

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ
BAJO RIEGO**

por

María del Pilar ARMAND UGON ITUÑO

Gonzalo Andrés FERRARI DOLZ

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2018

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Agustín Núñez

Ing. Agr. Valentina Rubio

Ing. Agr. Esteban Hoffman Berasain

Fecha:

21 de junio de 2018

Autores:

María del Pilar Armand Ugon

Gonzalo Ferrari Dolz

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros Agrónomos Agustín Núñez y Valentina Rubio por el apoyo brindado durante el trabajo de campo y académico durante la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Agrónomo Esteban Hoffman Berasain que siempre estuvo dispuesto a brindar su apoyo académico y prestarnos su atención.

Al Ingeniero Agrónomo Nicolás Fassana por su aporte y apoyo en este trabajo.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) por darnos la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones y darnos el material para poder llevarlo a cabo.

Al departamento de suelos del INIA y a todo su personal que sin ellos hubiese sido imposible haber llevado a cabo este trabajo.

Al laboratorio de suelos y agua de INIA La Estanzuela por prestarnos el servicio para poder realizar los análisis.

A Del Carmen ACISA por cedernos un espacio para poder realizar el trabajo experimental en su predio de La Perdiz.

Por supuesto que a nuestras familias y amigos que nunca nos dejaron aflojar en toda esta carrera y que siempre estuvieron para darnos un respiro y un aliento.

A la Facultad de Agronomía y a todos sus docentes por darnos esta experiencia de vida que fue la universidad que hoy culmina y de la cual nos llevamos muchos recuerdos, amigos y compañeros.

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>	2
2.1. FENOLOGÍA Y SITUACIÓN ACTUAL DEL MAÍZ EN URUGUAY.....	2
2.2. DINÁMICA DEL NITRÓGENO	3
2.3. NITRÓGENO EN PLANTA Y REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.....	5
2.4. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA.....	6
2.5. EFECTO DEL NITRÓGENO EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	8
2.6. IMPORTANCIA DEL MOMENTO DE FERTILIZACIÓN	9
2.6.1 <u>Respuesta a seis hojas (V6)</u>	9
2.6.2 <u>Respuesta en estadios tardíos</u>	10
2.7. INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO	12
2.7.1 <u>Concentración de N-NO₃ en V6</u>	12
2.7.2 <u>Nitrógeno en hoja</u>	13
2.7.3 <u>Lectura de clorofila (SPAD)</u>	14
2.7.4 <u>Índice de verdor (LCC)</u>	16
2.7.5 <u>Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)</u>	17
2.7.6 <u>Nitratos en la base del tallo</u>	17
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	19
3.1. UBICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS 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>	21
3.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
3.5.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	23
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	29
4.1.	RENDIMIENTO EN GRANO Y COMPONENTES.....	29
4.2.	RESPUESTA AL AGREGADO DE N EN V6.....	33
4.3.	RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ AL MOMENTO DE APLICACIÓN DEL N.....	37
4.4.	ABSORCIÓN DE N POR EL CULTIVO	41
4.5.	INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO	45
4.5.1	<u>Relación entre indicadores del status nitrogenado</u>	45
4.5.2	<u>Probabilidad de predecir la respuesta al N en estadios tardíos</u>	47
4.5.3	<u>Estimación de niveles críticos (NC) para los distintos indicadores evaluados</u>	48
4.5.4	<u>Nitratos en la base del tallo</u>	52
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	54
6.	<u>RESUMEN</u>	55
7.	<u>SUMMARY</u>	56
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	57
9.	<u>ANEXOS</u>	65

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Respuesta en rendimiento y en sus componentes para condiciones de riego y secano según la bibliografía consultada a nivel nacional	9
2. Descripción de los tratamientos de fertilización según momento y dosis	20
3. Contrastes estudiados en el trabajo.	23
4. Observaciones mínimas, promedio y máximas de rendimiento y sus componentes para cada sitio experimental.	29
5. Características específicas de cada sitio experimental	30
6. Efecto de la dosis de N agregada a V6 en los componentes del rendimiento para los dos sitios experimentales.....	35
7. Efecto del momento de aplicación de N sobre los componentes del rendimiento para el contraste C2 (60-0-0 contra 0-60-0) para los dos sitios experimentales.....	39
8. Componentes de la relación entre indicadores y rendimiento relativo a V10.....	50
 Figura No.	
1. Diagrama de tiempo para las determinaciones realizadas.....	21
2. Precipitaciones mensuales del período de experimentación en relación al promedio histórico para el Sitio 1	24
3. Oferta hídrica para el período de experimentación en el Sitio 1	25
4. Precipitaciones mensuales del período de experimentación en relación al promedio histórico para el Sitio 2.....	26
5. Oferta hídrica para el período de experimentación en el Sitio 2.....	27
6. Variación de la temperatura durante el período de experimentación.....	28
7. Relación entre el rendimiento y sus principales componentes.....	31
8. Respuesta en rendimiento y EUN en función de la dosis a V6.....	33
9. Número de grano y peso de grano según dosis de N agregada a V6 para los dos sitios experimentales	36
10. Variación en rendimiento según momento de aplicación del N para el Sitio 1	37

11. Variación en rendimiento según momento de aplicación del N para el Sitio 2	38
12. Respuesta a la fertilización tardía (V10) para ambos sitios experimentales	41
13. Absorción total del N a MF según tratamiento para los dos sitios experimentales	42
14. Recuperación aparente de N según tratamiento para ambos sitios experimentales	44
15. Relación entre porcentaje de N en hoja y los indicadores indirectos.....	46
16. Evolución de las lecturas de porcentaje de N en hoja, SPAD, LCC y NDVI para distintas dosis de N agregadas en V6 para ambos sitios	48
17. Respuesta al agregado de N a V10 en función del N agregado en V6 para los disitintos indicadores	50
18. Correlación entre rendimiento relativo y porcentaje de N en hoja en F1	51
19. Contenido de nitratos en la base del tallo a MF en función del N agregado total para ambos sitios	52

1. INTRODUCCIÓN

El maíz, uno de los principales cultivos a nivel mundial, presenta una alta sensibilidad a las deficiencias hídricas y nutricionales. En Uruguay, la principal limitante para el logro de altos rendimientos es el déficit hídrico.

Es esperable un mayor uso de fertilizante nitrogenado en situaciones de riego en comparación con cultivos de maíz en secano. Sumado a esto, la evolución de la agricultura continua en nuestro país ha llevado a que la capacidad de aporte de N de los suelos sea cada vez menor, resultando en dosis necesarias mayores. En este sentido, existen riesgos de pérdidas de N asociados a dosis elevadas de N en una única aplicación. A partir de esto, es necesario buscar alternativas que permitan el agregado de dosis altas de N durante el ciclo del cultivo sin un riesgo excesivo de pérdidas. El fraccionamiento o la aplicación tardía de la fertilización nitrogenada en situaciones de maíz bajo riego permitirían agregar el fertilizante más cerca del momento donde la tasa de crecimiento del cultivo (y la absorción de nutrientes) es mayor sin afectar negativamente el rendimiento. Podría esperarse entonces, una mayor recuperación del N agregado si este es aplicado más cerca del momento de mayor absorción, disminuyendo el riesgo de pérdidas de N.

Tradicionalmente, la fertilización en Uruguay se realizaba a la siembra y V6 en base a análisis de suelo (test de N-NO₃). Los trabajos nacionales desarrollados por la Facultad de Agronomía se enfocaron en cuantificar el nivel de respuesta a la aplicación tardía de N. Estos trabajos indicarían que existe respuesta a la fertilización tardía, más aún en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica y que es posible predecir esta respuesta en base a indicadores del status nitrogenado del cultivo. En este sentido los objetivos del presente trabajo son evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada en estadios tardíos y estudiar la relación entre la respuesta observada en rendimiento y diversos indicadores del status nitrogenado; determinar la recuperación aparente del fertilizante con distintas estrategias de fertilización y analizar el método de nitratos en la base del tallo (NBT).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FENOLOGÍA Y SITUACIÓN ACTUAL DEL MAÍZ EN URUGUAY

El ciclo de desarrollo del maíz comprende el estado vegetativo y el estado reproductivo. El estado vegetativo abarca desde la emergencia de la planta (VE) hasta el panojamiento (VT). Durante esta etapa se da el desarrollo de hojas y acumulación de biomasa, donde el número de hojas depende del genotipo, del cultivar y el efecto ambiental. El estado reproductivo comprende el período desde la floración femenina (R1) hasta madurez fisiológica (R6), y es el período donde se da la determinación del rendimiento del cultivo (Ritchie y Hanway, 1982).

En el estado V6, el punto de crecimiento sobresale de la superficie del suelo y el tallo comienza un período de rápida elongación. En este momento las raíces adventicias son el principal sistema funcional. Cerca de V10, la planta comienza un rápido incremento en la acumulación de materia seca que continuará hasta la etapa reproductiva avanzada. Se requieren altas cantidades de agua y nutrientes en el suelo para cumplir con la demanda (Fassio et al., 1998). VT se inicia aproximadamente 2-3 días antes de la emergencia de barbas, tiempo durante el cual la planta de maíz ha alcanzado su altura final y comienza la liberación del polen. El tiempo entre VT y R1 puede variar considerablemente en función del cultivar y de las condiciones ambientales (Ritchie et al., citados por Fassio et al., 1998).

Según Giménez (2012) el período crítico es definido como aquel que va desde 15 días antes de la floración femenina hasta 15 días posteriores a la misma. En esta etapa se fija el número de granos por superficie, que es el componente que explica principalmente los cambios en el rendimiento; en este momento, la tasa de crecimiento es indicativa de la condición fisiológica del cultivo y por lo tanto de su capacidad para fijar granos (Andrade et al., citados por Giménez, 2012).

En Uruguay, en la zafra 2015/2016 se sembraron 83.200 hectáreas con una producción de 487.000 toneladas y con un rendimiento promedio de 5.867 Kg ha⁻¹, aumentando un 2 % respecto a la zafra anterior y alcanzando el máximo histórico a nivel nacional (MGAP. DIEA, 2016). En esta misma zafra se regó el 12 % de la superficie plantada con maíz, 10.242 hectáreas, obteniéndose para este caso un rendimiento promedio de 8.546 Kg ha⁻¹, 46 % superior que el rendimiento obtenido en secano (MGAP. DIEA, 2016).

Giménez y Mosco (1996) mencionan que sólo es posible la obtención de rendimientos potenciales en la medida que no existan durante las diferentes fases de desarrollo del cultivo condiciones de estrés hídrico. En este sentido, Giménez et al. (2010) mencionan que el potencial que puede ser alcanzado para maíz con riego es de 15.310 Kg ha⁻¹.

En cuanto al manejo de la fertilización nitrogenada en Uruguay, Perdomo y Hoffman (2011) mencionan que la fertilización general frecuentemente utilizada cuando finalizaba la primera década del siglo XXI consiste en una dosis a la siembra de 130 Kg N ha⁻¹ como 18-46-0 y luego otra en V6 (o en estadios posteriores) de aproximadamente 90 Kg urea ha⁻¹, lo que hace un total de 65 Kg N ha⁻¹. Estos autores destacan que también es común la aplicación de UAN en dos veces, resultando en una dosis total de aproximadamente 60 Kg N ha⁻¹.

2.2. DINÁMICA DEL NITRÓGENO

El ciclo del N involucra procesos de ganancias y pérdidas de N, conocer estos procesos es de gran importancia ya que a partir de ellos quedará determinado el contenido de N disponible en el suelo para ser absorbido por el cultivo, y por lo tanto influye seriamente en las decisiones de fertilización.

Los principales mecanismos de ganancia de N son: N aportado con las lluvias, N proveniente de la fijación simbiótica, N aportado por los fertilizantes y abonos orgánicos y N proveniente del proceso de mineralización a partir de restos frescos (Perdomo et al., 2008). Para el cultivo de maíz, donde no hay fijación biológica de N, la nutrición del cultivo dependerá principalmente del N disponible en el suelo y el aporte del fertilizante, ya que los aportes de N por la lluvia son poco relevantes en la producción agrícola.

La mineralización es la transformación de N bajo formas orgánicas insolubles a formas inorgánicas, siendo estas últimas las formas que el cultivo es capaz de absorber, amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻, Robertson y Vitousek, 2009). Algunos de los factores que más inciden en la tasa de mineralización son la humedad y temperatura del suelo, aunque existen otras condiciones que también influyen, como pueden ser las propiedades físicas y químicas del suelo, las prácticas de manejo o la presencia de otros nutrientes (Campbell, citado por Perdomo et al., 2008).

La mineralización es muy baja en suelos secos, pero aumenta rápidamente cuando el contenido de agua en el suelo también aumenta (Perdomo et al., 2008). Mazzilli et al. (2015) encontraron que períodos de al menos 20 días con escasas precipitaciones generaban una disminución de la cantidad de nitratos, posiblemente por una baja mineralización de la materia orgánica. Esto concuerda con lo planteado por Thompson y Troeh (1988) de que la limitación en el suministro de agua agrava las deficiencias en la nutrición nitrogenada porque la mineralización es más lenta. Es esperable entonces un efecto del riego en la mineralización de la materia orgánica por un aumento en la humedad del suelo. El uso de riego no sólo permite levantar una gran limitante para el crecimiento y desarrollo del cultivo, sino que también contribuye a aumentar la mineralización y por lo tanto el N disponible.

Perdomo y Hoffman (2011) mencionan que los sitios de mayor potencial de rendimiento tienen mejores propiedades del suelo, entre ellas superior potencial de mineralización de nitrógeno (PMN). De acuerdo a esto, en estos sitios va a existir una mayor demanda de N por parte del cultivo, pero a su vez una mayor oferta por parte del suelo de este nutriente. Mazzilli et al. (2015) mencionan que, en sistemas de agricultura continua, el contenido de N y el potencial de mineralización de los suelos se reducen, lo cual incrementa las necesidades de fertilización. De acuerdo a esto, el PMN no sólo depende de las propiedades de los suelos, sino también del manejo realizado previamente, es decir, de la historia de chacra.

Los principales mecanismos de pérdida de N son: lixiviación, desnitrificación, volatilización y pérdidas por erosión (Perdomo et al., 2008).

Los dos procesos de pérdida más importante de nitrato, el lavado o lixiviación y la desnitrificación, ocurren en condiciones de exceso de agua en los suelos. En nuestro país estas condiciones son más probables en el período otoño-invierno, especialmente cuando el suelo está en barbecho, ya que no existe un cultivo que pueda remover el NO_3^- del suelo (Perdomo et al., 2008).

Perdomo y Cardellino (2006) en una serie de ensayos en sitios comerciales de maíz ubicados en el litoral oeste del país, encontraron que en dos de tres zafras la concentración de NO_3^- del suelo del tratamiento sin fertilizar disminuyó de la siembra a V6 en todos los sitios. Esto coincidió con la ocurrencia de lluvias por encima del promedio histórico en los meses correspondientes, lo que según mencionan estos autores, podría haber favorecido la ocurrencia de pérdidas de NO_3^- por lixiviación y desnitrificación.

Las pérdidas por lavado dependen de la cantidad de NO_3^- presente en el perfil y el volumen de agua que percola a través del suelo. Las pérdidas por lavado se pueden reducir minimizando los niveles de NO_3^- en el suelo, especialmente durante los períodos sin cultivo y sincronizando la aplicación de fertilizantes con la absorción de N por el cultivo (García, 1996). Para el sudeste bonaerense Sainz Rozas et al. (2004) determinaron menores pérdidas de N por lavado para fertilizaciones en V6 respecto a la siembra, siendo estas de 5 y 17% respectivamente para dosis de 140 Kg N ha⁻¹.

