO}_3 \text{ en la muestra}) \times 2,5] / \% \text{ de Eficiencia}$$

resulta en 10,4 y 9,1 kg N ha⁻¹ para secano y riego respectivamente (Cuadro 7). Por lo tanto, para las condiciones de este experimento, este valor resultante es superior al obtenido por Ceriani e Innella (2012) y similar al valor de 8 obtenido por Cazabán y Rubio (2014). El valor de eficiencia de Cazabán y Rubio fue más alto que el obtenido en las condiciones de nuestro experimento (2,5/8= 0,31), en cambio Ceriani e Innella (2012), para los valores de 6,7 (secano) y 7,1 (riego), la eficiencia fue de 0,37 y 0,35, respectivamente.

4.5. RESPUESTA DE MAÍZ AL MOMENTO DE APLICACIÓN DEL N

Como se observó previamente existió respuesta al agregado de N a partir de los 80 kg aplicados en V6 para la condición de secano. En esta sección se planteó determinar si hay diferencia entre el momento de agregado de 100 kg más de N aplicado en distintos momentos: V6, V10, V10 y 50-50 en V6-V10 o V6-V12, una dosis total de 180 kg aplicados en distintos momentos.

Dadas las precipitaciones cercanas a 100 mm que se dieron luego de V6 (figura 3), podemos pensar que hayan ocurrido pérdidas por lixiviación del N agregado a V6 y entonces encontremos respuesta al agregado de N en V10 o V12 ya que la bibliografía indica que puede existir respuesta al N hasta el estadio V14 (Scharf et al., Randall et al., Melchiori et al., citados por Albarenque et al., 2010).

Cuadro 8. Efecto del momento de aplicación de 180 kg N ha⁻¹ (V6-V10-V12) sobre los componentes de rendimiento.

Tratamiento	180-0-0	80-100-0	80-0-100	CV	C2*(P)	C3**(P)
Rendimiento (kg)	12566	13286	13806	5.9	0.073	0.010
S PG (mg)	333	338	375	6.4	0.629	0.040
E Granos.m ⁻²	3779	3972	3684	7.6	0.320	0.735
C Plantas. m ⁻²	6.2	6.5	6.8	9.5	0.331	0.204

A	NG.pl ⁻¹	610	605	546			
N	Espigas.pl ⁻¹	1.50	1.48	1.48	8.2	0.207	0.590
O	No. granos.	398	412	368	7.7	0.573	0.349
	Rend. espiga ⁻¹ (g)	133	139	138			
Rendimiento (kg)		14857	13838	14487	9.5	0.367	0.697
	PG (mg)	342	348	337	2.5	0.446	0.608
R	Granos.m ⁻²	4346	3975	4291	9.6	0.209	0.832
I	Plantas. m ⁻²	7.4	6.7	6.6	13	0.339	0.262
E	NG.pl ⁻¹	584	596	652			
G	Espigas.pl ⁻¹	1.37	1.49	1.58	10.4	0.453	0.058
O	No. granos.	427	399	412	5.7	0.248	0.244
	Rend. espiga ⁻¹ (g)	146	139	139			

*C2 es el contraste que compara 100 kg N ha⁻¹ en V6 (180-0-0) vs. 100 kg N ha⁻¹ en V10 (80-100-0).

**C3 es el contraste que compara 100 kg N ha⁻¹ en V6 (180-0-0) vs. 100 kg N ha⁻¹ en V12 (80-0-100).

El efecto de la aplicación tardía de N estuvo condicionado por el status hídrico. En riego no hubo respuesta al agregado de N posterior a V6, siendo los contrastes C2 y C3 no significativos ni para rendimiento ni para los componentes del mismo. En seco la aplicación tardía (100 kg N ha⁻¹ en V10 o V12) generó un incremento del rendimiento de 720 y 1240 Kg grano para V10 y V12 respectivamente por encima del tratamiento en que se aplican la totalidad del N en V6 (180-0-0) siendo los contrastes C2 (180-0-0 vs. 80-100-0) y C3 (180-0-0 vs. 80-0-100) significativos para rendimiento al 10 y 5% respectivamente (cuadro 8). Existe una diferencia en peso de grano a favor del tratamiento que aplica el N en V12 (C3 significativo para peso de grano) en seco y en este caso puede ser producto de la aplicación tardía de N.

En el caso del riego los contrastes 2 y 3 no son significativos. Pudiéndose explicar por un ambiente más propicio para la mineralización en condiciones de riego durante el período crítico, acentuado por la alta capacidad de aporte de N del suelo.

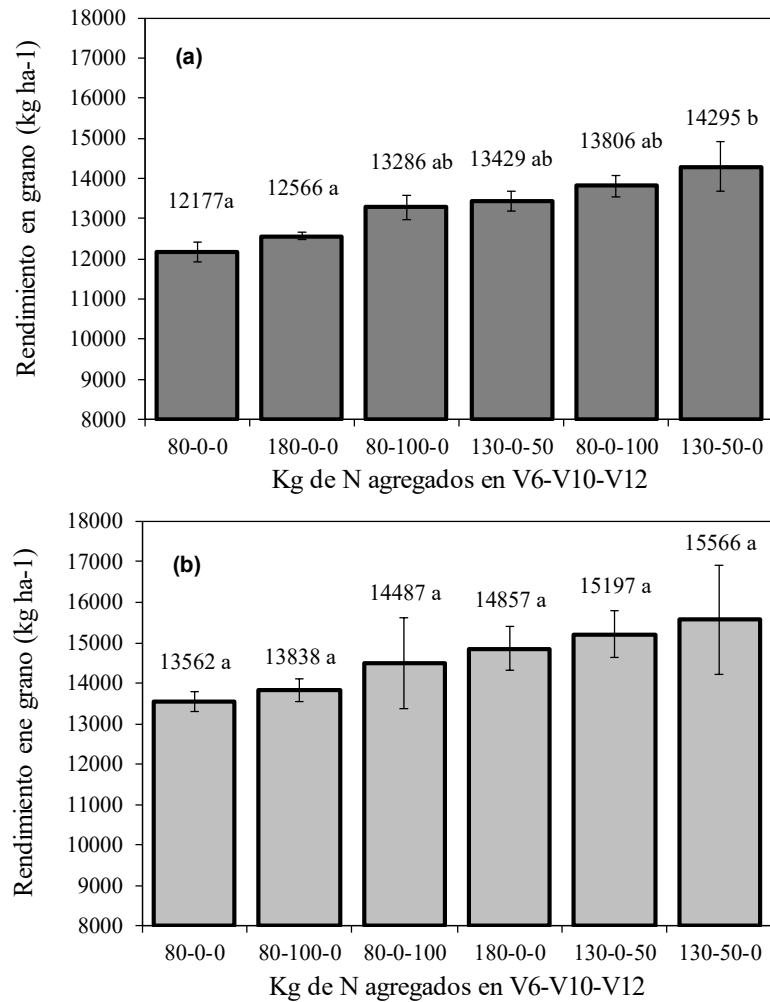


Figura 7. Efecto del momento de aplicación de 100 kg N por encima de los 80 kg N agregados en V6 sobre el rendimiento para seco (a) y riego (b). Las líneas en las barras indican desvíos estándar. Los números del eje X, indican N agregado a V6-V10-V12.

En seco el tratamiento 130-50-0, donde se agrega mayor parte en V6 y el resto en V10, mostró mayor rendimiento debido a la mayor concentración de N en el período de V6-V10 en comparación con los tratamientos de 80 Kg de N en V6 y 100 kg N más a V10 o V12. Esto se evidencia por la mayor concentración de N en planta a V10 comprobada al realizar un contraste ortogonal que compara el % N en V10 del tratamiento 130-50-0 vs. el resto de los tratamientos fraccionados. Para el experimento regado no se observaron diferencias en la concentración de N en hoja a V10 para los distintos tratamientos. Para los dos experimentos el tratamiento de mayor rendimiento

fue el de 130-50-0, mientras que el tratamiento de menor rendimiento fue el testigo (80-0-0).

4.6. POSIBILIDAD DE PREDECIR LA RESPUESTA AL NITRÓGENO EN V10-12

Existen trabajos que evidencian la capacidad de los indicadores indirectos para estimar el status nitrogenado del cultivo en torno a V10. Entre ellos, el índice de clorofila, medido a través de SPAD 502 (Yadava, Marquard, Tipton, Dwyer et al., citados por Argenta et al. 2001b, Ceriani e Innella 2012), índice de verde mediante cartilla de colores LCCh (Perdomo et al. 2008, Ceriani e Innella 2012).