Según Perdomo et al. (2008) es esperable que para la misma cantidad de lluvia el lavado sea mayor en un suelo previamente húmedo que en uno seco, pero mencionan que esta relación puede no ser tan clara ya que en suelos de textura fina la velocidad de infiltración y la velocidad de pasaje del agua a través del suelo disminuye a medida que el contenido de agua en el suelo aumenta.

Gregorich et al. (2015) mencionan que sistemas regados presentan un aumento de las emisiones de N_2O , en relación a los sistemas de secano, debido a un mayor contenido de agua en el espacio poroso del suelo. Estos autores mencionan que cuando

el suelo tiene un 60-75% de su espacio poroso ocupado por agua, predomina la desnitrificación. En una revisión realizada por Trost et al. (2015) se informan incrementos de alrededor de 50 a 140 % en las emisiones de N_2O en sistemas bajo riego respecto a sistemas de secano. En Balcarce, Argentina, Echeverría y Sainz Rozas (2001) para un cultivo de maíz bajo riego reportan pérdidas por desnitrificación acumulada de V6 hasta la madurez del cultivo de 6,4 Kg de $N-N_2O$, las pérdidas sólo representaron un 1,43 % del N aplicado.

Mikkelsen (2010) menciona que la falta de lluvia, una ligera llovizna o riego luego de la aplicación del fertilizante, altas temperaturas y suelos secándose son algunas de las condiciones de campo que favorecen la volatilización del fertilizante aplicado en superficie. Según este autor, normalmente se pueden esperar pérdidas de 10 a 40% cuando el fertilizante nitrogenado permanece en la superficie del suelo por un prolongado período de tiempo.

A partir de lo expuesto en esta sección, se puede concluir que las formas disponibles para el cultivo son también las de mayor probabilidad de pérdida, por lo que resulta riesgoso aplicar todo el fertilizante nitrogenado en un mismo momento. A su vez, el riego, si bien contribuye positivamente al proceso de mineralización, también conlleva a un aumento de las pérdidas. De acuerdo a esto, deberíamos plantearnos la alternativa de fraccionar la fertilización, de modo de lograr una mayor eficiencia en el uso del N, aumentando el contenido de este para ser aprovechado por el cultivo y disminuyendo las pérdidas ocasionadas por los procesos mencionados anteriormente.

2.3. NITRÓGENO EN PLANTA Y REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

El N cumple funciones vitales dentro de los seres vivos, encontrándose dentro de las plantas tanto en formas orgánicas como inorgánicas. Este nutriente tiene un rol esencial en el crecimiento vegetal, ya que es constituyente de moléculas como: 1) clorofila; 2) aminoácidos esenciales; 3) proteínas; 4) enzimas; 5) nucleoproteínas; 6) hormonas; 7) trifosfato de adenosina (ATP). Además, el N es esencial en muchos procesos metabólicos como por ejemplo la utilización de los carbohidratos. Los contenidos de N en la planta expresados en relación a su peso seco total generalmente oscilan entre 1 y 5 % (Perdomo et al., 2008).

Según Perdomo et al. (2008) la acumulación de N en la planta en función del tiempo sigue una curva sigmoide que antecede a la acumulación de MS. Al principio la acumulación es escasa a causa de que la planta recién se está desarrollando, luego se da una etapa de máxima absorción de N correspondiente al período de activo crecimiento y finalmente la tasa de absorción de N se reduce. La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente 5-6 hojas desarrolladas), asegura un buen desarrollo y crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada (García, 2005). El N se acumula en partes vegetativas hasta floración para

luego ser movilizado hacia los granos en crecimiento. Al momento de la floración, el cultivo puede acumular entre el 50 y 70% de los requerimientos totales de N (Uhart y Echeverría 1997, Ciampitti et al. 2010, Vidal et al. 2015). En general, la cantidad de N absorbido post floración se encuentra directamente determinada por la demanda de N del grano, por lo que en cultivos de alto potencial la probabilidad de respuesta a aplicaciones tardías será mayor.

En condiciones de riego y fertilización, Andrade et al., citados por Uhart y Echeverría (1997), encontraron que la acumulación máxima de N en Balcarce para cultivos de maíz osciló entre 240 y 320 Kg ha⁻¹ totales de N de acuerdo a los híbridos considerados, con tasas máximas de acumulación entre 2,7 y 3,7 Kg N ha⁻¹ día⁻¹; dichas tasas se mantuvieron constantes entre V5 y R4-R5. Sin embargo, según Vidal et al. (2015) en maíces tardíos con altos rendimientos, se han reportado tasas de acumulación de 8,4 Kg N ha⁻¹ día⁻¹ entre V6 y emisión de panoja.

En cuanto a los requerimientos totales de N por parte del cultivo para la producción de grano, Perdomo et al. (2008) mencionan que para producir 12 toneladas de MS por hectárea se requieren 275 Kg N ha⁻¹. García (2005) cita valores de 274 Kg N ha⁻¹ para el mismo rendimiento. Valores similares son reportados por Melgar y Torres Duggan (2004), Vidal et al. (2015) quienes encontraron que el cultivo de maíz requiere alrededor de 20 a 25 Kg N ha⁻¹ por cada tonelada de grano producida. Ciampitti et al. (2010) encontraron que el requerimiento de N para producir una tonelada de MS fue más bajo y varió entre 14 y 18 Kg N ha⁻¹. Conocer la absorción total de N permite estimar la recuperación aparente del fertilizante y estimar el requerimiento interno del cultivo, el cual varía con el rendimiento y los factores que lo determinan (clima, genotipo, prácticas de manejo, Ciampitti et al., 2010).

A partir de lo expuesto en este apartado, se destaca la importancia de conocer los requerimientos nutricionales del cultivo con el objetivo de obtener una mejora en la eficiencia de utilización del N a través de una correcta planificación y programación de la fertilización nitrogenada. En este sentido, es necesaria la adecuada disponibilidad de N en el período de activo crecimiento, el cual es comprendido entre V5 y R4-R5.

2.4. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Es sabido que el cultivo de maíz evidencia una alta respuesta al agregado de N en general. Sin embargo, tal como menciona Quiroga, citado por Barraco y Díaz Zorita (2006), la magnitud de la respuesta depende de factores edáficos, climáticos y de manejo. En este sentido, el contenido de N-NO₃ en el suelo y el contenido hídrico son dos de los factores que afectan en mayor medida esta respuesta. Perdomo y Hoffman (2011) observaron diferencias significativas en el rendimiento para chacras con más de 4 años de agricultura continua sin laboreo, en comparación con chacras de 4 años o menos. Esto puede adjudicarse a un menor contenido de N-NO₃ en el suelo en el primer caso, generando esto una limitante a la hora de alcanzar elevados rendimientos.

Cuando el nivel de N del suelo es bajo, la respuesta ante el agregado de una unidad de nutriente es mayor que cuando el nivel inicial de N es alto. Como consecuencia, la pendiente de la curva de respuesta, conocida como eficiencia agronómica o eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN, Kg grano producido/Kg N aplicado) es mayor en situaciones con bajo contenido de nitratos que en situaciones con alto contenido (Álvarez et al., 2003). Para el N, se han determinado EUN que varían desde 4 a 54 Kg de grano por Kg de N aplicado según dosis, nivel inicial de N, condiciones ambientales, tecnología de aplicación, etc. (Sainz Rozas et al., citados por Sainz Rozas et al., 2009).

Según Barbagelata et al. (2014) la EUN es mayor en años de mayor precipitación. En un experimento de 4 años realizado por Sánchez y Muñoz (2008) en el sudeste de Córdoba, se encontró que en un año donde las precipitaciones fueron inferiores a la media histórica los tratamientos con agregado de fertilizantes nitrogenados no presentaron diferencias significativas entre sí, atribuyendo este hecho a la alta relación existente entre contenido hídrico y respuesta a la fertilización nitrogenada. En este mismo trabajo, en los años donde el agua no fue limitante para la producción de granos se encontró que el umbral crítico de respuesta fue de 216 Kg de N ha^{-1} (N-NO₃ a 60 cm + fertilizante). En una serie de ensayos realizados en Entre Ríos, Argentina, Pautasso y Gieco (2010) observaron que, en un año con fuerte déficit hídrico, la fertilización no tuvo efectos positivos sobre el rendimiento en híbridos precoces de maíz. En cambio, cuando las lluvias fueron significativamente mayores el rendimiento se relacionó con el N disponible (suelo 0-20 cm + fertilizante), estableciendo un umbral de 96 Kg ha^{-1} .

En Uruguay, Ceriani e Inella (2012) también encontraron una interacción positiva entre la condición hídrica y la respuesta a la fertilización nitrogenada. Estos autores encontraron que bajo riego la EUN media a seis hojas fue casi el doble que en secano (20 vs. 10,7 Kg de grano por Kg de N aplicado en riego y secano, respectivamente). El nivel de N como NO₃ en el suelo fue muy bajo en este estadio por lo que era esperable una alta respuesta. Sin embargo, la respuesta estuvo determinada en gran medida por el status hídrico, con mayor rendimiento, mayor respuesta a la fertilización y mayores dosis óptimas en condiciones de riego. En el experimento regado, la dosis óptima física (DOF) estimada por los autores fue de 188 Kg N ha^{-1} , mientras que en secano esta fue de 123 Kg N ha^{-1} . En este sentido, Cazabán y Rubio (2014) en similares condiciones reportan DOF de 124 Kg N ha^{-1} para el promedio de tres sitios de secano. Abraham y Falco (2016) en riego, obtuvieron una DOF de 173 Kg N ha^{-1} , contra una DOF de 166 Kg N ha^{-1} en secano.

Perdomo y Hoffman (2011) en suelos donde el contenido de N-NO₃ era inferior a 8 ppm, también encontraron una interacción positiva de riego por N, con dosis óptimas económicas (DOE) de 161 Kg N ha^{-1} para maíz con riego, asumiendo un precio de grano del maíz de 250 U\$/tonelada y de urea de 640 U\$/tonelada. Ceriani e Inella (2012)

determinaron una DOE para maíz bajo riego de 163 Kg N ha⁻¹ calculado en base a un valor del maíz de 265 U\$/tonelada y un costo de urea de 560 U\$/tonelada. Por otro lado, la DOE obtenida por Cazabán y Rubio (2014) fue en promedio de 113 Kg N ha⁻¹ en base a un valor del maíz de 263 U\$/tonelada y un costo de urea de 600 U\$/tonelada.

De lo anterior queda de manifiesto entonces que, si bien la respuesta al agregado de N depende de diversos factores, el contenido hídrico es sin duda uno de los factores que tiene mayor influencia en esta respuesta, esperándose respuestas elevadas en condiciones de buena disponibilidad hídrica mediante el uso de riego y maximizándose en estas condiciones el beneficio económico de la fertilización nitrogenada.

2.5. EFECTO DEL NITRÓGENO EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

El rendimiento de cultivo de maíz está determinado principalmente por dos componentes: el número de granos por unidad de superficie y el peso de granos (Cárcova et al., 2003), siendo el primero el principal determinante del rendimiento. Según García (2005) el número de granos por unidad de superficie es función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración. Uhart y Echeverría (1997) mencionan que las deficiencias de N pueden reducir la tasa de crecimiento del cultivo durante el período comprendido entre 15 d prefloración y 15 d postfloración, lapso durante el cual se determina el principal componente del rendimiento. Melchori et al. (2004) afirman que el agregado de N aumenta el rendimiento a través de sus dos componentes. Según Maturano (2002) un estrés de N afecta en menor medida el componente peso de mil granos que el de número de granos.

Dentro de los componentes del número de granos, las espigas por planta y los granos por espiga son los más afectados. La mayor parte de la pérdida de granos se debe a fallas en la fertilización y/o incrementos en el aborto de granos (Uhart y Echeverría, 1997). Uhart y Andrade, citados por Uhart y Echeverría (1997) encontraron que la reducción del número potencial de óvulos por espiga producida por el estrés de N osciló entre el 1 y el 8 %, mientras que la pérdida de granos por espiga debido a fallas en la fertilización más aborto variaron entre 32 y 38 % para los tratamientos no estresados y entre 38 y 82 % para los tratamientos estresados. En cuanto a peso de granos, estos autores encontraron que deficiencias de N redujeron el peso de los granos entre 9 y 25% y el rendimiento en grano entre 14 y 18% respecto de los tratamientos no estresados.

A continuación, se presentan los datos reportados por la bibliografía nacional en cuanto a respuesta en rendimiento y los componentes del mismo (cuadro 1). Como se puede observar, Ceriani e Inella (2012) también reportan un mayor efecto de la fertilización nitrogenada en el número de granos. Tanto en riego como en secano, encontraron respuesta en rendimiento y número de granos a la fertilización nitrogenada, pero sin un efecto significativo del N en el peso de grano. Sin embargo, Abraham y Falco (2016) encontraron respuesta significativa en rendimiento únicamente en

condiciones de secano sin un efecto significativo en los ninguno de los dos componentes del rendimiento. En condiciones de riego no observaron un efecto significativo en rendimiento y por ende tampoco en sus componentes.

Cuadro 1. Respuesta en rendimiento y en sus componentes para condiciones de riego y secano según la bibliografía consultada a nivel nacional.

Referencia	Sitio	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Peso de grano (mg)			Granos m ⁻²		
		Testigo	Máx.	p-valor	Testigo	Máx.	p-valor	Testigo	Máx.	p-valor
Ceriani e Inella (2012)	Riego	6537	10327	<0,01	228	254	ns	2865	4072	<0,01
	Secano	3432	4156	<0,01	204	235	0,08	1711	2361	0,03
Cazabán y Rubio (2014)	Secano1	6161	10068	<0,01	---	---	---	---	---	---
	Secano2	5402	9847	<0,01	---	---	---	---	---	---
	Secano3	3374	6537	<0,01	---	---	---	---	---	---
Abraham y Falco (2016)	Riego	13562	14857	ns	336	348	0,09	4040	4346	ns
	Secano	12177	13908	0,09	348	353	ns	3518	3947	ns

ns p-valor mayor a 0,10

A partir de esto, se puede concluir que generalmente el componente número de granos es el más afectado por la fertilización nitrogenada, siendo este definido entorno a la floración del cultivo. Se destaca entonces la importancia de una adecuada disponibilidad de N en este momento.

2.6. IMPORTANCIA DEL MOMENTO DE FERTILIZACIÓN

Tal como se mencionó en capítulos precedentes, se espera que con el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada mejore la eficiencia en el uso de este nutriente. Esto se explica por dos motivos, por un lado, para evitar las pérdidas de N asociadas con una única aplicación, y por el otro por la importancia de una adecuada disponibilidad de N cuando el cultivo está en el período de rápida absorción de nutrientes. A continuación, se plantea una breve revisión de dos momentos para la aplicación de fertilizantes nitrogenados (V6 y estadios posteriores) en los que se espera una alta respuesta a la misma y resultados nacionales obtenidos hasta el momento cuando se fracciona la fertilización en estos dos estadios.

2.6.1 Respuesta a seis hojas (V6)

Según mencionan Barraco y Díaz Zorita (2006), en condiciones de altas precipitaciones, las aplicaciones en el estadio de V6 serían más eficientes respecto a aplicaciones a la siembra ya que se disminuyen las pérdidas de N.

Perdomo y Cardellino (2007) en una red de ensayos realizados en tres zafras con buena disponibilidad hídrica, encontraron para Uruguay respuestas en el entorno de 2.000 Kg ha^{-1} con dosis de 55 Kg N ha^{-1} . Estos mismos autores para los mismos ensayos realizados con recomendaciones de Estados Unidos, observaron respuestas en torno a 2.600 Kg ha^{-1} para dosis de 100 Kg N ha^{-1} . Cazabán y Rubio (2014) también en secano, encontraron respuesta a la fertilización nitrogenada promedio para tres sitios en V6 de 3.331 Kg ha^{-1} con EUN de $33,3 \text{ Kg}$ de grano por Kg de N aplicado para la dosis de $100 \text{ Kg de N ha}^{-1}$.

En condiciones de riego, Ceriani e Inella (2012) reportan una respuesta máxima a la fertilización nitrogenada en el estadio de 6 hojas de 3.790 Kg ha^{-1} con dosis de 150 Kg N ha^{-1} , mientras que Abraham y Falco (2016) no encontraron respuesta al agregado de N en V6 comparando dosis de $130, 180, 230$ y 280 Kg N ha^{-1} contra un testigo de 80 Kg N ha^{-1} (rendimiento promedio $13.747 \text{ Kg ha}^{-1}$). Estos autores mencionan que la falta de respuesta podría estar explicada por una elevada tasa de mineralización de N en el suelo.

Los datos nacionales y regionales muestran respuesta a la fertilización nitrogenada en V6 y en general mayores dosis óptimas en condiciones de buena disponibilidad hídrica. Sin embargo, la respuesta y la dosis óptima dependen de la disponibilidad de N en el suelo y del aporte por mineralización durante el ciclo del cultivo, tal como observaron por ejemplo Borghi y Wornicov (1998), Abraham y Falco (2016). El uso de indicadores de disponibilidad de N en el suelo a V6 y los niveles críticos nacionales son discutidos en la próxima sección.

2.6.2 Respuesta en estadios tardíos

En Uruguay, desde hace más de 8 años la Facultad de Agronomía (Perdomo y Hoffman, 2011) comienzan a trabajar en la respuesta al N en V10- V12. Esto resultó de las altas dosis óptimas de N observadas en las chacras viejas y por tanto una necesidad derivada de fraccionar a estadios posteriores.

Un posible riesgo de fertilizar solamente en estadios tardíos es la pérdida de rendimiento por no lograr una adecuada nutrición inicial del cultivo. Por ejemplo, Scharf et al. (2002) mencionan que puede haber disminuciones del 3 % del rendimiento cuando las aplicaciones se realizan en estadios avanzados del cultivo (V10-V11). En este sentido, Espinosa et al. (2015) observaron que con aplicaciones posteriores a V6-V8 se redujo un 8% el rendimiento en maíz, en comparación a cuando se aplicó entre V4-V6. Sin embargo, Ceriani e Inella (2012) mencionan que un estrés nitrogenado inicial (hasta V10) puede ser tolerado sin deprimir el rendimiento si se agrega N a V10. A nivel nacional se han evaluado distintas estrategias de fertilización entre V6 y V10-V11 con resultados variables pero que han permitido alcanzar ciertas conclusiones.

Perdomo y Hoffman (2011) en un año de elevados rendimientos debido a abundantes precipitaciones, encontraron que el N aplicado en V10 tuvo una eficiencia similar a la del aplicado en V6, y la aplicación de 100 Kg N ha⁻¹ agregados en V10 tuvieron un efecto incluso superior a la misma dosis agregada a V6 o de 50-50 en V6-V10. Ceriani e Inella (2012) no encontraron diferencias entre aplicar 100 Kg N ha⁻¹ en V6, en V10 o fraccionado en condiciones de riego, pero en condiciones de secano la fertilización a V10 afectó negativamente el rendimiento en comparación con V6. El efecto negativo de la fertilización tardía en secano estuvo explicado por un menor número de granos. Cazabán y Rubio (2014) en sitios de secano con buena disponibilidad hídrica pero baja disponibilidad de nitratos en suelo no observaron diferencias entre aplicar 100 Kg N ha⁻¹ a V6 o fraccionar en V6 y V10, pero el rendimiento fue marcadamente inferior cuando se aplicó el N únicamente en V10.

Abraham y Falco (2016) aplicando 180 Kg N ha⁻¹ únicamente a V6 obtuvieron un rendimiento de 14.857 Kg ha⁻¹. Con aplicaciones de 80 Kg N ha⁻¹ en V6 y 100 Kg N ha⁻¹ en V10 obtuvieron un rendimiento de 13.838 Kg ha⁻¹. También probaron aplicar la misma dosis a V6 y 100 Kg N ha⁻¹ en V12 y obtuvieron un rendimiento de 14.481 Kg ha⁻¹. Estos autores mencionan que no hay diferencias significativas entre aplicar 180 Kg N ha⁻¹ únicamente a V6 o fraccionando en V6-V10 o V6-V12 en condiciones de riego, pero en secano la aplicación fraccionada tuvo un mayor efecto en rendimiento que la fertilización únicamente a V6. Estos autores destacan la posibilidad de diferir parte de la fertilización a estadios más avanzados (V10-V12) sin afectar el rendimiento, lo que sería una buena práctica en años con abundantes precipitaciones que aumenten el riesgo de pérdidas por lixiviación.

Queda de manifiesto la gran variabilidad en cuanto a respuesta en rendimiento cuando se aplica el N únicamente en V10 en comparación a cuando se aplica en V6, lo cual estaría principalmente explicado por diferencias en disponibilidad hídrica y en la capacidad de aporte de N del suelo en los diferentes ambientes. En condiciones de buena disponibilidad hídrica y un aporte moderado de N en el suelo la aplicación tardía no tendría un efecto negativo en el rendimiento (Ceriani e Inella 2012, Abraham y Falco 2016) pero en situaciones de baja disponibilidad hídrica o baja disponibilidad de N inicial, con una sola aplicación a V10-V11 los rendimientos fueron afectados (Ceriani e Inella 2012, Cazabán y Rubio 2014). Con respecto al fraccionamiento de la fertilización en V6-V10, según los datos obtenidos hasta el momento, se debería considerar una práctica adecuada ya que implicaría reducir las pérdidas de N y mejoraría la eficiencia de utilización de este nutriente. Aun así, son escasos los resultados que lo demuestren, por lo que sería muy útil seguir investigando en esta dirección.

2.7. INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO

Los distintos métodos de diagnóstico o indicadores son útiles para establecer umbrales y predecir la probabilidad de respuesta a partir de la disponibilidad de N en suelo y/o planta. Su uso permite separar sitios con y sin respuesta a la fertilización nitrogenada, buscando de esta manera optimizar el manejo de la misma. Dentro de los indicadores, algunos son de medida directa y otros basados en medidas indirectas relacionadas con el status nitrogenado del cultivo. En este sentido, Perdomo y Hoffman (2011) mencionan que existen actualmente posibilidades de mejorar el manejo del N en los cultivos de verano en Uruguay, mediante el uso de estos indicadores de suelo y planta que hay disponibles.

En general el análisis de suelo es la herramienta básica y fundamental para determinar los niveles de fertilidad de cada lote y diagnosticar la necesidad de fertilización; sin embargo, los análisis vegetales permiten integrar los efectos del suelo y del ambiente sobre la nutrición de las plantas ampliando la base de diagnóstico (García, 2005).

Según Borghi y Wornicov (1998), Sainz Rozas y Echeverría (1998), Ceriani e Inella (2012), en estadios tempranos del ciclo del cultivo los indicadores de suelo son los más adecuados, ya que los indicadores de planta miden la concentración de N en un momento en que la planta aún tiene bajos requerimientos de absorción de N y, por lo tanto, es poco probable que muestre síntomas de deficiencias. Sin embargo, en estadios posteriores, estos autores mencionan que los indicadores en base a análisis de planta o su medición indirecta son los más adecuados, ya que el cultivo se encuentra en el momento de máximo crecimiento y máxima absorción de N.

2.7.1 Concentración de N-NO₃ en V6

La determinación de la concentración de N-NO₃ en suelo en el estadio de V6 es uno de los métodos de diagnóstico más utilizado ya que representa no sólo la oferta de N mineral presente a la siembra del cultivo sino también los aportes por mineralización y pérdidas de N durante las primeras etapas del cultivo (Andrade et al., citados por Barraco y Díaz Zorita, 2006). Esto es así puesto que en el estadio de 4-5 hojas la cantidad de N absorbido por el cultivo hasta el momento es muy baja (Uhart y Echeverría, 1997).

En el noreste bonaerense, Díaz Zorita y Duarte, citados por Barraco y Díaz Zorita (2006) encontraron una estrecha relación entre los rendimientos del cultivo de maíz y el N disponible (N en el suelo en el estadio de V6 más N aplicado como fertilizante). Barraco y Díaz Zorita (2006) sugirieron que en suelos con más de 129 a 140 Kg N ha⁻¹ disponible (N suelo más N del fertilizante) es poco probable detectar aumentos en el rendimiento de maíz.

Borghi y Wornicov (1998) realizando un estudio en diez sitios experimentales en Uruguay, únicamente encontraron cierta respuesta a la fertilización nitrogenada en V6 en uno de ellos. La falta de respuesta en la mayoría de los sitios fue adjudicada a los altos valores de nitratos presentes en el suelo a V6 (cerca del rango crítico). Estos autores mencionan además que el contenido de nitratos en los primeros 20 cm del suelo fue el indicador que mejor se relacionó con la variación en la respuesta al agregado de N.

En Uruguay, Perdomo y Hoffman (2011) recomiendan fertilizaciones cuando la concentración en suelo a 0-20 cm es inferior al rango de 20-25 ppm de N-NO₃.

De lo anterior puede concluirse que el método de diagnóstico basado en la concentración de N-NO₃ en V6 es propuesta como una herramienta útil para el diagnóstico de las necesidades de fertilización del cultivo de maíz.

2.7.2 Nitrógeno en hoja

La relación entre la concentración de un nutriente en una planta o en una parte de la misma y el rendimiento constituye la base de muchos esquemas para usar el análisis de planta como herramienta para evaluar el estado nutricional del cultivo (Barbazán, 1998). Según menciona esta autora, las hojas son usualmente las partes más adecuadas para muestrear.

Ceriani e Inella (2012) encontraron que el porcentaje de N en planta no es buen indicador de deficiencias de N en estadios tempranos como V6 y que tampoco tiene relación con la concentración de N-NO₃ en el suelo, el cual sí es un buen indicador en estadios tempranos del ciclo del cultivo. Sin embargo, en estadios más avanzados la concentración de N en hoja sí sería útil como indicador del status nutricional del cultivo. Estos autores reportan para Uruguay un nivel crítico de aproximadamente 2,5 % de N en hoja a V10 para asegurar un 90 % del rendimiento relativo. Estos resultados concuerdan con los citados por Jones et al. (1991) a nivel internacional, y por Perdomo y Hoffman (2011), Abraham y Falco (2016) para Uruguay. Sin embargo, Cazabán y Rubio (2014) encontraron un valor de 2,1 %, el cual es inferior al reportado por los autores mencionados anteriormente para cultivos cuyo potencial oscila en las 10 toneladas. Ziadi et al., citados por Ziadi et al. (2012) informaron que la concentración de N de las hojas superiores de maíz varía durante el ciclo de crecimiento del cultivo y se reduce cuando disminuye la aplicación del fertilizante nitrogenado. Estos autores determinaron un valor de 3,27 % de N en hoja, aproximadamente en V12, para alcanzar la máxima producción en grano de maíz.

Daigger y Fox (1971) señalan una relación positiva entre concentración de N en la hoja de la espiga y el rendimiento para maíz dulce. Novoa y Villagrán (2002) mencionan valores de 2,3 % como críticos poco después de floración y Voss (1993) reporta un nivel crítico de 2,75 a 3,5 % de N en la hoja de la espiga a floración. En este

sentido, Ambrogio et al. (2001) encontraron una concentración crítica de 2,7 % de N en la hoja de la espiga a floración por encima de la cual los rendimientos eran superiores a 9.000 Kg ha⁻¹, valor que se ubica en el rango considerado crítico por Voss (1993).

De lo anterior se puede concluir que, si bien el contenido de nitratos en suelo es la mejor opción para evaluar la disponibilidad de nutrientes a V6, el porcentaje de N en hoja del cultivo de maíz podría utilizarse como indicador del status nitrogenado del cultivo en estadios avanzados del mismo.

2.7.3 Lectura de clorofila (SPAD)

El Minolta SPAD 502 permite medir un “índice de verdor” que se correlaciona con el contenido de clorofila y de N de las hojas. Las determinaciones son sencillas, rápidas y confiables (García, 2005).

Blackmer et al. (1994) mencionan que la concentración de N en la hoja y el medidor de clorofila tienen un coeficiente de determinación similar para el rendimiento en grano, lo que sugiere que los dos indicadores proporcionan una indicación similar del estado de nutrición nitrogenada en que se encuentra el cultivo.

Según Uhart y Echeverría (1997) la sensibilidad de las mediciones de clorofila en V5-V6 no es lo suficientemente elevada como para diferenciar niveles contrastantes de disponibilidad de N. Por el contrario, en momentos más avanzados del ciclo las diferencias en la nutrición nitrogenada del cultivo son adecuadamente detectadas mediante este elemento de diagnóstico. En este sentido, Blackmer y Schepers (1995) observaron que la relación entre el rendimiento en grano y las lecturas de clorofila en R4 o R5 fueron mejores que las relaciones obtenidas a V6.

Ziadi et al. (2008) observaron que las lecturas de clorofila variaron entre 20,4 a 58,1. Estos autores mencionan que las lecturas de clorofila generalmente aumentan durante la estación de crecimiento hasta un máximo y luego disminuyen gradualmente; lo que justifica la necesidad de especificar la etapa de desarrollo del cultivo en las que son tomadas las lecturas.

En un experimento realizado en la Pampa arenosa, Barraco y Díaz Zorita (2006) encontraron que la intensidad media de coloración verde en estadios vegetativos varió entre 41,3 y 51,7 unidades de SPAD y fue significativamente mayor en los tratamientos fertilizados que en el tratamiento control. Los autores concluyen que la intensidad de coloración verde de las hojas en estadios vegetativos contribuyó a distinguir entre tratamientos con y sin aplicación de N, pero fue insuficiente para su utilización como herramienta de diagnóstico de necesidades de fertilización. La intensidad de coloración verde de las hojas de la espiga varió entre 49,6 y 61,1 unidades de SPAD mostrando diferencias entre sitios y dosis de N aplicadas en la siembra. La coloración verde de las hojas aumentó a razón de 0,077 unidades de SPAD por cada

unidad adicional de N disponible hasta los 85 Kg N ha⁻¹ y mostró una mayor correlación tanto con la dosis de N aplicada como con la disponibilidad de N, reflejando adecuadamente el estado de nutrición nitrogenada del cultivo.

García (2005) encontró que en estados más avanzados del ciclo (15 días prefloración, floración, y 15 días postfloración), los valores del índice de suficiencia de N (ISN= IV testigo/ IV fertilizado) oscilan entre 0,97- 0,98 para lograr el 95% del rendimiento máximo del cultivo. Iguales resultados fueron obtenidos por Sainz Rozas y Echeverría (1998); dichos valores son superiores a los informados de 0,92 y 0,93 por Piekielek et al. (1995), Jemison y Lytrle (1996).

Shepers et al., citados por Uhart y Echeverría (1997) realizaron lecturas con el medidor de clorofila en V6, sobre 93 sitios, determinando un umbral de respuesta a la fertilización ubicado en 43,3 unidades de lectura del SPAD. En este sentido, Argenta (2001) encontró para este estadio un nivel crítico de 52,1 unidades de SPAD.

En un experimento realizado en Balcarce en dos campañas sucesivas, sin limitantes hídricas, Sainz Rozas y Echeverría (1998) encontraron que en un año los valores máximos para alcanzar el 95% del rendimiento máximo oscilaron entre 51,5 y 61 unidades de SPAD luego de V6, mientras que al año siguiente los mismos variaron entre 47 y 54 unidades de SPAD, para los mismos estadios fenológicos.