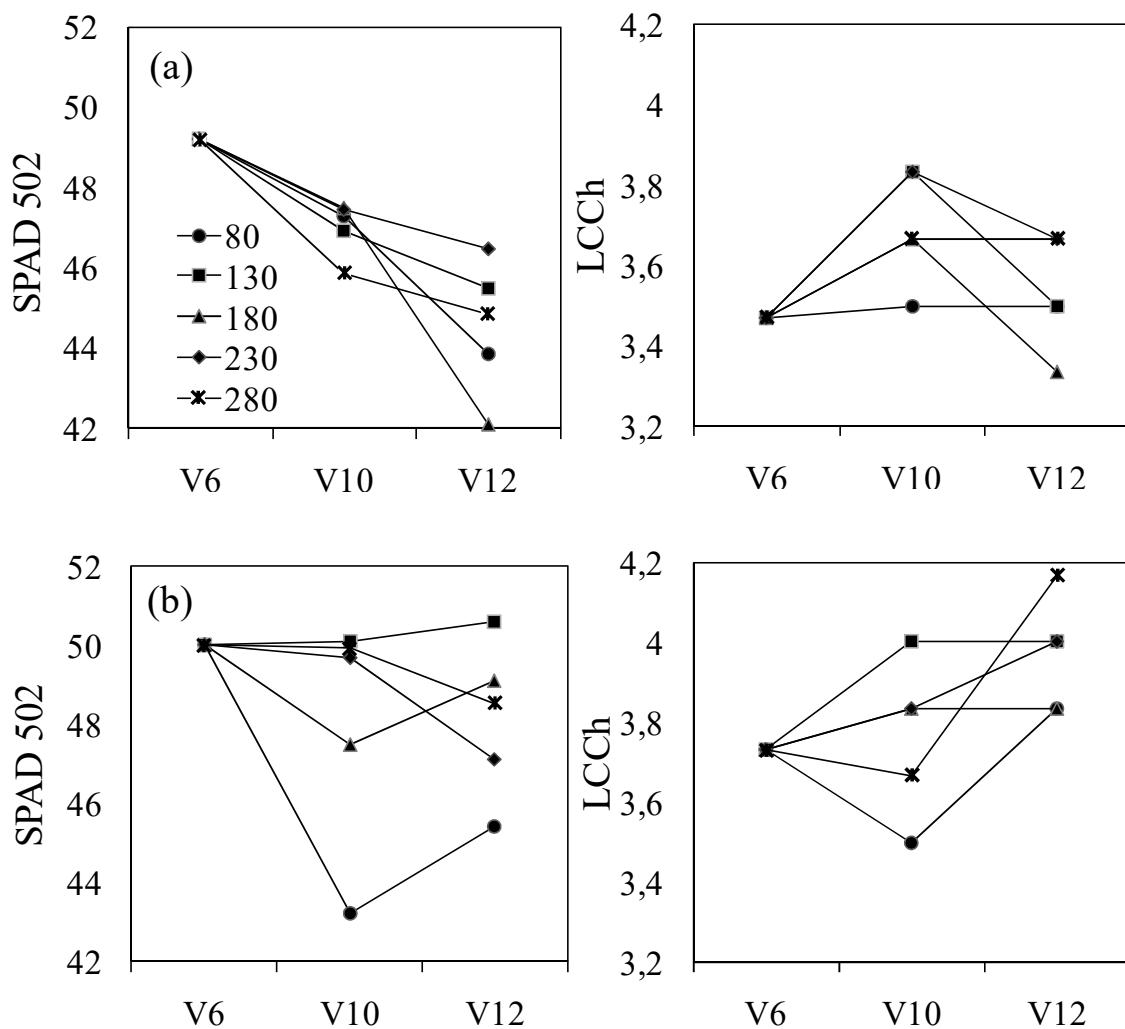


Figura 8. Evolución de las lecturas de SPAD y LCCh desde V6 a V12 para distintas dosis de N aplicado en V6, para secano (a) y riego (b).

Las figuras 8a y 8b muestran la evolución de los indicadores indirectos durante el ciclo del cultivo. En secano (figura 8a) se puede observar cómo las lecturas de SPAD disminuyen a lo largo del ciclo para todos los tratamientos. Por su parte el LCCh se mantiene relativamente constante, independientemente de la dosis. Para riego (figura 8b) las lecturas de SPAD se mantienen constantes a lo largo del ciclo, excepto la dosis menor de N, que presenta una caída. En este caso las lecturas de LCCh muestran algunas diferencias en V10, pero luego tienden a igualarse

Para la condición de riego, con el agregado de solo 80 kg N ha⁻¹ a V6, los valores de SPAD a V10 y V12 fueron significativamente menores al promedio de los otros tratamientos (130, 180, 230 y 280 kg N ha⁻¹ en V6), como se observa claramente en la figura 8b. Los valores de LCCh para las mismas condiciones (riego) fueron también menores, con diferencias cercanas al nivel de significancia del 10%.

Bajo riego no se encontraron diferencias entre los tratamientos mayores a 80 kg N ha⁻¹. Esto coincide con lo encontrado por Ceriani e Innella (2012). Estos autores encontraron que las lecturas de SPAD y LCCh aumentaban desde V6 a V10. En este caso las lecturas son menores en V10 probablemente debido a la alta disponibilidad de N en V6 que determinó valores muy altos de estos índices.

En secano los valores de SPAD fueron menores en V10 que en V6 y continuaron descendiendo hasta V12, independientemente de la dosis agregada. Esto coincide con los resultados obtenidos por Perdomo (2006) con valores iniciales similares a los de este experimento (cercano a 50). Contrariamente, tanto para Ceriani e Innella (2012) como para Cazabán y Rubio (2014), los valores de SPAD y LCCh aumentaron hacia V10 cuando se agregó 100 kg N ha⁻¹ o más. Esta diferencia puede deberse a que en ambos experimentos los valores iniciales de SPAD y LCCh son menores (lectura de SPAD cercana a 40). Es importante destacar que el ranking para los valores de los indicadores indirectos no coincide con el nivel de N agregado, lo que podría explicarse por los altos niveles de N agregado, esto probablemente este explicado por la alta disponibilidad de N de todos los tratamientos.

Cuadro 9. Coeficientes de ecuaciones lineales entre N agregado a V6 y valores de índices directos e indirectos a V10.

Coeficiente	Concentración de N (%)		SPAD 502		LCCh	
	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego
a	2.11	2.19	45.87	43.41	3.58	3.71
b	0.0013	0.0018	0.01	0.030	0.0007	0.00033
R ²	0.63	0.7	0.27	0.35	0.02	0.01
p>F	0.0004	0.0007	0.0984	0.0196	0.6379	0.7871

El agregado de N por encima de los 80 kg N ha.⁻¹ iniciales en V6 incrementó significativamente la concentración de N en V10 tanto en secano como en riego (cuadro 6). El índice de clorofila SPAD también se incrementó con el agregado de N, siendo significativo al 10 y 5 % para secano y riego, respectivamente, con un bajo ajuste (R^2 0,27 y 0,35 para secano y riego, respectivamente). No resultó significativa la respuesta en LCCh para ninguna de las condiciones hídricas. Es importante mencionar que la menor correlación entre los índices indirectos y la concentración de N puede estar dada por los altos y poco variables valores de la concentración de N en planta como de los índices indirectos en comparación con otros trabajos (Ceriani e Innella 2012, Cazabán y Rubio 2014). El mayor ajuste entre los métodos indirectos como el SPAD coincide con lo encontrado en otros trabajos (Ceriani e Innella 2012, Cazabán y Rubio 2014) y parece razonable, dado que es un método más objetivo que el LCCh, ya que este último depende de la apreciación del usuario.

Cuadro 10. Coeficientes de ecuaciones lineales entre N agregado a V6 y valores de índices directos e indirectos a V12.

Coeficiente	Concentración de N (%)		SPAD 502		LCCh	
	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego
a	1,77	2,71	39,63	44,47	3,35	3,78
b	0,0029	0,00034	0,030	0,030	0,001	0,00067
R^2	0,58	0,09	0,28	0,46	0,04	0,02
p>F	0,001	0,3075	0,0778	0,0111	0,4569	0,6078

El agregado de N en V6 no generó aumento de la concentración de N en V12 bajo riego, debido a que el valor de concentración de N en la dosis menor (80 kg N ha⁻¹) fue muy alto, como lo muestra el intercepto. En secano se encontró un aumento significativo de la concentración de N al aumentar la dosis de N a V6.

Los valores del intercepto “a” indican el valor de los índices sin efecto del N, que fueron siempre superiores para riego, a excepción del SPAD en V10. Esto estaría indicando que en condiciones de riego, ya sea por mayor mineralización o mayor absorción del N disponible, la planta tiene un mejor status nitrogenado, medido a través de estos indicadores. La pendiente “b” para concentración de N fue mayor en los tratamientos regados, lo que implicaría una mayor respuesta por unidad de N agregado para estos tratamientos, algo que también encontraron Ceriani e Innella (2012).

4.7. RELACIÓN ENTRE INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO

El concentración de N es el índice mejor relacionado con el status nitrogenado del cultivo en estadios avanzados (Ceriani e Innella 2012, Correndo y García 2013, Cazabán y Rubio 2014), por ello en esta sección se analiza la correlación entre dicha

medida directa y las lecturas indirectas que intentan predecir el status nitrogenado ya sea a partir del color de la hoja (LCCh) o del nivel de clorofila (SPAD 502).

La bibliografía indica que en el estado de V6 estos indicadores indirectos no se correlacionan con la concentración de N en planta (Ceriani e Innella, 2012), además de que el nivel de N en planta no está relacionado con la respuesta al N en estadios tempranos. Varios autores proponen el SPAD como un instrumento capaz de entregar medidas rápidas, precisas, no destructivas y altamente correlacionadas con el N de las hojas en estadios avanzados (Wood et al., Peterson et al., Blackmer et al., Piekelek et al., citados por Novoa y Villagrán et al., 2000). Perdomo¹, menciona el LCCh como un indicador capaz de detectar deficiencias 20-30 días post V6 mientras que Varinderpal et al. (2011) encontraron alta correlación entre LCCh y SPAD a partir de V10. Por su parte Ceriani e Innella (2012) concluyen que el SPAD y el LCC pueden ser utilizados como estimadores de concentración de N en condiciones hídricas favorables en el estadio V10, ya que en el experimento regado la correlación con la concentración de N es de 0,7 y 0,53 para SPAD y LCCh respectivamente. Rubio y Cazabán (2014) coinciden que estos indicadores son buenos para predecir la concentración de N en V10 bajo condiciones hídricas favorables, ya que su experimento se llevó a cabo en un año con precipitaciones por encima de lo normal. Los coeficientes de ajuste para este caso fueron 0,77 y 0,41 para SPAD y de 0,53 y 0,47 para LCCh.