Según Argenta et al. (2003) para diagnosticar el nivel de N en la planta de maíz, lecturas de clorofilómetro por encima de 45,4; 52,1 55,3; 58,0 para los estadios de tres a cuatro hojas, seis a siete hojas y diez a once hojas, respectivamente, indican un nivel adecuado de N, independientemente del híbrido utilizado.

Para condiciones de maíz sin limitantes hídricas en el estadio de 10 hojas, Argenta et al. (2001) encontraron que valores de lectura de clorofila de 55,3 representan niveles adecuados de N. En este sentido, Ceriani e Inella (2012), Abraham y Falco (2016) reportan valores de 50 unidades de SPAD como críticos para obtener el 90 % del rendimiento relativo. Perdomo y Hoffman (2011), Cazabán y Rubio (2014) encontraron valores inferiores a los mencionados anteriormente, siendo estos de 40 unidades de N para obtener el 90 % del rendimiento relativo.

Ceriani e Inella (2012) encontraron que los valores de las lecturas de SPAD 502 en condiciones de riego en el estadio de 10 hojas se incrementaron con respecto a V6 a medida que aumentó la dosis agregada a V6. En concordancia con lo anterior, los autores Rincón y Ligarreto, citados por Ochoa Medina (2014) encontraron que cuando a las plantas se les suministró la mayor cantidad de N, los valores obtenidos con el clorofilómetro fueron más altos; sin embargo, la producción fue estadísticamente igual con dos niveles de fertilización (100 y 200 Kg ha⁻¹).

Melchiori et al. (2014) en un experimento en Paraná, realizaron mediciones en el estadio V10 con SPAD 502 para distintas dosis de N. Observaron que, para dosis de 0, 69, 138 y 276 Kg N ha⁻¹ las medidas fueron 37,5; 39,2; 38,9; 53,1 respectivamente, encontrando diferencias significativas únicamente entre la dosis de 0 y 276 Kg N ha⁻¹.

Según lo expuesto en esta sección, la lectura de clorofila parece no ser un buen indicador del status nitrogenado del cultivo en estadios vegetativos tempranos, pero si en etapas más avanzadas del ciclo del cultivo. También queda de manifiesto que a medida que aumenta la dosis de N agregada, también lo hace la lectura del clorofilómetro.

2.7.4 Índice de verdor (LCC)

La tabla de comparación de colores (LCC) en las hojas es una herramienta efectiva y barata que puede ayudar a los agricultores a mejorar el manejo del N (Witt et al., 2005). El principio general del uso de la LCC es que se debe mantener un color crítico en las hojas para obtener un crecimiento óptimo y la LCC indica cuándo se debe aplicar N para evitar la deficiencia (Witt et al., 2005).

Según García y Espinosa (2008), en general, la correlación entre los valores de las lecturas con el Minolta SPAD 502 (MCF) y la LCC es alta, indicando que la LCC es una herramienta válida en el diagnóstico del índice de verdor del cultivo de maíz. Estos autores destacan que las lecturas del índice de verdor pueden entonces utilizarse como herramienta de apoyo para ajustar las aplicaciones fraccionadas de N durante el período de mayor sensibilidad al estrés por falta de N.

Según García y Espinosa (2008) datos de estudios de fraccionamiento de N conducidos en Colombia han demostrado que se logra mayor eficiencia de uso de N aplicando 20% del N a la siembra, 40% a V6 y 40% a V10. Estos autores mencionan que usando la LCC se puede ajustar a la cantidad de N a aplicarse, si la lectura a V6 es > 4 se debe aplicar la cantidad de N definida y que corresponda al 40% del total de N, lo mismo sucede a V10 si la lectura de la LCC es > 3,5. Si las lecturas con la LCC son < 4,0 a V6 y < 3,5 a V10 es aconsejable aplicar un 10% más de la cantidad de N requerida para esa aplicación.

Para Uruguay, Perdomo y Hoffman (2011) mencionan valores de 4 como valores críticos para LCC en V11. En este sentido, Ceriani e Inella (2012) encontraron valores de 3,75 bajo riego para este mismo estadio como críticos para obtener el 90 % del rendimiento relativo y aseguran que cuando los valores de lectura fueron inferiores a este nivel crítico, la fertilización en estadios tardíos logró que el cultivo tuviera un incremento en el rendimiento frente al tratamiento sin fertilizar. Además, estos autores destacan que esta técnica es efectiva en condiciones donde no hay deficiencias hídricas, ya que estas deficiencias pueden disminuir la actividad fotosintética y traducirse en un verde menos intenso de las hojas del cultivo de maíz. Similares niveles críticos fueron

obtenidos por Cazabán y Rubio (2014), Abraham y Falco (2016) en similares condiciones.

2.7.5 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base en la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Será mayor, cuanto mayor sea la diferencia entre las reflectancias en el infrarrojo y en el rojo (Rouse, 1974).

Los rangos de medición del NDVI se encuentran entre -1 y 1, siendo los valores más altos (0,7-0,8) indicadores de plantas en las mejores condiciones (Marchesi, 2016). Según Walsh (2015) valores que oscilan entre 0,2 y 0,4 representan suelo desnudo o plantas no saludables, mientras que valores que oscilan entre 0,5 y 0,9 indicarían plantas verdes, vigorosas y saludables. Khosla et al. (2015) en Colorado, observaron que, si bien este indicador tuvo una buena correlación con el rendimiento en estadios avanzados del ciclo del cultivo, no logró determinar los requisitos de N exactos.

Martin et al. (2007) determinaron que en etapas tempranas del crecimiento (V3 a V5), el rendimiento en grano y la biomasa no se correlacionaron con el NDVI ($R^2=0,26$), en los estadios V6 y V7 el ajuste explico el 29% de la variabilidad total y en las etapas comprendidas entre V8 y V12 el mismo fue de 66%. Teal et al. (2006) encontraron un ajuste del 77% entre el NDVI a V8 y el rendimiento del maíz. En este sentido, Balboa et al. (2009) encontraron una tendencia lineal con un ajuste que alcanza el 57%, observando que a mayor NDVI en el estadio V8, mayor fue el rendimiento del cultivo de maíz. Melchiori et al. (2014), en un experimento realizado en Paraná encontraron en el estadio de V10 para dosis de 0, 69, 138 y 276 Kg N ha⁻¹ un resultado de NDVI de 0,74; 0,72; 0,76 y 0,82 respectivamente; observando sólo diferencias significativas entre las dosis de 69 y 276 Kg N ha⁻¹.

Se destaca la mejora en la correlación de este indicador con el rendimiento a medida que avanza el ciclo del cultivo, siendo en etapa avanzadas (hasta V12) una buena herramienta a la hora de determinar las necesidades de N del cultivo. En etapas más allá de V10-V12 este indicador podría saturarse, y por lo tanto no estaría brindando información precisa acerca de la nutrición nitrogenada del cultivo.¹ De esta manera, fertilizaciones tardías (hasta V10-V12) podrían beneficiarse mediante el uso de estos indicadores.

2.7.6 Nitratos en la base del tallo

Esta prueba está basada en la determinación de la concentración de nitratos en la porción basal del tallo a la madurez y permite evaluar adecuadamente el status de N del maíz en el rango que va del óptimo a los niveles de exceso, mientras que en los

¹ Fassana, N. 2018. Com. personal.

niveles de deficiencia presenta menor sensibilidad (Uhart y Echeverría, 1997). Esta prueba le permite al productor saber al momento de la cosecha si el suministro de N al final de la temporada de crecimiento fue adecuado (Blackmer y Mallarino, 1996). Si bien es un diagnóstico realizado luego de la cosecha y no permite un ajuste durante el cultivo, su uso permitiría una evaluación final del manejo de la nutrición, generando información para el manejo de futuros cultivos.

La concentración de nitratos tiende a incrementarse linealmente cuando la dosis de fertilización supera a aquella necesaria para alcanzar los rendimientos máximos (Binford et al., citados por Uhart y Echeverría, 1997). Adiciones de más fertilizante de lo necesario resultan en concentraciones de nitratos en la base del tallo que indican correctamente que el aumento en las tasas de fertilización no habría aumentado los rendimientos (Blackmer y Mallarino, 1996).

Según Blackmer y Mallarino (1996) las concentraciones en la base del tallo al final del período de crecimiento pueden dividirse en cuatro categorías; bajo (menos de 250 ppm de nitrato), marginal (250 a 700 ppm), óptimo (700 a 2000) y excesivo (más de 2000). Debe esperarse una concentración inferior a la deseada en años con cantidades excesivamente grandes de precipitaciones, que resulten en inusuales pérdidas de N y/o alto potencial de rendimiento (Blackmer y Mallarino, 1996). Según Kaiser et al. (2013) el nivel bajo indicaría que el N probablemente fue deficiente durante la estación de crecimiento, el nivel marginal estaría indicando que es posible que la escasez de N haya limitado el rendimiento, el óptimo, que el rendimiento no fue limitado por la escasez de N, y por último el nivel excesivo indicaría que la dosis de N fue demasiado alta o que hubo algún factor de producción que provocó una reducción en el rendimiento. Estos autores observaron que, para las dosis de N agregadas de 0, 120, 200 y 300 Kg N ha⁻¹, la concentración de N en la base del tallo fue de 10, 595, 3263 y 4548 ppm respectivamente y mencionan que cualquier estrés que pueda sufrir la planta puede mostrar resultados de la prueba mayores a los esperados y por lo tanto influir en la interpretación.

La hipótesis principal de este trabajo es que existe respuesta del maíz al N agregado en estadios tardíos, más aún en maíces bajo riego de alto potencial y que esta respuesta puede ser predicha a través de diversos indicadores que evalúan el status nitrogenado de cultivo. Además, se plantea la hipótesis de que la recuperación aparente de N es igual o mayor al fertilizar fraccionado o en V10 en comparación con la fertilización a V6 y que el método NBT es útil para evaluar a posteriori el manejo realizado en cuanto a la fertilización nitrogenada.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS Y MANEJO DEL CULTIVO

Durante la zafra 2015/2016 se instalaron dos experimentos de respuesta a la fertilización nitrogenada en cultivos de maíz najo riego. El primer experimento se instaló en el establecimiento “La Perdiz” (Sitio 1) ubicado en la ruta 14, departamento de Soriano, sobre un suelo Brunosol Eutrico Lúvico, Unidad Villa Soriano según Altamirano et al. (1976). Este sitio tuvo previamente una soja de primera seguida de una cobertura de avena negra. El híbrido DK 692 fue sembrado el 16 de setiembre de 2015, con una densidad de 75.000 semillas ha⁻¹, lográndose 69.000 plantas ha⁻¹. La distancia entre hileras a la siembra fue de 76 centímetros. Se realizó una fertilización base con 150 Kg ha⁻¹ de fosfato de amonio (18-46/46-0) más 100 Kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (0-0/0-60). El riego se realizó a través de pívot central.

El segundo experimento fue realizado en EELE- INIA Uruguay en un potrero denominado Chacra 20 (Sitio 2), ubicado en la ruta 50 km 11, departamento de Colonia, sobre un suelo Brunosol Eutrico Típico, Unidad Ecilda Paullier-Las Brujas según Altamirano et al. (1976). El Sitio 2 venía de un barbecho de soja de segunda que fue sembrada posterior a un trigo. El primer control de malezas se llevó a cabo a la fecha del 3 de setiembre de 2015, mediante la aplicación de glifosato a razón de 3 litros ha⁻¹ en mezcla con 2,4D a razón de 1,5 litros ha⁻¹. La siembra del cultivo se realizó el 13 de octubre del 2015 con el híbrido maíz DK 190 RR BT. La población sembrada fue de 85.000 semillas ha⁻¹ a 50 centímetros entre surco. Se realizó un segundo control de malezas post siembra a la fecha del 20 de octubre de 2015 mediante la aplicación de una mezcla de atrazina, dual y glifosato con una dosis de 1, 1,2 y 2,5 litros ha⁻¹ respectivamente. En cuanto a la fertilización, esta se llevó a cabo el 5 de noviembre de 2015 aplicándose 60 Kg ha⁻¹ de urea (46-0/0-0), 60 Kg ha⁻¹ de supertriple (0-46/47-0) y 60 Kg ha⁻¹ de azufertil (18% azufre); en mezcla aplicados al voleo en una sola pasada. El riego se realizó a través de pívot de avance frontal.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Cada experimento consistió en la aplicación de diferentes dosis de N en distintos estadios del cultivo de maíz tales como V6, V10 y panojado (F1). La fuente nitrogenada que se utilizó fue UAN (32% N; densidad 1,3 Kg L⁻¹). La aplicación se realizó con mochila, no se realizó fertiriego.

El experimento se instaló en V6, el 11 de noviembre en el Sitio 1 y el 1 de diciembre en el Sitio 2, en el año 2015.

Se realizaron cuatro bloques completamente al azar, donde en cada uno se determinaron once parcelas de cuatro surcos en el caso del Sitio 1, y cinco surcos en el caso del Sitio 2, por 10 metros de largo, representando cada una de estas parcelas un

tratamiento. En estos once tratamientos está incluido el tratamiento testigo. Los tratamientos son descriptos en el cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de fertilización según momento y dosis.

Tratamiento	N- V6 (UN ha ⁻¹)	N- V10 (UN ha ⁻¹)	N- F1 (UN ha ⁻¹)	N total (UN ha ⁻¹)
1	0	0	0	0
2	60	0	0	60
3	120	0	0	120
4	180	0	0	180
5	240	0	0	240
6	0	60	0	60
7	0	120	0	120
8	60	60	0	120
9	60	120	0	180
10	120	60	0	180
11	60	60	60	180

La fuente utilizada fue UAN (32% N; densidad 1.3 Kg L⁻¹).

3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS

3.3.1 A campo

Se tomaron muestras de suelo por bloque a 0-15 cm de profundidad en V6. Se realizaron mediciones indirectas como lectura de clorofila (SPAD), lectura con tabla de colores (LCC) e Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Posterior a esto se realizó la fertilización correspondiente a cada tratamiento para este estadio, tal como se describió anteriormente (cuadro 2).

En V10, las muestras fueron tomadas por tratamiento debido a que estos ya habían sido determinados mediante las correspondientes dosis con fertilización nitrogenada. Se tomaron muestras de la décima hoja y nuevamente se realizaron las mediciones indirectas de SPAD, LCC, y NDVI. Luego de realizados estos muestreos se procedió a fertilizar con las dosis correspondientes a este estadio en los distintos tratamientos.

En F1 se tomaron muestras de la hoja opuesta a la espiga y fueron realizadas a su vez las mediciones indirectas de SPAD, LCC y NVDI. Posterior a esto, se realizó la fertilización correspondiente para esta etapa del cultivo; la cual forma parte únicamente de uno de los tratamientos.

En madurez fisiológica (MF) se realizó muestreo de planta entera y de la base del tallo. Finalmente se procedió a realizar la cosecha. En cada tratamiento fueron cosechados ocho metros lineales. A partir de esto, se obtuvieron los componentes del rendimiento.

En la figura 1 se presenta un resumen de las fechas en que se realizaron las actividades en cada estadio para cada sitio.

Estadio	V6	V10	F1	MF - Cosecha
Sitio 1	11/11/2015	02/12/2015	28/12/2015	23/02/2016
Sitio 2	01/12/2015	21/12/2015	05/01/2016	09/03/2016

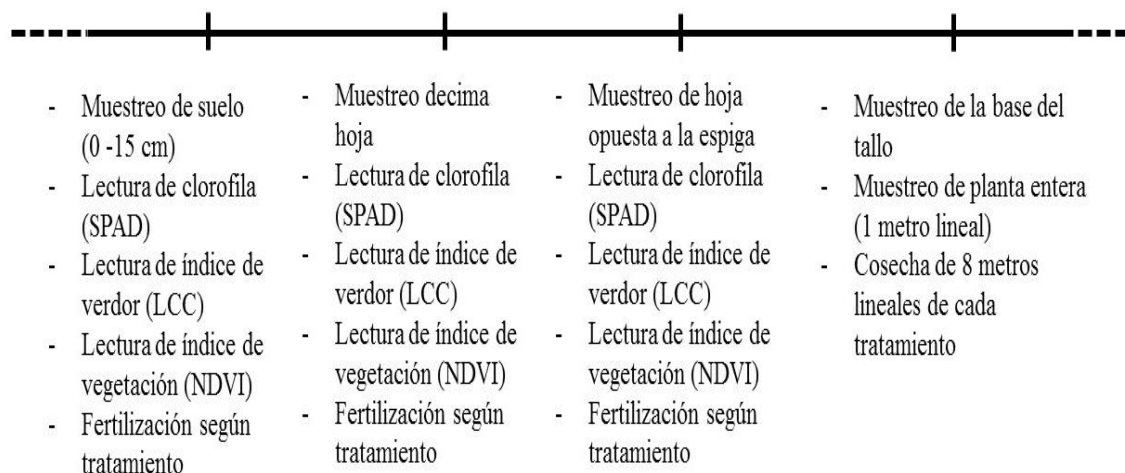


Figura 1. Diagrama de tiempo para las determinaciones realizadas.

3.3.2 En laboratorio

Las muestras de planta entera fueron picadas, y de estas se tomaron sub muestras. A estas sub muestras se las colocó en horno a 60 °C durante 48 horas, con el objetivo de medir el contenido de materia seca de las plantas y el N total. Se evaluó el contenido de N en planta mediante el método de Kjeldahl, el cual es un método indirecto que determina el contenido de N orgánico presente en una muestra o fracción. Las muestras de la décima hoja y de la hoja opuesta a la espiga se analizaron con el objetivo de determinar el porcentaje de N en las mismas. Las muestras de base del tallo fueron picadas y secadas en estufa para analizar el contenido de N-NO₃.

Se utilizó un metro lineal para estimar absorción total y ocho metros lineales para determinar el rendimiento y sus componentes. En el metro lineal se midió el número de plantas totales, número de plantas con choclo, peso total fresco, número de choclos, peso de choclos y peso de granos. Luego, se estimó la concentración de N de la forma mencionada previamente. Para los ocho metros lineales se midió el número de plantas totales, número de espigas, peso de espigas, número promedio de carreras por espigas, peso de grano, humedad de la muestra y peso de 200 semillas (se realizaron dos conteos).

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con 4 bloques y 11 tratamientos para cada sitio. El DBCA se caracteriza por controlar una fuente de variación conocida en el campo, y todas sus entradas aparecen una en cada bloque.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \rho_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i : 1, 2, 3, \dots, 11$$

$$j : 1, 2, 3, 4$$

Dónde,

y_{ij} : variable de respuesta, (ejemplo rendimiento (kg ha⁻¹))

μ : media general

τ_i : efecto del i-ésimo tratamiento

ρ_j : efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} : error experimental

Supuestos:

ε_{ij} iid N (0; σ^2) son variables independientes, idénticamente distribuidas, su distribución es normal, los efectos de tratamientos y bloques son aditivos.

Las comparaciones se realizaron mediante contrastes ortogonales. A continuación se detallan los contrastes planteados para el análisis de los resultados.

Cuadro 3. Contrastes estudiados en el trabajo.

Contrastes	Especificación
C1	Testigo vs. T2 + T3 + T4 + T5
C2	T2 vs. T6
C3	T3 vs. T7 + T8
C4	T4 vs. T9 + T10 + T11

El contraste C1 busca responder si existió respuesta a la fertilización nitrogenada. El contraste C2 responde a la pregunta de cuál es el efecto que tiene agregar 60 Kg N ha⁻¹ de N a V10 sin el agregado de N a V6. El contraste C3 plantea la incógnita si para dosis de 120 Kg N ha⁻¹ es conveniente realizar la aplicación en V6 respecto a V10 o fraccionado. Por último, el contraste C4 busca responder si hay diferencias en la aplicación de dosis muy elevadas (180 Kg N ha⁻¹) según el momento.

Se realizaron modelos de regresión lineal y cuadrática. Se utilizó el software Infostat versión estudiantil del año 2017.

3.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Dada la variabilidad de las precipitaciones y las diferencias en los eventos de riego en los dos sitios, se decidió presentar los datos por separado, para una mayor comprensión de lo ocurrido en cada caso. En ambos casos se logró el objetivo de cumplir con los requerimientos hídricos del cultivo de maíz, los cuales según Giménez (2004) se estiman entre 450 y 600 mm de agua durante todo el ciclo del cultivo.

La zafra 2015-16 en el Sitio 1 se caracterizó por ser una zafra con precipitaciones inferiores al promedio histórico (1961- 1990), registrándose un total de precipitaciones (setiembre a marzo) de 482 mm, mientras el registro histórico se encuentra en 762 mm, mostrando entonces una diferencia de 280 mm.

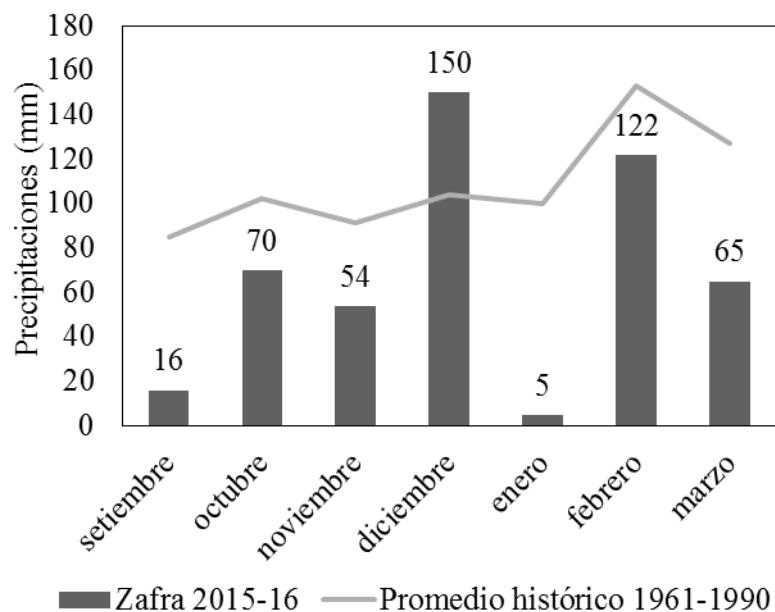


Figura 2. Precipitaciones mensuales del período de experimentación en relación al promedio histórico para el Sitio 1.²

En noviembre, momento en que se dio inicio al experimento y en el cual el cultivo se encontraba aún en etapa vegetativa, específicamente en estado V6, si bien las precipitaciones fueron inferiores al promedio histórico, el cultivo venía con un buen estado hídrico del mes de octubre, debido a que las lluvias se distribuyeron homogéneamente en este mes, a pesar de que también fueron inferiores al promedio registrado históricamente. Además, durante el mes de noviembre se regaron 14 mm, los cuales sumado a las precipitaciones que fueron de 54 mm, sumaron un total de 68 mm.

En diciembre, momento en que el cultivo se encontraba en el período crítico (en torno a floración), las precipitaciones fueron superiores al promedio histórico, lo cual sumado al riego realizado en este mes, de 43 mm, permitió un excelente aprovechamiento del agua, permitiendo cubrir las necesidades del cultivo, y no comprometiendo el rendimiento potencial.

Luego en enero, las precipitaciones fueron muy escasas, con una diferencia de 95 mm respecto al promedio histórico, pero esta limitante se superó con el uso de riego, regándose en este mes 126 mm.

En febrero las precipitaciones aumentaron respecto al mes anterior y, si bien fueron inferiores al promedio histórico, el uso de riego de 56 mm, sumado a las

² Estación Meteorológica de Mercedes. 2017. Registros climáticos anuales (sin publicar).

precipitaciones de 122 mm, permitió que el cultivo no se vea perjudicado y que se siga desarrollando en condiciones hídricas óptimas.

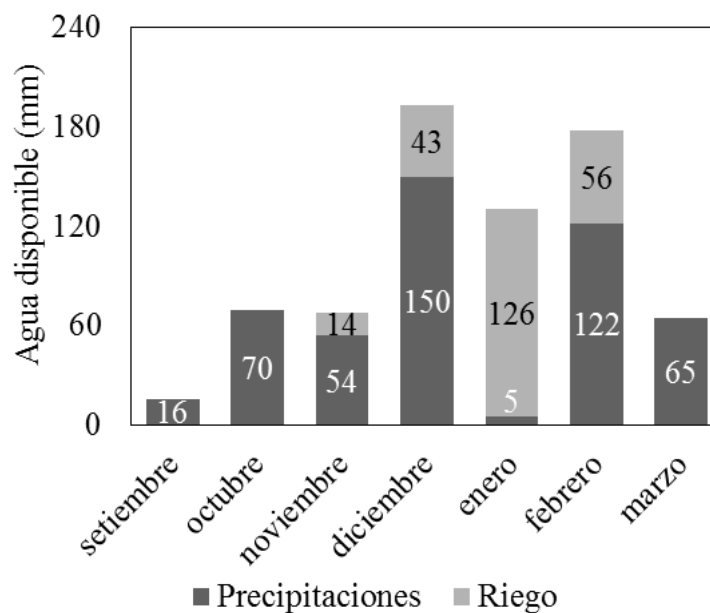


Figura 3. Oferta hídrica para el período de experimentación en el Sitio 1.

Se regaron en total 239 mm, lo cual sumado a las precipitaciones ocurridas en la zafra 15/16, de 482 mm, dieron un total de agua disponible para el cultivo de 721 mm, cubriendo las necesidades hídricas para este cultivo.

La zafra 15/16 en el Sitio 2 se caracterizó por poseer un régimen de precipitaciones inferior al registrado históricamente (1961-1990) en la localidad de Colonia; siendo 118 mm inferior en la primera (721 mm vs. 603 mm).

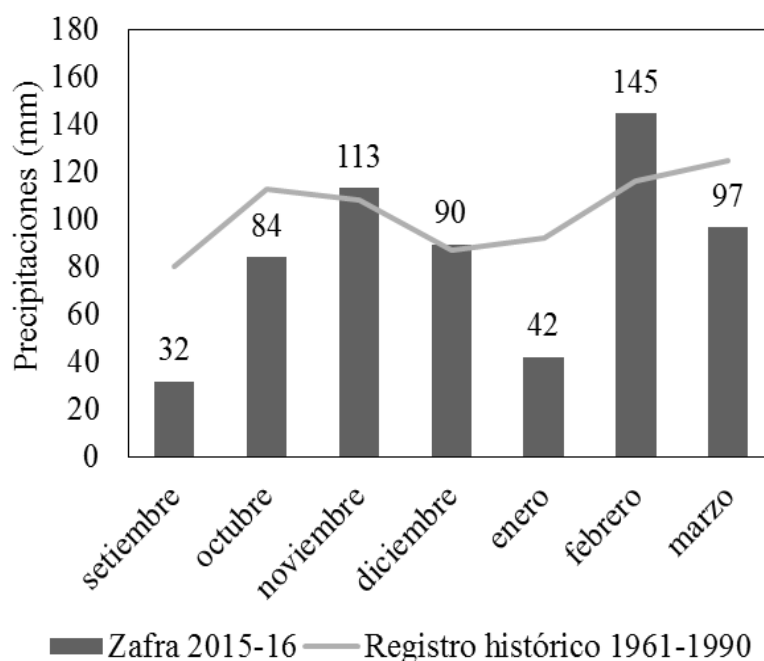


Figura 4. Precipitaciones mensuales del período de experimentación en relación al promedio histórico para el Sitio 2.³

Al mes de diciembre, mes en el que se instaló el experimento, encontrándose el cultivo en etapa vegetativa, se contaba con buena disponibilidad de agua ya que las precipitaciones durante el mes de noviembre superaron el registro histórico. Sumado a esto, en diciembre hubo varios eventos de precipitaciones y se regaron 50 mm. Todo esto en conjunto favoreció al cultivo desde el punto de vista hídrico.

En enero, momento en el que el cultivo se encontraba en el periodo crítico, se registraron bajas precipitaciones en relación a la media histórica, siendo esta diferencia de 50 mm, lo cual, sumado a el riego de 80 mm, dieron un total de 130 mm para este mes.

En febrero las precipitaciones fueron superiores al promedio histórico lo cual favoreció a que el cultivo se siga desarrollando en buenas condiciones hídricas, además se regaron en este mes 20 mm.

³ Estación Meteorológica de Colonia. 2017. Registros climáticos anuales (sin publicar).

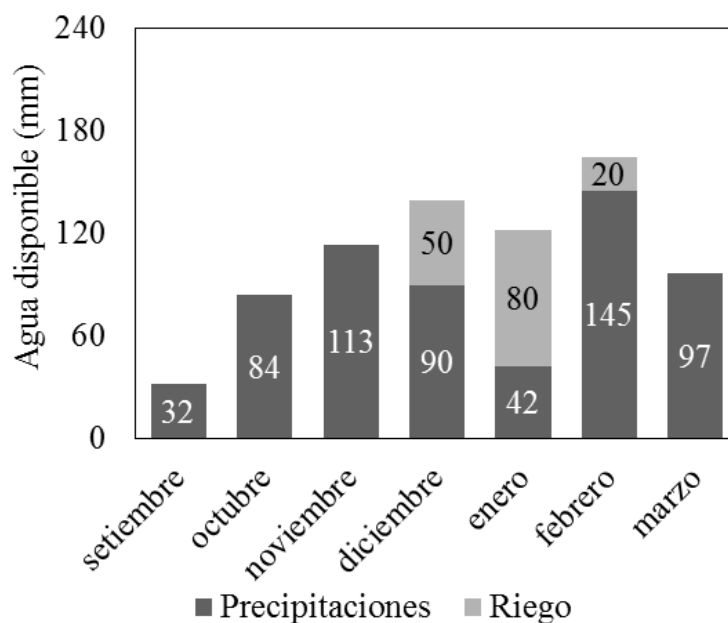


Figura 5. Oferta hídrica para el período de experimentación en el Sitio 2.

Se regaron en total 150 mm, lo cual sumado a las precipitaciones ocurridas en la zafra da un total de 753 mm, superando ampliamente los requerimientos hídricos que posee el cultivo durante todo su ciclo.

Las temperaturas registradas en los dos sitios para la zafra 15/16, en los primeros meses del ciclo del cultivo (setiembre- noviembre) fueron levemente inferiores al promedio histórico para la localidad de Mercedes, aumentando estas diferencias para el caso de Colonia. A partir de noviembre las temperaturas en ambos sitios comienzan a hacerse superiores a las registradas históricamente, siendo esta diferencia más acentuada para el caso de Mercedes.