Contrariamente con lo encontrado en la bibliografía en V10, en este trabajo no se encontró correlación con la concentración de N ni para SPAD ni para LCCh en ninguna de las condiciones hídricas (figura 10 a y b). Este hecho se puede atribuir a la baja variación encontrada para el N en los diferentes tratamientos. Comparando con el experimento de Ceriani e Innella (2012), donde la concentración de N varía desde 1,5 a 3% y el de Cazabán y Rubio (2014) donde varía de 1 a 3%, en este experimento varían desde 2,1 a 2,7%. Esta diferencia podría atribuirse al mayor agregado de N a V6 en este experimento y la mayor capacidad de aporte del suelo, medida a través del N-N03 en V6. Este valor fue de 9 y 12 ppm para riego y secano, respectivamente, comparado con los valores de 4 y 6 ppm de Ceriani e Innella (2012) para riego y secano y el valor de 3 ppm encontradas por Cazabán y Rubio (2014) para dos sitios en secano. Otro parámetro que podría indicar una alta capacidad de N en este experimento es la MOS y su relación con la MOS original (medida a través del muestreo en un lugar imperturbado - debajo del alambrado). El valor fue de 5,6 y 5,2% para riego y secano, respectivamente, lo que implica un 93 y 83% de la MOS original (6% MOS).

¹ Perdomo, C. H. 2009. Novedades sobre la fertilización nitrogenada en maíz. (sin publicar).

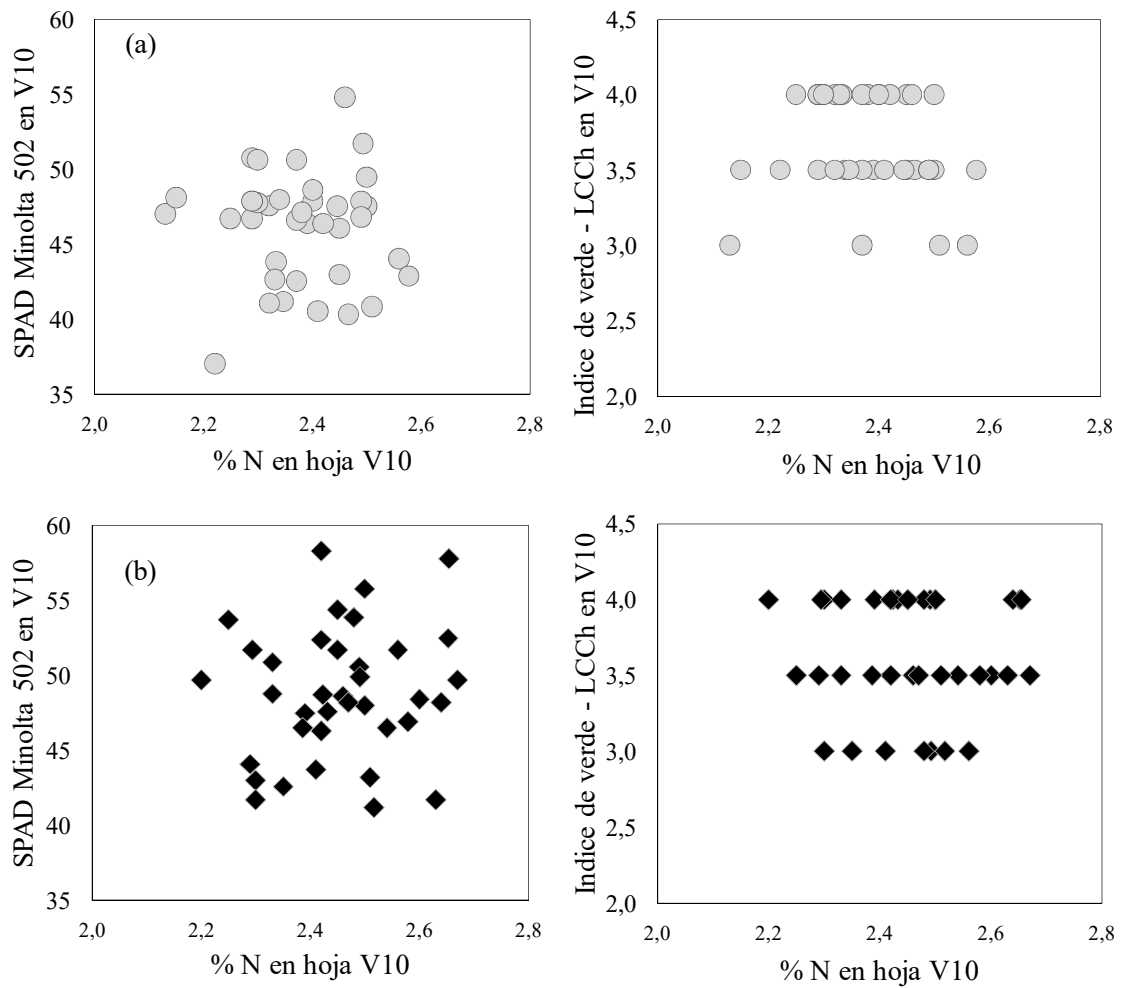


Figura 9. Relación entre el concentración de N en la última hoja totalmente desarrollada en V10 y el nivel de clorofila estimado por SPAD 502 y el índice de color LCCh bajo secano (a) y riego (b).

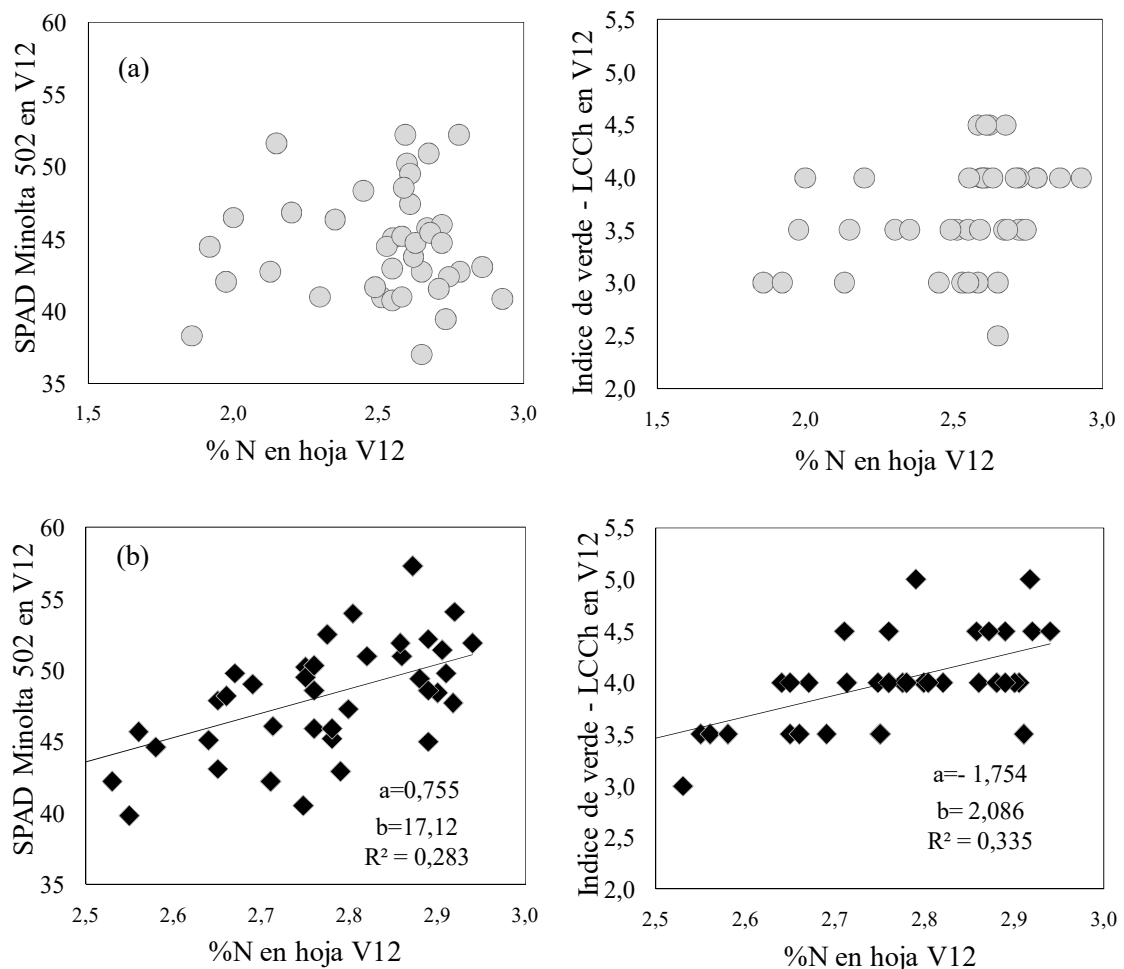


Figura 10. Relación entre el concentración de N en la última hoja totalmente desarrollada en V12 y el nivel de clorofila estimado por SPAD 502 y el índice de color LCCh bajo seco (a) y riego (b).

En V12 se encontró una correlación baja entre el N en hoja y los indicadores indirectos bajo riego (Figura 10b 0,28 y 0,33 para SPAD y LCCh respectivamente), mientras que en seco no hubo correlación o esta fue muy baja (figura 10c).