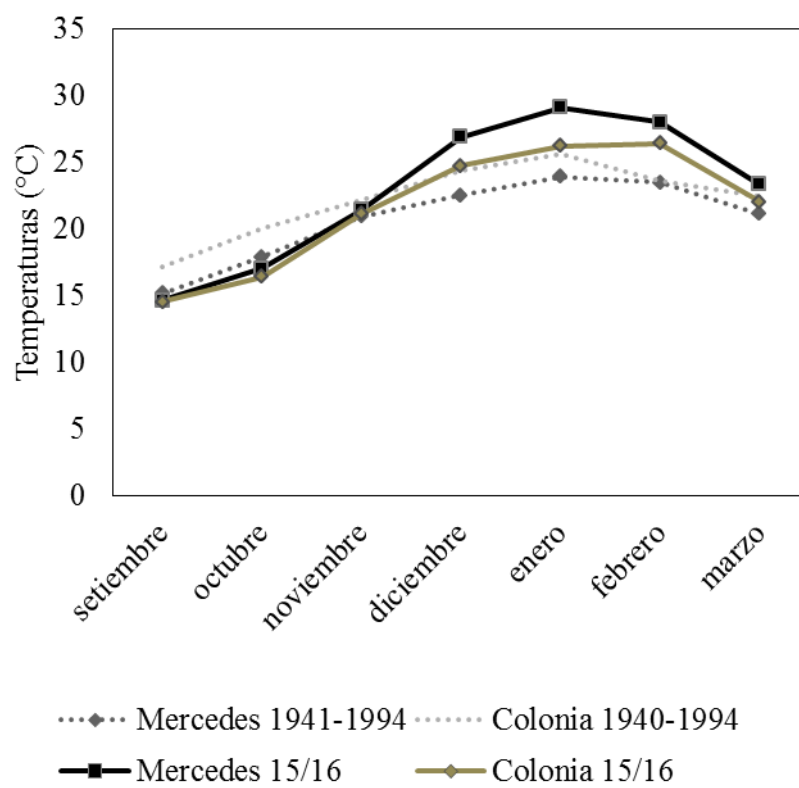


Figura 6. Variación de la temperatura durante el período de experimentación.^{2,3}

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RENDIMIENTO EN GRANO Y COMPONENTES

A continuación, se presenta un cuadro de las observaciones mínimas, promedio y máximas en rendimiento y sus componentes obtenidos en cada sitio experimental, como forma de poder caracterizar generalmente cada uno de estos sitios en cuanto a este aspecto.

Cuadro 4. Observaciones mínimas, promedio y máximas de rendimiento y sus componentes para cada sitio experimental.

	Sitio 1			Sitio 2		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Rend. en grano (kg ha ⁻¹)	5.715	10.264	14.317	4.172	12.322	16.133
PG (mg)	235	277	299	291	327	369
No. granos m ⁻²	2.273	3.684	5.022	1.420	3.744	4.808
Espigas pl. ⁻¹	1,0	1,4	1,8	0,5	1,3	1,8
No. granos espiga ⁻¹	304	378	486	334	395	495
Rend. espiga ⁻¹ (g)	76	105	134	98	129	151
No. granos pl. ⁻¹	318	509	710	183	514	687
Pl. m ⁻²	6,4	7,3	8,6	6,3	7,3	8,8

Si se comparan los resultados obtenidos con trabajos nacionales en condiciones de riego, se observa que los valores promedios son superiores a los obtenidos por Ceriani e Inella (2012), quienes obtuvieron un rendimiento promedio de 8.690 Kg ha⁻¹. Sin embargo, estos rendimientos se encuentran por debajo del rendimiento medio reportado por Abraham y Falco (2016) el cual fue de 14.158 Kg ha⁻¹.

Las observaciones de máximos rendimientos fueron superiores al rendimiento máximo encontrado por Perdomo y Hoffman (2011), el cual fue de 9.851 Kg ha⁻¹ y se ubicaron en el entorno al máximo rendimiento alcanzado por Giménez (2012), el cual fue 15.310 Kg ha⁻¹. Se destaca el alto potencial de los dos sitios experimentales utilizados en este estudio.

En cuanto a los componentes del rendimiento, las espigas por planta, el número de granos por unidad de superficie (NG) y el número de granos por planta, fueron los que tuvieron mayor variación en ambos sitios (valores mínimos respecto a los máximos). La mayor variabilidad en estos componentes puede adjudicarse a diferencias en la disponibilidad de N logradas mediante distintos tratamientos de fertilización; esto es así puesto que tal como mencionan Uhart y Echeverría (1997) cuando el cultivo se

encuentra bajo un estrés nitrogenado se pueden producir fallas en fertilización y/o incrementos en el aborto de granos, mientras que frente a altas disponibilidades de N el cultivo aumenta principalmente los componentes mencionados. El peso de grano (PG), rendimiento por espiga y el número de granos por espiga fueron los componentes menos variables. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Maturano (2002) quien menciona que un estrés de N afecta en menor medida el PG que el NG.

Diversos factores pueden haber influido en las diferencias en rendimientos entre sitios experimentales, dentro de estos se destaca la diferencia en tipo de suelo, los menores contenidos de C orgánico y la menor capacidad de aporte de N por parte del suelo en el Sitio 1 (cuadro 5). Parte de las diferencias en suelo pueden ser atribuidas a la edad de la chacra. El Sitio 2, tuvo tres años de pradera y dos años posteriores de agricultura antes de la siembra de maíz, por lo que puede ser considerada una chacra nueva según Perdomo y Hoffman (2011), quienes observaron claras diferencias en rendimientos para chacras con más de cuatro años de agricultura continua sin laboreo, en comparación con chacras de cuatro años o menos. Con este mismo criterio, el Sitio 1 es considerado una chacra vieja ya que hace más de cuatro años que se realiza agricultura continua. La edad de la chacra genera diferencias en la capacidad de aporte de N y por ende en el rendimiento.⁴ Esto fue evidente al estimar la capacidad de aporte de N de cada sitio (estimada como los kilogramos totales de N absorbidos por el testigo dividido la duración del cultivo), en donde el Sitio 1 tuvo una menor capacidad de aporte de N (cuadro 5) y también menores rendimientos promedios y máximos que el Sitio 2 (cuadro 4).

Cuadro 5. Características específicas de cada sitio experimental.

	Sitio 1*	Sitio 2**
Suelo	Brunosol Eutrico Lúvico	Brunosol Eutrico Típico
Edad de chacra (año)***	7	2
Carbono orgánico (%) ****	1,64	2,49
Capacidad de aporte de N (Kg N ha ⁻¹ día ⁻¹)	0,5	0,8

*La Perdiz

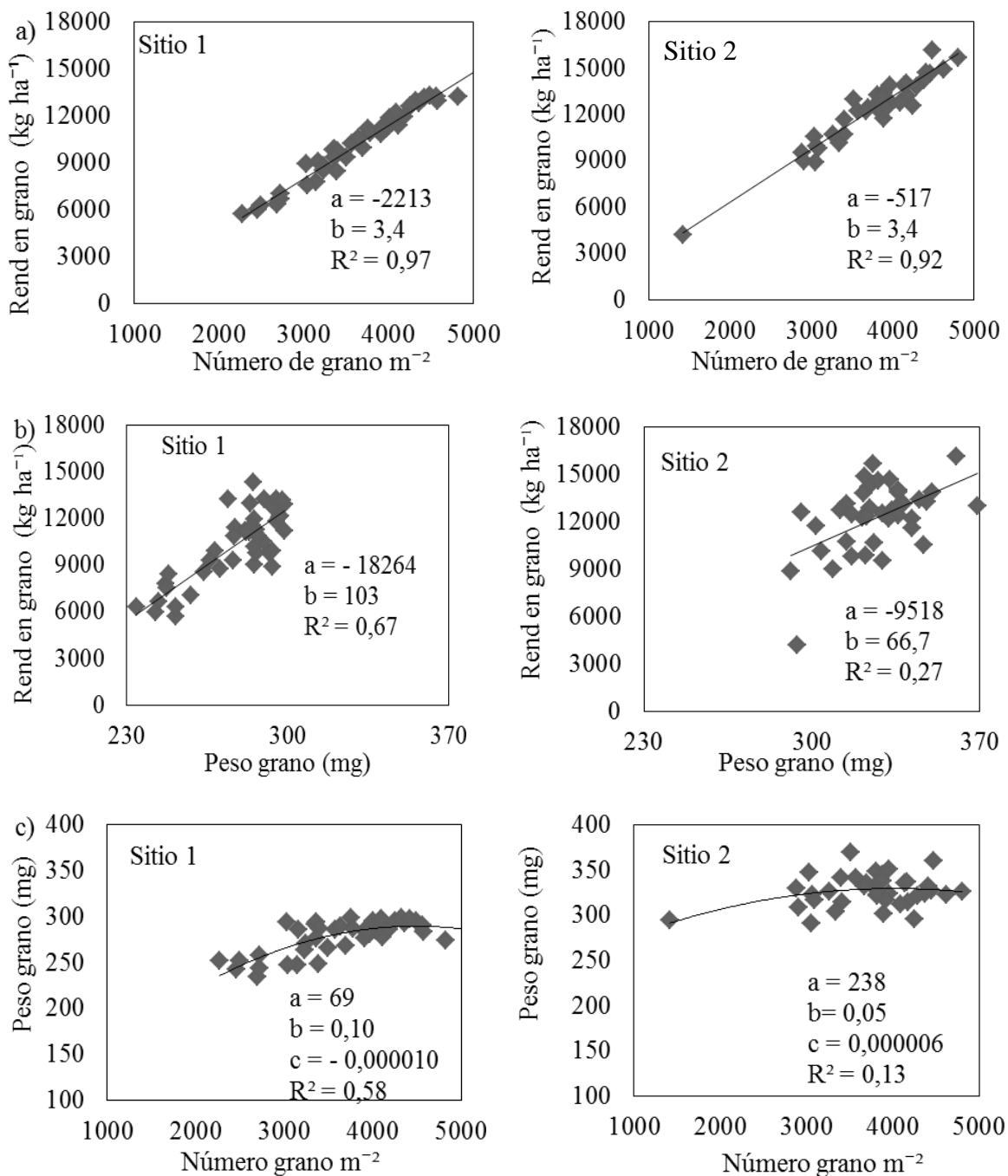
**Chacra 20

*** Años de agricultura pos- pastura

****Análisis a la siembra

A continuación, se presenta las relaciones entre el rendimiento en grano y sus principales componentes para los dos sitios experimentales.

⁴ Hoffman, E. M. 2018. Com. personal.



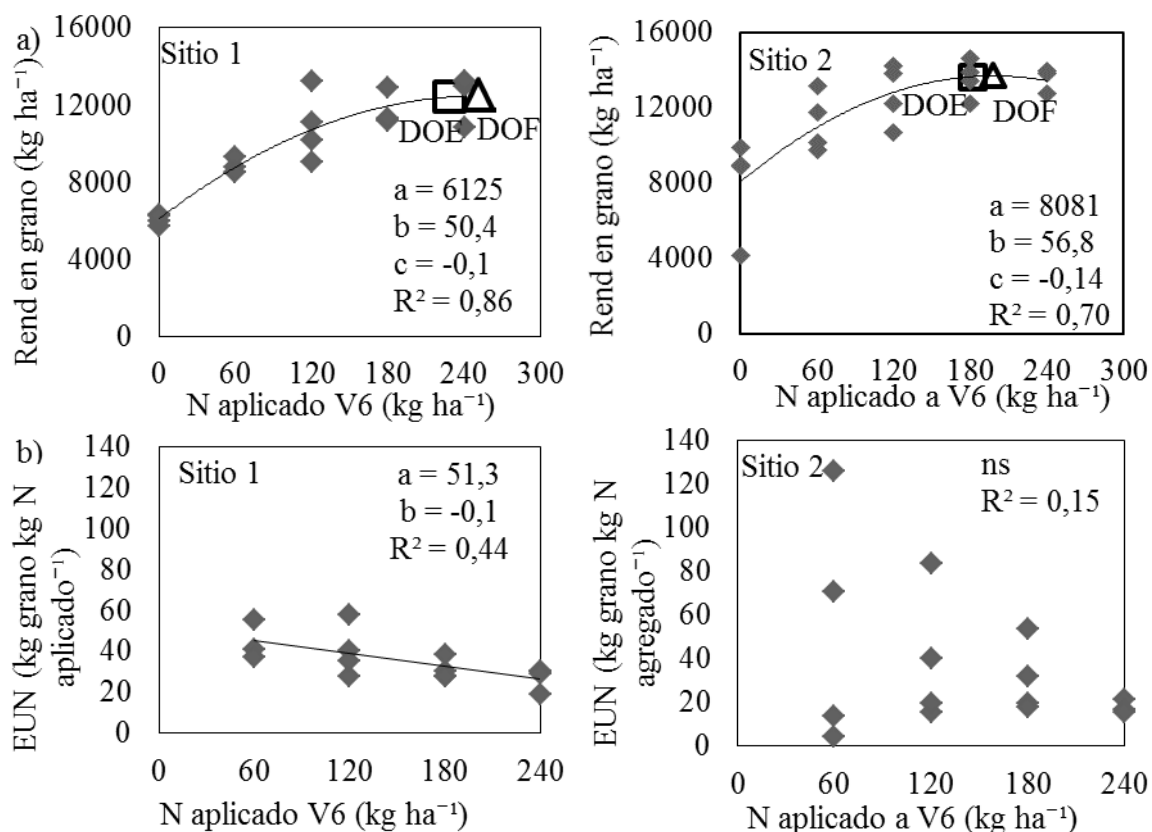
a) Relación entre rendimiento y número de grano; b) Relación entre rendimiento y peso de grano; c) Relación entre número de grano y peso de grano. Para los dos sitios experimentales.

Figura 7. Relación entre rendimiento y sus principales componentes.

El NG fue el componente del rendimiento que mostró una mayor relación con el rendimiento, tanto para el Sitio 1 ($R^2 = 0,97$) como para el Sitio 2 ($R^2 = 0,92$), existiendo una relación lineal entre rendimiento y NG para los dos sitios experimentales (figura 7a). Esto coincide con los resultados encontrados por Ceriani e Inella (2012), Abraham y Falco (2016) en condiciones de riego a nivel nacional, quienes señalan que el NG es el componente que mejor explica el rendimiento en el cultivo de maíz. También coincide con Andrade et al. (1996) quienes evidencian que los rendimientos en grano elevados en maíz dependen de obtener un alto número de granos por unidad de superficie. La relación entre rendimiento y NG fue mayor a la observada para rendimiento y PG, principalmente en el Sitio 2 donde la correlación entre estas últimas dos variables fue de 0,27. Los resultados observados en el Sitio 2 concuerdan con los obtenidos por Ceriani e Inella (2012), Abraham y Falco (2016) quienes encontraron que en condiciones de riego el PG mostró no ser un factor determinante del rendimiento. Los componentes NG y PG estuvieron relacionados entre sí en los dos sitios experimentales, aunque la relación fue mayor en el caso del Sitio 1. En ambos sitios la relación fue de tipo cuadrática, donde a medida que aumentó el NG aumentó el peso de los mismos hasta cierto punto, donde al seguir aumentando el NG no provocó aumentos en el PG. Es esperable que con NG muy elevados el peso de los mismos disminuya, ya que según 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.

4.2. RESPUESTA AL AGREGADO DE N EN V6

Existió un efecto significativo del agregado de N a V6 en ambos sitios, con una respuesta cuadrática del rendimiento a la dosis agregada ($p < 0,05$).



ns = no significativo.

a) Rendimiento en función de la dosis agregada a V6 con sus respectivas dosis óptimas físicas (DOF) y dosis óptimas económicas (DOE); b) Eficiencia en el uso de N (EUN) en función de la dosis de N agregada a V6. Para los dos sitios experimentales.

Figura 8. Respuesta en rendimiento y EUN en función de la dosis a V6.

En las figuras 8a y 8b se muestra la respuesta en rendimiento y la EUN para los dos sitios experimentales. La DOF en el Sitio 1 fue de 252 Kg N ha⁻¹ con un rendimiento de 12.470 Kg ha⁻¹ y una EUN de 25 Kg grano por Kg de N aplicado mientras que para el Sitio 2 la DOF fue de 189 Kg N ha⁻¹ con un rendimiento de 13.698 Kg ha⁻¹ y una EUN de 29 Kg grano por Kg N aplicado. La DOE fue 228 Kg N ha⁻¹ en el Sitio 1 con un rendimiento de 12.415 Kg ha⁻¹ y una EUN de 28 Kg grano por Kg N agregado, mientras que en el Sitio 2 fue 181 Kg N ha⁻¹ con un rendimiento de 13.659 Kg ha⁻¹ y una EUN de 31 Kg grano por Kg N aplicado. La DOE fue calculada en base a un precio de UAN de 317 U\$ por tonelada y un precio de maíz de 210 U\$ por tonelada. Las DOF y DOE encontradas para los dos sitios experimentales son superiores a las

obtenidas por Perdomo y Hoffman (2011), Ceriani e Inella (2012), Abraham y Falco (2016) a nivel nacional en condiciones de riego.