4.7.1. Estimación de niveles críticos para distintos indicadores evaluados

La estimación de niveles críticos es un paso fundamental para aumentar la eficiencia en el uso del N en el sistema, otorgando un criterio objetivo por el cual regirse a la hora de aplicar fertilizantes nitrogenados. En la realidad es muy difícil encontrar un único valor ya que este nivel puede cambiar al variar otros factores como pueden ser aquellos relacionados con el suelo, la condición hídrica y el potencial de rendimiento del

cultivo entre otros. Además, la respuesta hasta dicho nivel crítico también dependerá de la ausencia de otros factores más limitantes como pueden ser otros nutrientes.

No existió relación entre rendimiento o rendimiento relativo y los valores de los indicadores de suficiencia de N en planta (concentración de N, SPAD y LCCh). Cabe señalar que este resultado era esperable debido a que los experimentos se realizaron en un solo sitio con dos niveles de disponibilidad hídrica, por lo cual el rendimiento relativo no cumple la función de eliminar diferencias en otros factores de producción entre sitios ya que es el mismo ambiente. Sin embargo, es posible definir un nivel crítico en base a la relación entre cualquiera de las medidas de rendimiento (absoluto o relativo) y los valores de los indicadores de suficiencia de N en planta utilizando la metodología utilizada por Walworth, Letsch et al., citados por Black (1992). Esta metodología define el nivel crítico como el valor del indicador que produce el mayor rendimiento cuando se consideran solo los niveles superiores de rendimiento en esta relación. Esta franja superior de niveles de rendimiento es producto de las mejores combinaciones de todos los factores de producción excepto N, a nivel de parcela experimental. Los niveles de rendimiento que están por debajo de esta franja representan las parcelas experimentales que a pesar de tener una disponibilidad similar de N, estuvieron expuestas a una combinación de los otros factores de producción que determinó un rendimiento inferior.

Por lo tanto, la metodología utilizada para encontrar los niveles críticos consistió en seleccionar únicamente los datos de mayor rendimiento para los distintos niveles de cada indicador (puntos grandes) y ajustar un modelo de regresión utilizando solamente dichos puntos. El hecho de seleccionar los datos de mayor rendimiento para los distintos niveles de cada indicador se basa en que para cada nivel del indicador puede haber otros factores limitando el rendimiento. Al seleccionar los datos de mayor rendimiento, se intenta que la variación se deba únicamente al factor de interés. Para todos los casos, el modelo que mejor se ajustó fue el cuadrático y a partir de este se determinó el nivel crítico (NC) para los distintos indicadores. El NC es el nivel del indicador en el cual se da el máximo rendimiento, matemáticamente cuando la derivada de la función se iguala a cero.

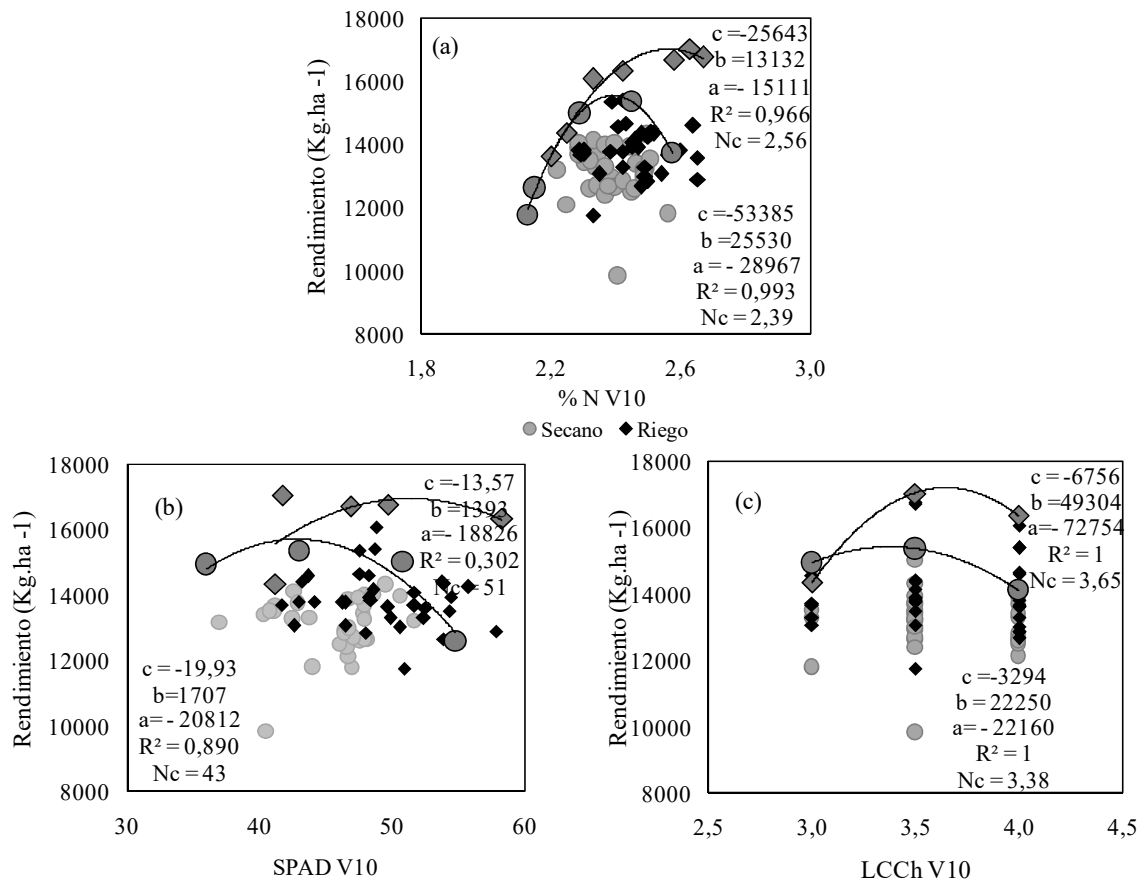


Figura 11. Relación entre la concentración de N (a), SPAD (b) y LCCh (c) y rendimiento de maíz, en V10. Puntos grandes, datos de mayor rendimiento para cada nivel de los indicadores.

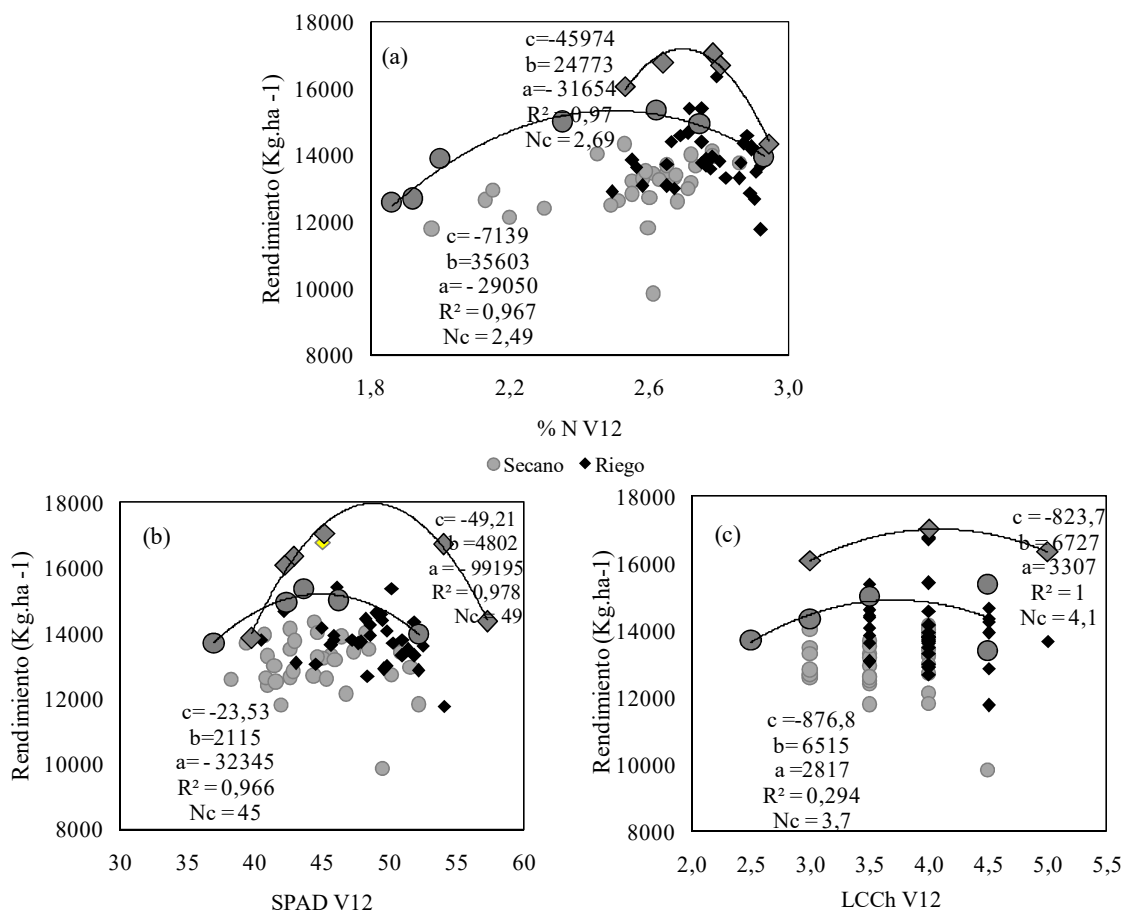


Figura 12. Relación entre la concentración de N (a), SPAD (b) y LCCh (c) en V12 y rendimiento de maíz. Puntos grandes, datos de mayor rendimiento para cada nivel de los indicadores.