Las respuestas obtenidas en los dos sitios experimentales son superiores a las encontradas por Pedrol et al. (2008) en EEA Oliveros, Argentina, donde se probó la respuesta al agregado de N en V6 para las mismas dosis en estudio (60, 120, 180 y 240 Kg N ha⁻¹). Si se comparan las respuestas obtenidas en este trabajo con las respuestas obtenidas por Ceriani e Inella (2012) estas también fueron superiores, pero cabe aclarar que las dosis evaluadas fueron diferentes, ya que estos autores evaluaron la respuesta al N aplicado en V6 para dosis de 50, 100, 150 y 200 Kg N ha⁻¹.

Tanto para el Sitio 1 como para el Sitio 2, era de esperarse una alta respuesta a la fertilización nitrogenada ya que los valores de N-NO₃ en suelo a V6 fueron inferiores a 25 ppm, nivel considerado crítico por Perdomo y Hoffman (2011) en condiciones de riego. En el Sitio 1 el contenido de N-NO₃ en suelo a V6 fue de 11 ppm, mientras que en el Sitio 2 este valor se ubicó en 9 ppm. Si bien los niveles de N-NO₃ a V6 fueron muy similares, las diferencias en la capacidad de aporte de N entre sitios experimentales podrían estar explicando las diferencias observadas en respuesta.

Los resultados de EUN para ambos sitios se encuentran dentro de los reportados por Sainz Rozas et al., citados por Sainz Rozas et al. (2009) quienes mencionan que para N se han determinado EUN que varían desde 4 a 54 Kg de grano por Kg de N aplicado según dosis, nivel inicial de N, condiciones ambientales, tecnología de aplicación, etc. Como se observa en la figura 8, en el Sitio 1 la mayor EUN se obtuvo con la menor dosis de fertilización, lo cual concuerda con lo mencionado por Uhart y Andrade (1995) quienes afirman que con las menores dosis de fertilización existe una mayor EUN debido a que en estas condiciones existe una mayor removilización del N de los órganos vegetativos a la mazorca. Sin embargo, en el Sitio 2 no se encontró un efecto significativo de la dosis en la EUN.

Como se mencionó previamente, las DOF en ambos sitios experimentales fueron elevadas y, tal como era esperable (teniendo en cuenta la capacidad de aporte de N de cada sitio) en el Sitio 1 se obtuvo una DOF mayor que en el Sitio 2, alcanzándose con esta dosis un rendimiento menor en comparación al alcanzado con la dosis óptima en el Sitio 2. Sin embargo, tal como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, existen riesgos de pérdida de N asociados a una única aplicación. Sumado a esto, es necesario brindar una adecuada disponibilidad de N en el período de rápida absorción de nutrientes por parte del cultivo. Todo esto lleva a pensar en el fraccionamiento de la dosis (estudiado en la siguiente sección) como una posible solución al agregado de dosis tan elevadas de N sin que esto implique pérdidas de rendimiento, y permita además una mejora en la EUN.

Cuadro 6. Efecto de la dosis de N agregada a V6 en los componentes del rendimiento para los dos sitios experimentales.

		0	60	120	180	240	C1
S I T I O 1	Rend. en grano (kg ha ⁻¹)	6069	9790	10906	11667	12572	<0,0001
	PG (mg)	245	276	286	292	282	<0,0001
	Nro. granos m ⁻²	2481	3523	3809	3995	4451	<0,0001
	Espigas m ⁻²	7,36	9,37	10,44	11,39	11,06	0,0001
	Rend. espiga ⁻¹ (g)	83	105	104	103	116	<0,0001
	Carreras espiga ⁻¹	13,9	14,65	14	14,15	14,65	0,0684
	Pl. m ⁻²	7,28	7,11	7,2	7,11	7,57	0,8884
		0	60	120	180	240	C1
S I T I O 2	Rend. en grano (kg ha ⁻¹)	7979	11206	12742	13537	13602	<0,0001
	PG (mg)	304	309	319	339	333	0,0149
	Nro. granos m ⁻²	2611	3625	3806	4000	4036	0,0002
	Espigas m ⁻²	6,9	9,0	8,9	10,6	10,7	0,0019
	Rend. espiga ⁻¹ (g)	115	128	137	129	125	0,0264
	Carreras espiga ⁻¹	13,7	14,8	13,9	14,5	14,2	0,0539
	Pl. m ⁻²	7,3	7,1	7,6	7,1	7,6	0,7789

Como se observa en el cuadro 6, tanto para el Sitio 1 como para el Sitio 2, el contraste C1 fue significativo para PG, NG, rendimiento.espiga⁻¹ y espigas.m⁻². Esto quiere decir que el N tuvo un efecto en la mayoría de los componentes del rendimiento para los dos sitios experimentales. Para el caso del Sitio 1 el efecto del agregado de N fue similar en los componentes mencionados, sin embargo, para el caso del Sitio 2, el agregado de N actuó principalmente sobre el NG, principal determinante del rendimiento en el cultivo de maíz (Giménez, 2010).

Dado que el rendimiento en el cultivo de maíz está determinado principalmente por el NG y PG (Cárcova et al., 2003) se estudió cómo variaron estos dos componentes en función de la dosis aplicada a V6 para los dos sitios experimentales.

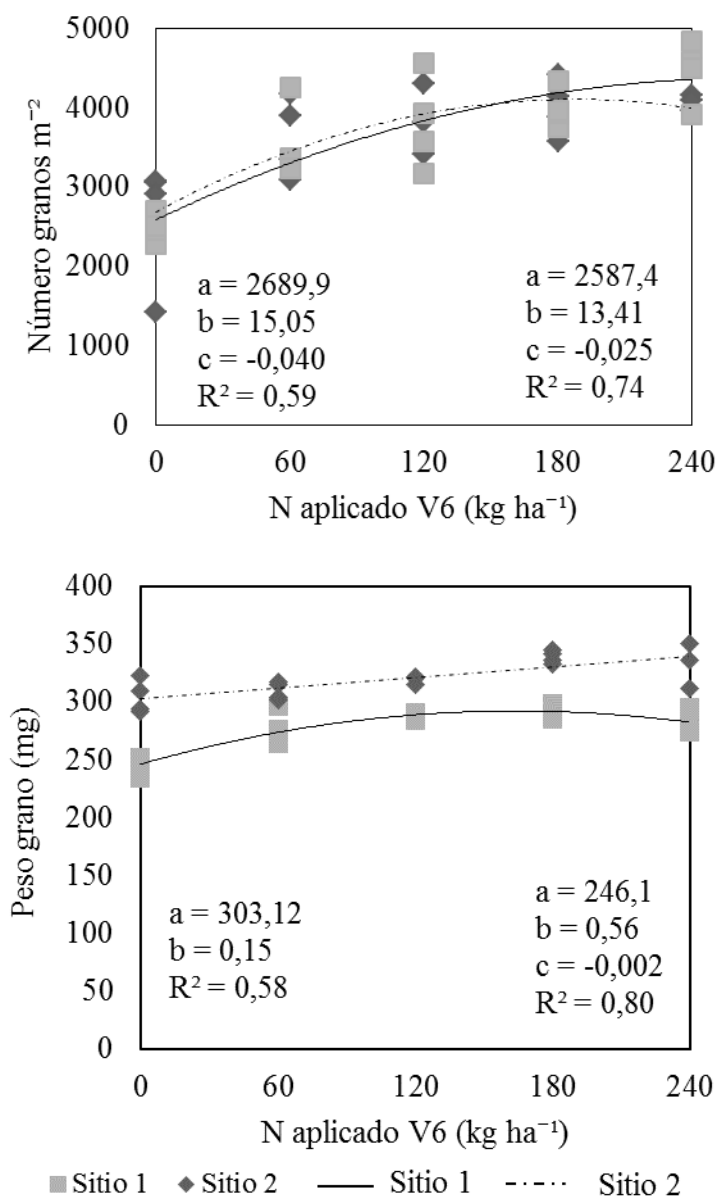


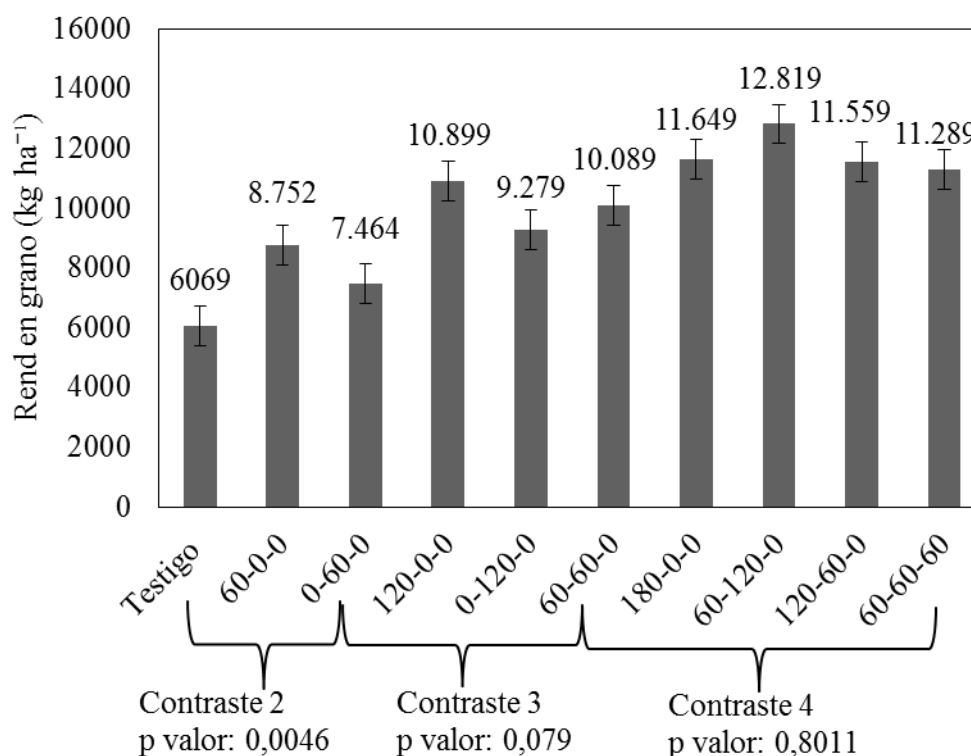
Figura 9. Número de grano y peso de grano según dosis de N agregada a V6 para los dos sitios experimentales.

En la figura 9 se observa que existió respuesta en NG y PG al agregado de N en V6 en los dos sitios experimentales. Los dos principales componentes de rendimiento se correlacionaron con la dosis de N agregada en V6 en ambos sitios. Tanto NG como PG aumentaron en función de la dosis de N agregada, siendo esta magnitud dependiente del sitio. Los resultados coinciden con los reportados por Melchiori et al. (2006) quienes encontraron diferencias en NG entre los tratamientos fertilizados y el testigo, y

observaron una respuesta positiva del PG frente a la dosis de N agregada. En el Sitio 2 la respuesta cuadrática en rendimiento se explica por una disminución en el NG y no en el PG, que siguió aumentando. Sin embargo, en el Sitio 1 disminuyó antes el PG que el NG, por lo que la respuesta cuadrática en rendimiento se explica primero por una disminución en el PG.

4.3. RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ AL MOMENTO DE APLICACIÓN DEL N

Para observar si existió efecto del momento de aplicación de N en el rendimiento y en los componentes del mismo se realizaron tres contrastes ortogonales (descriptos en el capítulo anterior).



Líneas en barras indican error típico.

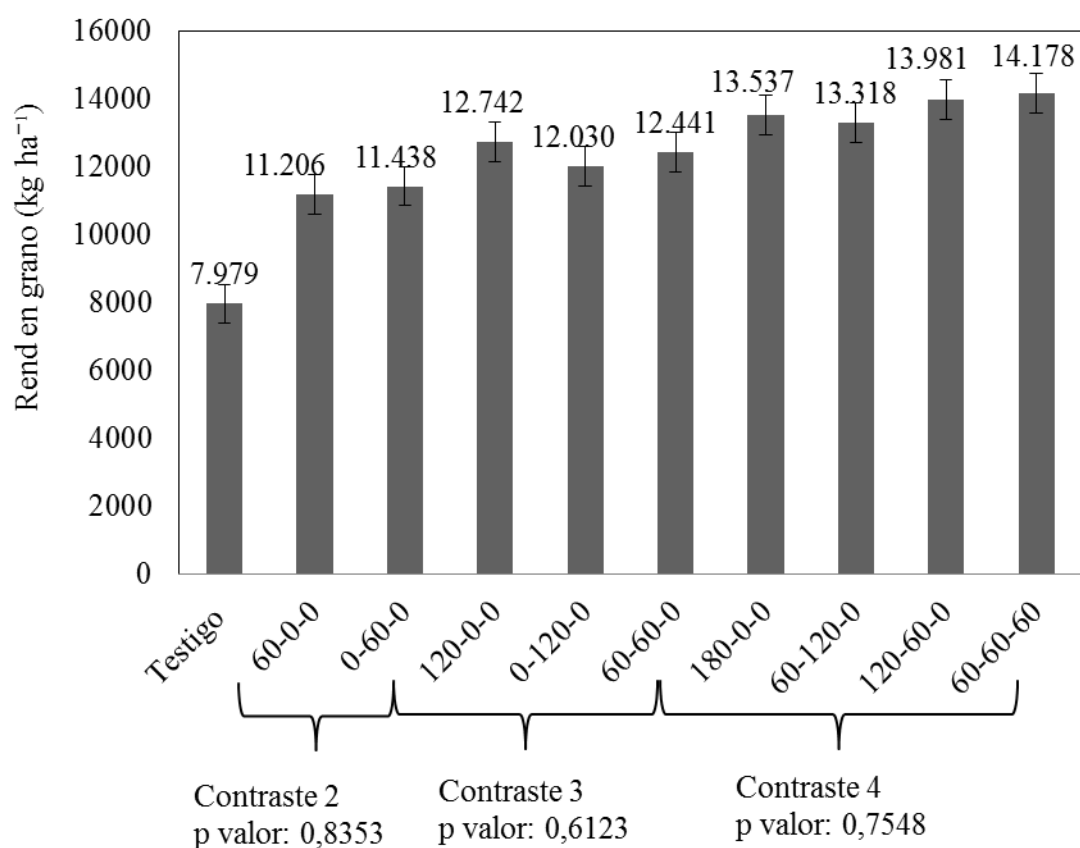
El primer número representa la dosis aplicada a V6, el segundo número la dosis aplicada a V10 y el tercer número la dosis aplicada en F1.

Figura 10. Variación en rendimiento según momento de aplicación del N para el Sitio 1.