En primera instancia se trabajó con todos los datos incluyendo secano y riego pero se observó que ambas situaciones mostraban tendencias diferentes, y por lo tanto se debía estimar un nivel crítico para cada condición. Se observó que en todos los casos el nivel crítico de no respuesta fue mayor en riego que en secano, coincidiendo con lo encontrado por Ceriani e Innella (2012) a pesar de que estos autores utilizaron la metodología de Cate-Nelson. Los niveles críticos encontrados en nuestro trabajo en V10 bajo riego fueron muy similares a los encontrados por Ceriani e Innella (2012) bajo riego, con valores de 2,56, 51 y 3,65 para concentración de N SPAD y LCCh respectivamente en nuestro trabajo y valores de 2,49, 50 y 3,75 para el caso de Ceriani e Innella (2012).

Por otra parte, en secano el nivel crítico fue mayor para concentración de N en nuestro trabajo en comparación con el de Ceriani e Innella (2012, 2,39 vs. 2,04 %) probablemente debido a una mejor condición hídrica para el secano en nuestro experimento. Esta diferencia representa que a medida que aumenta el status hídrico también se da un aumento del nivel crítico de estos indicadores, lo cual sería esperable debido a que existe una interacción positiva entre N y riego. Cabe destacar que esta tendencia no se cumple para los indicadores indirectos en secano y esto se debe a que en condiciones hídricas limitantes como las del experimento de Ceriani e Innella (2012) los indicadores indirectos no son buenos para predecir la concentración de N.

Para el caso de V12 también se observó que los niveles críticos bajo riego fueron mayores que en secano, aún en un año con buena disponibilidad hídrica. Para este estadio no se encontraron otras referencias de estimaciones de nivel crítico para comparar.

Esta dependencia entra la disponibilidad de agua y el nivel crítico de respuesta al N determina que es necesario definir un rango de variación del nivel crítico para las situaciones de secano. De acuerdo a la información obtenida hasta el presente este rango fluctuaría entre los niveles encontrados por Ceriani e Innella (2012) y los encontrados en nuestro trabajo como límites inferior y superior respectivamente ya que son dos situaciones de disponibilidad hídrica contrastante. Esto arrojaría un rango de 2 – 2,5 % de N en planta.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este experimento, realizado en un año con buena disponibilidad hídrica durante el verano como fue la zafra 2012-13, muestran que el riego generó un aumento del rendimiento del orden de 1000 kg ha^{-1} .

El maíz es un cultivo con alta respuesta al agregado de N. Incluso en este experimento con un suelo de alta capacidad de aporte (valores de MOS similares a los del suelo imperturbado) y valores de nitratos en V6 considerados moderados (9-12 ppm), poco comunes actualmente, se encontró una Dosis Óptima Física (DOF) de 166 y 173 kg N ha^{-1} para secano y riego respectivamente. La escasa diferencia entre riego y secano se debe probablemente a las buenas condiciones hídricas que se presentaron en esta zafra.

En secano, cuando el 100% del N fue aplicado en V6, se obtuvo un rendimiento menor al logrado cuando la aplicación fue fraccionada en V6-V10 o V6-V12. En riego, por otra parte, se obtuvo el mismo rendimiento independientemente del momento de aplicación del N. Esto indicaría la posibilidad de diferir parte del N a estadios más avanzados (V10 o V12), en especial en años con abundantes precipitaciones que aumentan el riesgo de pérdidas por lixiviación.

El agregado de N en V6 incrementó significativamente la concentración de N en V10, tanto en secano como en riego. El índice de clorofila SPAD también se incrementó con el agregado de N siendo significativo al 10 y 5 % para secano y riego, respectivamente, mientras que no resultó significativa la respuesta en LCCh para ninguna de las condiciones hídricas. En V12 se encontraron resultados similares, aunque no hubo efecto en la concentración de N al agregado en V6 para la condición de riego.

No se encontró correlación entre los estimadores indirectos de status nitrogenado (SPAD y LCCh) y el indicador directo (concentración de N en hoja) en V10, mientras que V12 se encontró una correlación baja en riego tanto para SPAD como para LCCh (0,28 y 0,33 para SPAD y LCCh, respectivamente). Esto puede estar explicado por la baja variación de la concentración de N debido a los altos niveles de fertilización en V6.

Se determinaron niveles críticos de los indicadores de suficiencia de N en planta (concentración de N en hoja, SPAD y LCCh, los cuales en V10 tuvieron valores de 2,56; 51 y 3,65 para concentración de N, SPAD y LCCh, respectivamente en riego, mientras que en secano para este estadio se ubicaron en 2,39; 43 y 3,38. En V12 se encontró un nivel crítico de 2,69; 49 y 4,10 para concentración de N SPAD y LCCh, respectivamente en riego, mientras que en secano los valores fueron de 2,49; 45 y 3,70.

Se puede concluir que existió respuesta a la aplicación tardía de N (V10 – V12) y que esta es una buena herramienta para aumentar la eficiencia parcial del N, sobre todo

en años con precipitaciones no limitantes, en los cuales las pérdidas por lixiviación pueden ser altas.

6. RESUMEN

El maíz es una de los cereales más importantes a nivel mundial. Actualmente es el cereal con mayor volumen de producción superando al trigo y el arroz, además de ser el que obtiene mayor productividad (kg ha^{-1}). A nivel nacional existe un estancamiento del rendimiento en relación a otros cultivos además de una altísima variación interanual debida probablemente a la falta de aplicación de ciertas tecnologías con probado efecto sobre el rendimiento y su estabilidad. La implementación del riego complementario y el manejo adecuado del N se indican como las dos tecnologías de mayor impacto sobre la producción. En este trabajo se evaluó el impacto del riego complementario sobre el rendimiento sumado al agregado de altas cantidades de N. El agregado de altas cantidades de N implica la necesidad de fraccionar las aplicaciones en busca de un aumento en la eficiencia de uso de los nutrientes y evitando los efectos no deseados de la fertilización, como es la contaminación de aguas. Por dicho motivo en el actual trabajo se evaluó el agregado de N tardío (V10-V12) en comparación con V6 y el fraccionamiento de la fertilización en dos estadios (V6-V10 y V6-V12). También se evaluaron distintos indicadores que pueden predecir la respuesta al N en estadios avanzados como V10-V12. En la zafra 2012-13 se instalaron dos ensayos en un predio comercial bajo condiciones hídricas contrastantes, riego y secano. Los experimentos fueron diseños completamente al azar con tres repeticiones. Las dosis de N agregadas en V6 fueron de 80 kg N como base con el agregado incremental de 50, 100, 150 y 200 kg N. Además se incluyeron tratamientos con aplicación tardía y fraccionada de N: 50-50 kg N en V6-V10 y V6-V12 o 0-100 en V6-V10 y V6-V12. También se evaluó el agregado de azufre y su interacción con la dosis de N. Los indicadores de estatus nitrogenado que se probaron en V6, V10 y V12 fueron concentración de N en hoja, el medidor de clorofila de hoja SPAD Minolta 502 y la tabla de colores Leaf Colour Chart (LCCh). Aún en un año con precipitaciones abundantes en verano, como fue la zafra 2012-13 se encontró respuesta significativa al riego complementario. A pesar de los altos niveles basales de N agregados en V6 se encontró respuesta significativa al N en secano debido probablemente a las buenas condiciones hídricas que presentó la zafra. No se encontraron diferencias en el momento de aplicación bajo riego mientras que en secano se obtuvo un menor rendimiento al agregar todo el N en V6. No hubo respuesta al agregado de S. En cuanto a los indicadores, no se encontró correlación entre los estimadores indirectos de status nitrogenado (SPAD y LCCh) y el indicador directo (concentración de N en hoja) en V10, mientras que en V12 se encontró una correlación baja en riego tanto para SPAD como para LCCh.

Palabras clave: Maíz; Riego; N; Aplicación tardía; Fraccionamiento; SPAD; LCCh.

7. SUMMARY

Maize is one of the most important cereals in the world. Nowadays it's the most produced cereal overcoming either wheat or rice. Besides, it is the one with the highest yield (kg ha^{-1}). In Uruguay yield is stagnant compared to other cultures and there is high inter-annual variability due to the lack of application of certain technologies that have an important effect on yield and stability. The implementation of complementary irrigation and the adequate management of Nitrogen are indicated as the two technologies that have the greater effect on yield. Adding high amounts of Nitrogen implies the necessity to fractionate Nitrogen looking for increasing the efficiency in the use of this element and avoiding pollution. For this reason in this assignment was evaluated late application (V10-V12) compared to V6 application or partitioning in two application (V6-V10 or V6-V12). Different indicators to predict the response to nitrogen in late states such as V10-V12 were also evaluated. During the 2012/2013 crop two trials were installed in a commercial corn crop under irrigation and rain fed conditions. The experiments were completely random designs with three repetitions. The doses applied at V6 were 80 Kg N.ha^{-1} as a base and incremental doses of 50, 100, 150 and 200 kg N ha^{-1} . Moreover, late application and partitioning application treatments were included: $50-50 \text{ kg N ha}^{-1}$ in V6-V10 or V6-V12 and $0-100 \text{ kg N ha}^{-1}$ in V6-V10 or V6-V12. Sulfur addition and its interaction with N amount were also evaluated. Nitrogen status indicators proved at V6, V10 and V12 were leaf N concentration, leaf chlorophyll content (evaluated with the Minolta SPAD 502 Chlorophyll meter) and a colour index using a Leaf Colour Chart (LCCh). Even under good water conditions such as the 2012/13 crop there was significant response to complementary irrigation. In spite of high basal N levels there was a significant response to N addition in V6 under rain fed conditions. There were no differences between application moments under irrigation while under rain fed conditions lower yield was obtained when applying everything at V6. There was no response to sulphur. As to indicators, no correlation was found between indirect nitrogen status indicators (SPAD and LCCh) and the direct indicator (leaf N concentration) in V10 while in V12 a low correlation was found for both SPAD and LCCh.

Keywords: Maize; Irrigation; Nitrogen; Late application; Fractioning; SPAD; LCCh.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ackermann, P.; Gasparri, N. 2011. Efecto de la intensidad de uso agrícola del suelo sobre el balance de nitrógeno, fósforo y potasio. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 72 p.
2. Albarenque, S. M.; Caviglia, O. P.; Melchiori, R. J. M. 2010. Simulación de la respuesta del cultivo de maíz a la refertilización nitrogenada en la región pampeana. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (22o., 2010, Rosario). Maíz, girasol y sorgo. Entre Ríos, INTA. EEA Paraná. pp. 27-30 (Actualización técnica no. 2).
3. Álvarez, R.; Steinbach, H. S.; Álvarez, C. R.; Grigera, S. 2003. Recomendación para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. IPNI. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no 18: 1-12.
4. Andrade, F. H.; Aguirrezabal, L. A. N.; Rizzalli, R. H. 2000a. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, EEA INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 61-96.
5. _____; Echeverría, H. E.; González, N. S.; Uhart, S. A. 2000b. Requerimientos de nutrientes minerales. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, EEA INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 445-450.
6. Argenta, G.; Ferreira Da Silva, P. R.; Bortolini, C. G.; Fortshofer, E. L.; Strieder, M. L. 2001a. Relação da leitura do clorofilômetro como os teores de clorofila extrível e de nitrogênio na folha de milho. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. 13(2): 158-167.
7. _____; Silva, P. R. F.; Bortolini, C. G. 2001b. Teor de clorofila na folha como indicador do nivel de N em cereais. Ciencia Rural. 31(3): 715-722.
8. _____; _____; Fortshofer, E. L.; Strieder, M. L.; Suhre, E.; Teichmann, L. L. 2003. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento de nivel de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 27(1): 109-119.
9. Avendaño-Arrazate, C. H.; Molina-Galan, J. D.; Trejo-López, C.; López-Castañeda, C.; Cadena-Iñiguez, J. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Agronomía Mesoamericana. 19(1): 27-37.

10. Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E.; Sainz Rozas, H. R. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de N. *Ciencia del Suelo*. 21(1): 18-23.
11. Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. Montevideo, INIA. 59 p. (Serie Técnica no. 24).
12. Below, F. E.; Uribe Larrea, M.; Moose, S. P.; Seebauer, J. R. 2007. ¿Podemos mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno en Maíz? *Fertilizar Asociación Civil*. no. 7:23-31.
13. Bennet, W. F.; Stanfors, G.; Dumenil, L. 1953. Nitrogen, phosphorus and potassium content and yield of corn leaf and grain as related to nitrogen fertilization. *Soil Science Society America Proceedings*. 17: 252-258.
14. Binford, G. D.; Blackmer, A. M.; Cerrato, M. E. 1992. Relationship between corn yields and soil nitrate test in late spring. *Agronomy Journal*. 84(1): 53-59.
15. Black, C. A. 1992. Plant testing and fertilizer requirement. In: Black, C. A. ed. *Soil fertility evaluation and control*. Boca Ratón, FL, CRC. pp. 155-269.
16. Blackmer, T. M.; Potker, D.; Cerrato, M. E.; Webb, J. 1989. Correlations between soil nitrate concentration in late spring and corn yields in Iowa. *Journal of Production Agriculture*. 2: 103-109.
17. _____.; Schepers, J. S. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture*. 8(1): 56-60.
18. Borghi, E.; Wornicov, C. G. 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y plantas para el ajuste de la refertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 53 p.
19. Borrás, L.; Slafer, G. A.; Otegui, M. E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean; a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*. 86: 131-146.
20. Calviño, P. A.; Echeverría, H. E. 2003. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*. 21 (1): 24-29.
21. Calvo, J. M. 2008. Fertilización en el cultivo de maíz (*Zea mays* L), en un Haplustol Entico en el sur de la provincia de Córdoba. Tesis Ing. Agr. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto. 57 p.

22. Capurro, J.; Fiorito, C.; González, M.; Pagani, R. 2002. Fertilización del cultivo de maíz en Cañada de Gómez (Santa Fe): resultados del ensayo campaña 2001/02. INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no 15: 8-11.
23. Cardellino, G.; Baethgen, W. E. 2000. Análisis de la viabilidad de sistemas de riego para maíz; estudio de casos y evaluación de estrategias. In: Jornada de Riego (2000, La Estanzuela, Colonia). Tecnología de producción de cultivo y pasturas bajo riego. Montevideo, INIA. pp. 47-55.
24. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
25. Caviglia, O. P.; Melchiori, R. J. M. 2006. Análisis de la eficiencia de utilización del nitrógeno y sus componentes. In: Actualización técnica de maíz. Entre Ríos, INTA. pp. 37-39 (Serie de Extensión no.41).
26. _____.; _____.; Kemerer, A.; Van Opstal, N. V.; Gregoruti, V. C. 2007. Relaciones entre las eficiencias en el uso del nitrógeno y de la radiación en maíz. In: Actualización técnica maíz, girasol y sorgo. Entre Ríos, INTA. pp. 7-12 (Serie de Extensión no.44).
27. Cazabán, M.; Rubio, D. N. 2014. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 82 p.
28. Ceriani, M.; Innella, J. A. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz en condiciones de riego y secano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 66 p.
29. Ciampiti, I. A.; Boxler, M.; García, F. O. 2010. Nutrición de maíz; requerimientos y absorción de nutrientes. Informaciones Agronómicas. no. 48: 14-18.
30. Correndo, A.; García, F. 2013. Alternativas de diagnóstico para el manejo nutricional en cultivos extensivos. IPNI. (en línea). Acassuso, Buenos Aires, Latinoamérica Cono Sur. 19 p. Consultado 29 jun. 2016. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/203773C7E19A701285257AB70039B4BE/\\$FILE/CORRENDO%20Y%20GARCIA%20-%20VI%20CBCS.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/203773C7E19A701285257AB70039B4BE/$FILE/CORRENDO%20Y%20GARCIA%20-%20VI%20CBCS.pdf).
31. Daigger, L. A.; Fox, R. 1971. Nitrogen and sulfur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. *Agronomy Journal*. 63: 729-730.
32. De Juan Valero, J. A.; Maturano, M.; Artigao Ramírez, A.; Tarjuelo Martin-Benito, J. M.; Ortega Álvarez, J. F. 2005. Growth and nitrogen use efficiency of

- irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. Spanish Journal of Agricultural Research. 3(1): 134-144.
33. Echeverría, H. E.; Ferrari, J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. Balcarce, CERBAS, INTA. 18 p. (Boletín Técnico no. 112).
 34. _____; Sainz Rozas, H. 2006a. Maíz. In: Echeverría, H. E.; García, F. O. eds. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires, Argentina, EEA INTA/Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 255-882.
 35. _____; _____. 2006b. Nitrógeno. In: Echeverría, H. E.; García, F. O. eds. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires, Argentina, EEA INTA/Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 69-97.
 36. Ellis, B. G.; Knaus, C. J.; Smith, F. W. 1956. Nutrient content of corn as related to fertilizer application and soil fertility. Agronomy Journal. 48: 455-459.
 37. Ernst, O.; Siri Prieto, G.; Cadenazzi, M. 2009. Influence of crop-pasture rotation and tillage system on yields of wheat, soybean, barley, sorghum and sunflower in uruguay. Journal of Agricultural Machinery Science. 5(3): 253-262.
 38. _____; _____. 2011. Fertilización con fósforo; ¿por balance o suficiencia? In: Simposio Nacional de Agricultura (2º., Paysandú, 2011, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 35-44.
 39. _____; _____. 2013. Pérdida de calidad de suelo como factor limitante del rendimiento en el largo plazo. In: Simposio Nacional de Agricultura (3º., 2013, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 158-166.
 40. Espósito, G.; Castillo, C.; Balboa, R. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 35(3): 45-63.
 41. FAOSTAT. 2013. Food and agricultural commodities production; world statistics. (en línea). Rome. s.p. Consultado 5 may. 2014. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
 42. Fontanetto, H.; Keller, O.; Borsarelli, J.; Gagliano, C. 1999. Efecto del nitrógeno y del azufre en maíz de segunda. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea. no. 89: 139-141.
 43. Gao, Q.; Li, C.; Feng, G.; Wang, J.; Cui, Z.; Chen, X.; Zhang, F. 2012. Understanding yield response to nitrogen to achieve high yield and high nitrogen use efficiency in rainfed corn. Agronomy Journal. 104(1): 165-168.

44. García, F. s.f. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. (en línea). Acassuso, Argentina, IPNI Cono Sur. 21 p. Consultado 16 abr. 2013. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/criterios-manejo-fertilizacion-cultivo-maiz.pdf>
45. García, J. P.; Espinosa, J. 2009. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas*. no. 72: 1-5.
46. Giménez, L.; García Petillo, M. 2009. Estudio de las necesidades hídricas de los cultivos de verano en Uruguay. *In: Simposio Nacional de Agricultura (1º, 2009, Paysandú, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 17-31.
47. _____. 2010. Efecto de la disponibilidad hídrica en diferentes etapas de desarrollo de maíz y soja. *In: Seminario Internacional Potencial de Riego Extensivo de Cultivos y Pasturas (1º, 2010, Paysandú, Uruguay)*. Actas. Montevideo, Bascana. pp. 29-37.
48. _____. 2012. Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia (Montevideo)*. 16(2): 92-102.
49. Gregoret, M. C.; Dardanelli, J.; Bongiovanni, R.; Díaz-Zorita, M. 2006. Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en un haplustol. *Ciencia de Suelo*. 24: 147-159.
50. Gudelj, V.; Vallone, P.; Galarza, C.; Gudelj, O.; Lorenzón, C.; MASIERO, B. 2004. Resultados del ciclo 2003/2004; EEA Marcos Juárez. INTA EEA Marcos Juárez. *Información para Extensión no. 88 (G)*: 1-7.
51. Hoffman, E.; Perdomo, C.; Ernst, O.; Bardoli, M.; Pastorini, M.; Pons, C.; Borghi, E. 2010. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. IPNI. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 46: 13-18.
52. _____.; Fassana, N.C.; Mazzilli, S.; Berger, A.; Ernst, O. 2015. La productividad parcial de los nutrientes. La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno. *In: Simposio Nacional de Agricultura (4º, 2015, Paysandú, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 131-140.
53. INIA; INASE (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY; Instituto Nacional de Semillas, UY). 2015. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de maíz para grano y maíz para silo. Montevideo. 50 p.

54. Jones, J. B. Jr. 1967. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: Hardy, G. W. ed. Soil testing and plant analysis part II plant analysis. Madison, WI, Soil Science Society of America. pp. 49-58 (Special publication no. 2).
55. _____; Eck, H. V. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In: Walsh, L. M.; Beaton, J. D. eds. Soil testing and plant analysis. Madison, WI, Soil Science Society of America. pp. 349-364
56. Kaur, A.; Bedi, S.; Kaur Gill, G.; Kumar, M. 2012. Effect of nitrogen fertilizer on radiation use efficiency, crop growth and yield in some maize (*Zea mays* L) genotypes. (en línea). Maydica. 57: 75-82. Consultado 5 may. 2013. Disponible en http://www.maydica.org/articles/57_075.pdf
57. Magdoff, F. R.; Ross, D.; Amadon, J. 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. Soil Science Society of America Journal. 48(6): 1301-1304.
58. Masino, A.; Madoery, O.; Conde, B.; Montechiari, A. 2010. Respuesta del cultivo de maíz a dosis crecientes de nitrógeno. (en línea). Córdoba, INTA Marcos Juárez. 7 p. Consultado 15 may. 2013. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/respuesta-del-cultivo-de-maiz-a-dosis-crecientes-de-nitrogeno>
59. Maturano, M. 2002. Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones maiceras castellano-manchega y argentina. Tesis Doctoral. Castilla-La Mancha, España. Universidad de Castilla-La Mancha. 292 p.
60. Medina, S.; Ramírez, R. 1996. Comportamiento del maíz bajo dos condiciones de contenido de agua volumétrica del suelo. Agronomía Tropical. 47(2): 201-215.
61. Melchiori, R.; Papatoti, O.; Paul, W. 1996. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada de maíz; nitratos en preescardillada. Entre Ríos, INTA. pp. 23-27 (Serie de Extensión no. 11).
62. _____; Caviglia, O. P.; Bianchini, A. 2006. Momentos de fertilización nitrogenada en maíz en el centro oeste de Entre Ríos. In: Actualización técnica de maíz. Entre Ríos, INTA. pp. 29-32 (Serie de Extensión no.41).
63. _____; Barbagelata, P. A.; Albarenque, S. M.; Faccendini, N. 2007. Momento de aplicación y fuentes de nitrógeno en maíz. In: Actualización técnica maíz, girasol y sorgo. Paraná, INTA. pp. 74-79 (Serie de Extensión no.44).
64. Méndez, A.; Scaramuzza, F.; Villarroel, D.; Vélez, J. P.; Sánchez, F. 2012. Momento de aplicación del fertilizante nitrogenado en suelos franco-limosos de la zona centro de Córdoba. (en línea). Córdoba, INTA Manfredi. 6 p. Consultado 29

jun. 2016. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-aplicacion_del_fertilizante_en_suelos_cordoba.pdf.

65. Meroni, G.; Del Pino, A.; Mori, C.; Cerveñasky, A.; Casanova, O. 2010. Efecto del contenido de agua sobre la mineralización de la 62 materia orgánica en suelos del sur de Uruguay. *In*: Reunión Técnica-Dinámica de las Propiedades del Suelo bajo Diferentes Usos y Manejos (2010, Colonia, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, s.e. pp. 1-8.
66. Nemati, A. R.; Sharifi, R. S. 2012. Effects of rates and nitrogen application timing on yield, agronomic characteristics and nitrogen use efficiency in corn. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4(9): 534-539.
67. Novoa, R.; Villagrán, N. 2000. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica (Chile)*. 63(1): 166-171.
68. Otegui, M. E. 1992. El agua y el nitrógeno como determinantes del rendimiento en maíz. Un análisis sencillo para cuantificar los requerimientos y tomar decisiones. *Proceder Agrotecnológico*. 4: 24-31.
69. Pagani, A.; Echeverría, H.; Sainz Rozas, H. 2009a. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. (en línea). *Ciencia de Suelo*. 27(1): 21-29. Consultado 10 feb. 2013. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672009000100003&Ing=es&nrm=iso&tlng=es.
70. _____.; _____.; _____. 2009b. Respuesta física y económica de maíz a la fertilización nitrogenada y azufrada en Balcarce y 9 de julio. IPNI. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 39: 1-7.
71. _____.; _____.; _____.; Andrade, F. H. 2012. Effects of nitrogen and sulfur application on grain yield, nutrient accumulation, and harvest indexes in maize. *Journal of Plant Nutrition*. 35(7): 1080-1097.
72. Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafite, H. R.; Violic, A. D. 2009. El maíz en los trópicos; mejoramiento y producción. (en línea). Roma, Italia, FAO. s.p. Consultado 3 feb. 2013. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.html>
73. Pedrol, H.; Catellarín, J.; Ferraguti, F.; Rosso, O. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. IPNI. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 40: 17-20.
74. Perdomo, C. H.; Ciganda, V. S.; Borghi, E.; Wornicov, G. 1998. Evaluación del test de nitrato en suelo para las condiciones de maíz en Uruguay. *In*: Reunión

- Brasileira de Fertilidade de Solo e Nutricão (13°. , 1998, s.l.). Trabalhos apresentados. s.n.t. p. 337.
75. _____.; Cardellino, G. 2006. Respuesta del maíz a fertilizaciones definidas con diferentes criterios de recomendación. *Agrociencia* (Montevideo). 10(1): 63-79.
 76. _____.; _____. 2007. Respuesta de maíz a fertilizaciones definidas con diferentes criterios de recomendación. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 33: 17-24.
 77. _____.; Barbazán, M.; Durán Monzoni, J. M. 2008. Nitrógeno. Montevideo, Facultad de Agronomía. 74 p.
 78. _____.; Hoffman, E. M. 2011. Manejo de nitrógeno en maíz: actualidad y perspectivas. *In: Simposio Nacional de Agricultura* (2°. , 2011, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 61-75.
 79. Pozzi, C.; Halvorson, A. D. 2011. Nitrogen fertilizer effects on irrigated conventional tillage corn yields and soil carbon and nitrogen pools. *Agronomy Journal*. 103(3): 871-878.
 80. Quincke, A.; García Lamothe, A.; Morón, A. 2008. Manejo de la fertilización en cultivos de verano. *In: Jornada INIA La Estanzuela Cultivos de Verano* (2008, Young, Río Negro). Resúmenes. Montevideo, INIA. pp. 1-3 (Actividades de Difusión no. 550).
 81. Relun, G. 2005. Sulfur management for corn growth with conservation tillage. *Soil Science Society of América Journal*. 69: 709-717.
 82. Sainz Rozas, H.; Echeverría, H. 1998. Relación entre las lecturas de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de Facultad de Agronomía (La Plata)*. 103(1): 37-44.
 83. _____.; _____.; Studdert, G. A.; Domínguez, G. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agronomy Journal*. 92(6): 1176-1183.
 84. Salvagiotti, F.; Pedrol, H.; Castellarin, J. 2002. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. II-relación entre la respuesta en rendimiento y la concentración de N-NO₃ en el suelo en el estadio V4-V6. s.n.t. s.p.
 85. Sánchez, M. A.; Ascheri, L. M. 2005. Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba CREA Monte Buey – Inrville Campañas 2003-04 y 2004-05. *Informaciones Agronómicas*. no. 27: 18-20.

86. _____.; Muñoz, S. J. 2008. Fertilización nitrogenada en maíz en el sudeste de Córdoba. IPNI. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 39: 20-22.
87. Széles, A. V.; Megyes, A.; Nagy, J. 2012. Irrigation and nitrogen effect on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. In: Clothier, B.; Droogers, P.; Fernandez, J. E.; Jovanovic, N.; Wichelns, D. eds. Agricultural water management. Debrecen, Hungary, University of Debrecen. Centre of Agriculture and Applied Economy Sciences. pp. 133-144.
88. Szulc, P.; Bocianowski, J.; Rybus-Zajac, M. 2012. The effect of soil supplementation with nitrogen and elemental sulphur on chlorophyll content and grain yield of maize (*Zea mays* L.). *Žemdirbystė=Agriculture*. 99(3): 247–254.
89. Torres Duggan, M. s.f. Fertilización nitrogenada del cultivo de maíz. (en línea). Pergamino, INTA. s.p. Consultado 13 feb. 2013. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.asp>
90. Torres Martignioni, D. A. 1996. Tecnologías en cultivos de verano; II. Maíz y sorgo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp. 22-28.
91. Tyner, E. H. 1946. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus, and potassium content. *Soil Science Society of America Proceedings*. 11: 317-323.
92. 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: 1376-1383.
93. _____.; Echeverría, H. E. 2002. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada y fosforada. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. Bases para el manejo de maíz, girasol y soja. INTA Balcarce, Argentina. pp. 239–272.
94. Varinderpal Singh, Y.; Advinder Singh, T.; Ajay Kumar, V. 2011. Need-based fertilizer nitrogen management using leaf color chart in hybrid rice (*Oryza sativa*). *The Indian Journal of Agriculture Sciences*. 81(12): s.p.
95. Viets, F. G., Jr.; Nelson, C. E.; Crawford, C. L. 1954. The relationship among corn yields, leaf composition, and fertilizer applied. *Soil Science Society of America Proceedings*. 18: 297-301.
96. Villar, J.; Pecorari, C.; Ramunno, J.; Rostagno, J.; Peirone, N.; Albretch, R.; Calcha, F. 1999. Fertilización nitrogenada en maíz: efecto de la oferta de nitrógeno edáfico y del estado nutricional de las plantas sobre el rendimiento en grano.

Información técnica para productores 1997-98. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea. no. 89: 146-148.

97. Villar, P.; Villar, J. M.; Ferrer, F.; Aran, M. 2000. Optimización de la fertilización nitrogenada en maíz en suelos calcáreos del área regada por los canales de urgell. *Investigación Agronómica*. 15(1-2): 106-123.
98. Williams, J. D.; Kitchen, N. R.; Scharf, P. C.; Stevens, W. E. 2009. Within-field nitrogen response in corn related to aerial photograph color. *Precision Agriculture*. 11: 291-305.

9. ANEXOS

Cuadro resumen de contrastes en secano

	Rendimiento		Pl.m2		Gr.esp		esp.pl		PG		No. gr.m2	
	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	P valor
C1	1354802	0.0892	1.93	0.0809	7585.19	0.0363	0.04	0.0750	7.6 E-4	0.2526	397047	0.1211
C2	777600	0.0731	0.11	0.3314	236.88	0.5732	0.01	0.2070	3.3 E-5	0.6291	34960	0.3195
C3	2303920	0.0102	0.88	0.2045	1320.17	0.3488	3.8 E-3	0.5900	2.6 E-3	0.0472	13632	0.7359
C4	2217344	0.1252	0.07	0.8067	448.53	0.2010	0.01	0.5963	1.0 E-3	0.1810	5360	0.7508

Cuadro resumen de contraste en r

	Rendimiento		Pl.m2		Gr.esp		esp.pl		PG		No. gr.m2	
	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor	CM	P valor
C1	117660	0.6603	0.70	0.2908	1470.15	0.1109	8.3 E-4	0.8057	1.2 E-4	0.2838	1041	0.8910
C2	1557541	0.3667	0.88	0.3394	1190.04	0.2486	0.02	0.4533	4.8 E-5	0.4463	206832	0.2098
C3	204610	0.6979	0.88	0.2623	726.00	0.2448	0.07	0.0581	3.3 E-5	0.6080	4537	0.8324
C4	1139704	0.2631	0.60	0.1552	266.67	0.3439	0.02	0.2508	9.4 E-4	0.0821	228	0.9543

Cuadro resumen de contraste de evolución de lecturas V10

	%N hoja		Minolta SPAD 502		LCC	
	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor
C5 secano	0.10	0.0001	1.42	0.2973	0.15	0.3651
C5 riego	0.06	<0.0001	88.57	0.001	0.27	0.1335

Cuadro resumen de contraste de evolución de lecturas V12

	%N hoja		Minolta SPAD 502		LCC	
	CM	p valor	CM	p valor	CM	p valor
C5 secano	0.13	0.0697	8.18	0.3475	4.2 E-3	0.8710
C5 riego	4.2 E-3	0.4984	64.61	0.006	0.02	0.7134

Salidas del programa Infostat sobre regresiones de tendencia de lecturas de indicadores en V10 y V12

Análisis de regresión lineal

%N V10

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC

1 %N V10 15 0,63 0,60 0,01 -31,81 -29,68

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor CpMallows VIF
const 2,11 0,05 2,00 2,22 40,58 <0,0001
Dosis 1,3E-03 2,7E-04 6,7E-04 1,8E-03 4,66 0,0004 21,21 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 0,12 1 0,12 21,69 0,0004
Dosis 0,12 1 0,12 21,69 0,0004
Error 0,07 13 0,01
Total 0,19 14

SPAD V10

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
1 SPAD V10 11 0,27 0,19 1,53 37,05 38,25

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor CpMallows VIF
const 45,87 0,97 43,69 48,06 47,49 <0,0001
Dosis 0,01 0,01 -2,3E-03 0,02 1,84 0,0984 4,16 1,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo. 4,09 1 4,09 3,40 0,0984

Dosis 4,09 1 4,09 3,40 0,0984

Error 10,84 9 1,20

Total 14,93 10

%N V12

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC

1 %N V12 15 0,58 0,54 0,04 -4,12 -2,00

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF

const 1,77 0,13 1,49 2,06 13,55 <0,0001

Dosis 2,9E-03 6,8E-04 1,4E-03 4,3E-03 4,21 0,0010 17,55 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo. 0,61 1 0,61 17,75 0,0010

Dosis 0,61 1 0,61 17,75 0,0010

Error 0,45 13 0,03

Total 1,06 14

SPAD V12

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
1 SPAD V12 12 0,28 0,21 14,94 66,82 68,28

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 39,63 2,67 33,68 45,57 14,85 <0,0001
Dosis 0,03 0,01 -3,9E-03 0,06 1,96 0,0778 4,60 1,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 43,12 1 43,12 3,86 0,0778
Dosis 43,12 1 43,12 3,86 0,0778
Error 111,70 10 11,17
Total 154,82 11

LCCh V10

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
1 LCCh V10 15 0,02 0,00 0,21 17,31 19,43

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF

const 3,58 0,27 3,00 4,16 13,38 <0,0001
Dosis 6,7E-04 1,4E-03 -2,3E-03 3,7E-03 0,48 0,6379 1,29 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 0,03 1 0,03 0,23 0,6379
Dosis 0,03 1 0,03 0,23 0,6379
Error 1,87 13 0,14
Total 1,90 14

LCCh V12

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
1 LCCh V12 15 0,04 0,00 0,17 15,53 17,66

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 3,35 0,25 2,81 3,90 13,30 <0,0001
Dosis 1,0E-03 1,3E-03 -1,8E-03 3,8E-03 0,77 0,4569 1,62 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo. 0,08 1 0,08 0,59 0,4569
Dosis 0,08 1 0,08 0,59 0,4569
Error 1,66 13 0,13
Total 1,73 14

%N V10

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
2 %N V10 12 0,70 0,67 0,01 -25,91 -24,45

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 2,19 0,06 2,05 2,32 36,62 <0,0001
Dosis 1,8E-03 3,6E-04 9,5E-04 2,6E-03 4,86 0,0007 22,55 1,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 0,12 1 0,12 23,61 0,0007
Dosis 0,12 1 0,12 23,61 0,0007
Error 0,05 10 4,9E-03
Total 0,17 11

SPAD V10

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
2 SPAD V10 15 0,35 0,30 14,24 75,95 78,07

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 43,41 1,89 39,33 47,50 22,97 <0,0001
Dosis 0,03 0,01 4,9E-03 0,05 2,66 0,0196 7,65 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 50,70 1 50,70 7,08 0,0196
Dosis 50,70 1 50,70 7,08 0,0196
Error 93,09 13 7,16
Total 143,79 14

%N V12

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
2 %N V12 13 0,09 0,01 0,01 -23,99 -22,29

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 2,71 0,06 2,58 2,85 44,48 <0,0001
Dosis 3,4E-04 3,1E-04 -3,5E-04 1,0E-03 1,07 0,3075 2,13 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 0,01 1 0,01 1,15 0,3075
Dosis 0,01 1 0,01 1,15 0,3075
Error 0,08 11 0,01
Total 0,08 12

SPAD V12

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
2 SPAD V12 13 0,46 0,41 9,00 63,05 64,75

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 44,47 1,74 40,64 48,30 25,54 <0,0001
Dosis 0,03 0,01 0,01 0,05 3,05 0,0111 9,59 1,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 51,71 1 51,71 9,28 0,0111
Dosis 51,71 1 51,71 9,28 0,0111
Error 61,31 11 5,57
Total 113,02 12

LCCh V10

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
2 LCCh V10 15 0,01 0,00 0,21 13,26 15,38

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 3,71 0,23 3,20 4,21 15,85 <0,0001
Dosis 3,3E-04 1,2E-03 -2,3E-03 2,9E-03 0,28 0,7871 1,14 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 0,01 1 0,01 0,08 0,7871
Dosis 0,01 1 0,01 0,08 0,7871
Error 1,43 13 0,11
Total 1,43 14

LCCh V12

CH Variable N R² R² Aj ECMP AIC BIC
2 LCCh V12 15 0,02 0,00 0,23 14,68 16,81

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef Est. E.E. LI(95%) LS(95%) T p-valor Cp Mallows VIF
const 3,78 0,25 3,25 4,31 15,42 <0,0001
Dosis 6,7E-04 1,3E-03 -2,1E-03 3,4E-03 0,53 0,6078 1,33 1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
Modelo. 0,03 1 0,03 0,28 0,6078
Dosis 0,03 1 0,03 0,28 0,6078
Error 1,57 13 0,12
Total 1,60 14