Como se observa en la figura 10, en el Sitio 1 el contraste C2 fue el único estadísticamente significativo, lo que indica que la aplicación de 0-60-0 (7.464 Kg ha⁻¹) no fue tan efectiva como la de 60-0-0 (8.752 Kg ha⁻¹). Esto concuerda con lo reportado por Scharf et al. (2002), quienes mencionan que puede haber disminuciones del 3 % de

rendimiento cuando las aplicaciones se realizan en estadios avanzados del cultivo (V10-V12). Sin embargo, los contrastes ortogonales C3 y C4 no fueron estadísticamente significativos, lo que indicaría que, con dosis mayores, tanto de 120 Kg N ha⁻¹ como de 180 Kg N ha⁻¹ totales, no hay diferencias en rendimiento si se aplica más tarde o se fracciona la dosis. Sin embargo, hay una tendencia (p valor= 0,079) a la obtención de mayores rendimientos con la aplicación de 120-0-0 respecto a 0-120-0.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en EUN entre la aplicación de 60-0-0 y 0-60-0 siendo de 45 y 23 Kg de grano por Kg de N aplicado en el primer y segundo caso respectivamente (p-valor= 0,0046). Los resultados muestran que con la aplicación de 60 Kg N ha⁻¹ en V6 en lugar de la misma dosis en V10 la respuesta en rendimiento es mayor y por ende la EUN también.



Líneas en barras indican error típico

El primer número representa la dosis aplicada a V6, el segundo número la dosis aplicada a V10 y el tercer número la dosis aplicada en F1.

Figura 11. Variación en rendimiento según momento de aplicación del N para el Sitio 2.

Para el Sitio 2 ninguno de los contrastes ortogonales fue significativo, es decir, que aplicar una misma dosis fraccionada o más tarde en el ciclo del cultivo no implicó

en este sitio pérdidas de rendimiento (figura 11). Esto sugiere que es posible aplicar una misma dosis fraccionada, o más tarde en el ciclo del cultivo sin que esto implique pérdidas de rendimiento. Esto concuerda con lo mencionado por Ceriani e Inella (2012), quienes manifiestan que, en condiciones de riego, un estrés nitrogenado inicial (hasta V10) puede ser tolerado sin deprimir el rendimiento si se agrega N a V10, y concuerda también con sus resultados, ya que estos autores no encontraron diferencias entre aplicar 100 Kg N ha^{-1} en V6, en V10 o fraccionado, aunque obtuvieron el rendimiento máximo cuando se fraccionó la dosis. Los resultados obtenidos para el contraste C4 concuerdan con Abraham y Falco (2016), quienes no encontraron diferencias significativas entre aplicar 180 Kg N ha^{-1} en V6 o fraccionado en V6-V10.

La menor capacidad de aporte de N del Sitio 1 respecto al Sitio 2 puede explicar parte de las diferencias observadas en la respuesta entre sitios. En este sentido en el Sitio 1 cuando se aplicaron 0-60-0 puede haberse llegado “tarde” con la aplicación, es decir, la oferta de N a V6 no fue suficiente para cubrir las demandas del cultivo y con la dosis aplicada en V10 no se logró compensar la falta de N inicial. Sin embargo, cuando las dosis son mayores, aunque se aplique en V10 (tardíamente) o fraccionado, el cultivo es capaz de compensar esa falta de N inicial con una mayor dosis tardía o fraccionada. Por otro lado, en sitios con alta capacidad de aporte de N, el hecho de no agregar N a V6 no estaría limitando la respuesta a la fertilización a V10.

El fraccionamiento de dosis altas de N permitiría evitar los riesgos asociados a la ocurrencia de determinadas condiciones climáticas que puedan favorecer las pérdidas de este nutriente. Sumado a esto, tal como se menciona en el capítulo precedente, a nivel experimental la aplicación se realizó con mochila en el surco, pero a nivel de chacra aplicaciones con dosis muy elevadas de UAN en un único momento producirían quemado en el cultivo, lo que podría afectar el rendimiento. El fraccionamiento permitiría disminuir la magnitud del daño causado por la aplicación de altas dosis de UAN en un solo momento sin afectar la nutrición nitrogenada del cultivo. Cuantificar el posible efecto del quemado por UAN en el rendimiento es necesario para evaluar esta posible ventaja del fraccionamiento.

Cuadro 7. Efecto del momento de aplicación de N sobre los componentes del rendimiento para el contraste C2 (60-0-0 contra 0-60-0) para los dos sitios experimentales.

	Sitio 1			Sitio 2		
	60-0-0*	0-60-0	C2	60-0-0	0-60-0	C2
PG (mg)	276	249	0,0009	309	327	0,1131
No. grano por m ²	3.523	2.996	0,0685	3.625	3.337	0,4736
Espigas por m ²	9,4	7,4	0,0384	9,0	8,2	0,5314
Rend. espiga ⁻¹ (g)	104	100	0,5022	128	133	0,5406
Carreras por espiga	14,7	14,5	0,5225	14,8	13,7	0,0269
Plantas por m ²	7,1	7,2	0,7675	7,1	7,0	0,867

*Dosis a V6-V10- F1

Para el contraste C2 se observa que en el Sitio 1, el menor rendimiento obtenido con la aplicación 0-60-0 respecto a 60-0-0 se explicó por un menor número de espigas por m² que generaron una tendencia a un menor NG y por un menor PG. En el Sitio 2, donde no hubo un efecto del momento de aplicación de 60 Kg N ha⁻¹ totales en el rendimiento, el único componente que presentó diferencias estadísticamente significativas fue las carreras por espiga, pero no llegó a generar diferencias en el NG ni en el rendimiento.

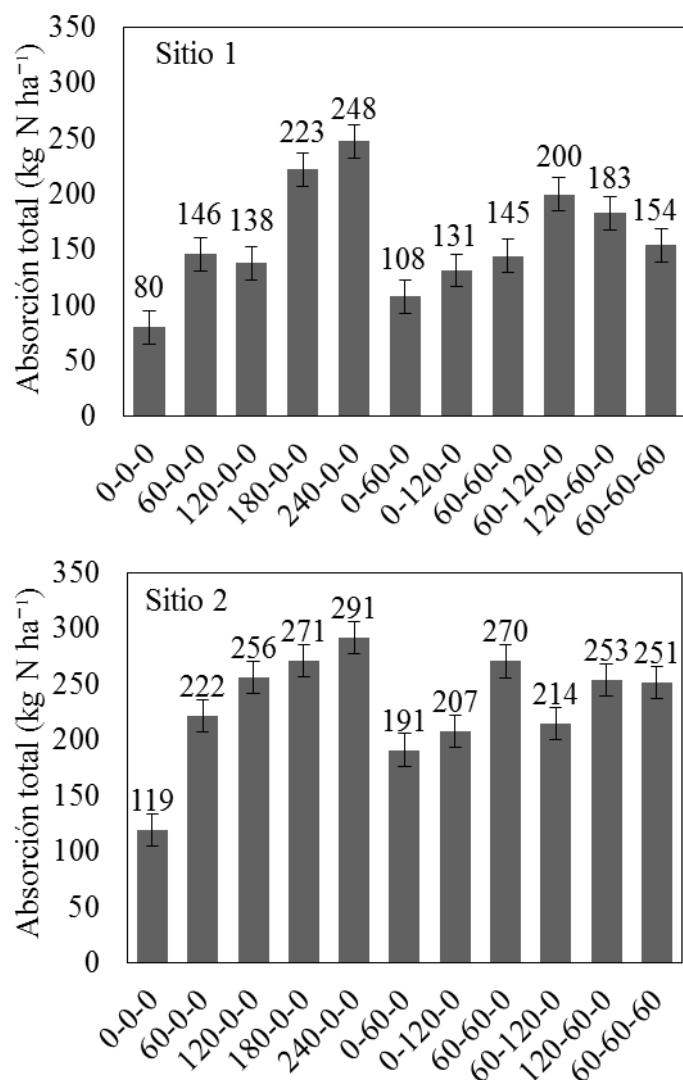
Para los contrastes C3 y C4 al igual que lo ocurrido en rendimiento, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los componentes del rendimiento en ningún sitio experimental.

En cuanto a la respuesta a la fertilización a V10 (estimada como la diferencia en rendimiento entre tratamientos con igual dosis a V6 y con o sin agregado de N a V10, ejemplo 60-60-0 vs. 60-0-0) se observó una importante respuesta en ambos sitios experimentales. La magnitud de la misma cuando se toman para dicho cálculo todos los tratamientos (incluyendo los que no recibieron N a V6) es 2.134 Kg ha⁻¹ en el Sitio 1 y 2.419 Kg ha⁻¹ en el Sitio 2. Sin embargo, cuando se toman en cuenta únicamente los tratamientos que recibieron N a V6, la magnitud de la respuesta es 2.021 Kg ha⁻¹ y 1.520 Kg ha⁻¹ para el Sitio 1 y 2 respectivamente. En concordancia con los trabajos nacionales previos (Perdomo y Hoffman 2011, Ceriani e Inella 2012, Cazabán y Rubio 2014, Abraham y Falco 2016) nuestros resultados confirman la respuesta a la fertilización nitrogenada a V10 cuando los niveles de N no son óptimos, lo que permitiría diferir o particionar la fertilización sin afectar negativamente el rendimiento, siempre y cuando la disponibilidad de N a V6 no sea limitante para el desarrollo inicial del cultivo (figuras 10 y 11). En condiciones de baja disponibilidad inicial, la partición de la fertilización, agregando una dosis baja a V6 y complementando a V10 permitiría el logro de altos rendimientos sin afectar la magnitud de la respuesta a V10.

4.4. ABSORCIÓN DE N POR EL CULTIVO

Existieron diferencias estadísticas en absorción total a MF entre sitios experimentales y entre tratamientos dentro de cada sitio (figura 12). La absorción total a MF para todos los tratamientos fue mayor en el Sitio 2, lo que puede adjudicarse a los mayores rendimientos obtenidos en este sitio respecto al Sitio 1. Los resultados concuerdan con Perdomo et al. (2008) quienes manifiestan que cuando el rendimiento de un cultivo se incrementa, las cantidades de nutrientes que éste demanda también aumentan.

En ambos sitios experimentales la mayor absorción de N se observó con la dosis más elevada (240 Kg N ha^{-1}), lo cual era esperable, ya que, a mayor N brindado al cultivo, el mismo absorbe un mayor contenido del mismo. La mayor absorción encontrada en el Sitio 1, fue de 248 Kg N ha^{-1} para un rendimiento de $10.749 \text{ Kg MS ha}^{-1}$ y en el Sitio 2 este valor fue de 291 Kg N ha^{-1} para un rendimiento de $11.629 \text{ Kg MS ha}^{-1}$. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por García (2005), Perdomo et al. (2008) quienes mencionan que para producir 12 toneladas de MS por hectárea se requieren 275 Kg N ha^{-1} .



Líneas en barras indican error típico.

Figura 12. Absorción total de N a MF según tratamiento para los dos sitios experimentales.

La RAN es la eficiencia de absorción o recuperación aparente del N derivado del fertilizante (Hoffman et al., 2015). Representa el porcentaje de N aplicado como fertilizante que es absorbido por el cultivo y se utiliza como un indicador de la disponibilidad de N (Zemenchick y Albretch, 2002). En este trabajo este indicador se calculó de la siguiente manera: $(\text{absorción del tratamiento} - \text{absorción del tratamiento testigo} / \text{N total aplicado}) * 100$.

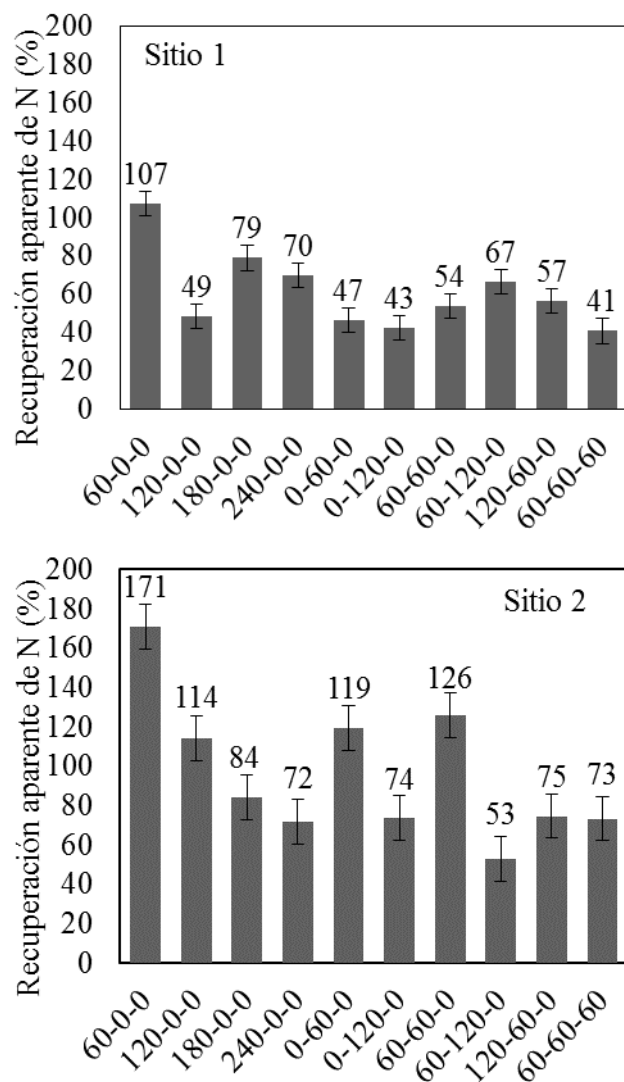
Existieron diferencias estadísticas entre sitios experimentales y entre tratamientos dentro de cada sitio en cuanto a la RAN (figura 13). Se observó una mayor

RAN para la mayoría de los tratamientos (a excepción del tratamiento 60-120-0) en el Sitio 2 respecto al Sitio 1. Hoffman et al. (2015) en una red de ensayos realizada en trigo mencionan que en la medida que se incrementan las necesidades de fertilización y dosis de N se recuperaría una mayor proporción de este nutriente. A partir de esto, era esperable que el Sitio 1 presentara una mayor RAN por tratarse de una chacra con un menor aporte de N, sin embargo, esto no ocurrió, y la menor RAN encontrada en este sitio respecto al Sitio 2 puede ser adjudicada a los menores rendimientos obtenidos en el Sitio 1.

En ambos sitios experimentales con la aplicación de 60-0-0 la RAN superó el 100 %, lo que quiere decir que el cultivo absorbió, además del N aplicado en el fertilizante, una mayor cantidad de N proveniente del suelo que el tratamiento testigo. Este efecto ocurrió para varios tratamientos en el Sitio 2, no así para el Sitio 1, lo cual puede estar explicado por la menor capacidad de aporte de N en este último sitio.

En el Sitio 2 se observa como a medida que aumentó la dosis aplicada en V6 la RAN disminuyó. Sin embargo, en el Sitio 1 la aplicación de 120-0-0 presentó menor RAN que dosis mayores en el mismo estadio, aunque a excepción de esta dosis (120 Kg N ha⁻¹) en este sitio ocurre lo mismo que en el Sitio 2. Los resultados son coincidentes con González Torres et al. (2016) a nivel internacional, quienes evaluando la RAN para distintas dosis de fertilización (0, 50, 175, 300 y 425 Kg N ha⁻¹) encontraron que con la menor dosis de fertilización se obtuvo una RAN estadísticamente superior que el resto de los tratamientos, sin embargo, a mayores niveles de fertilización la RAN disminuyó ya que se superaron los requerimientos de N del cultivo. Hoffman et al. (2015) mencionan que el incremento de la dosis de N en un estadio dado incrementa las cantidades absolutas de N que no son absorbidas por los cultivos, aumentando el riesgo de contaminación.

En ambos sitios experimentales ocurrió que con la aplicación de 60-0-0 la RAN fue mayor que con la aplicación de 0-60-0. Los resultados obtenidos en el Sitio 1 contribuyen a explicar la significancia en rendimiento en el contraste C2 (60-0-0 vs. 0-60-0) ya que a V6 se logró absorber más N del fertilizante que cuando se aplicó la misma dosis en V10. Sin embargo, con dosis de 120 y 180 Kg N ha⁻¹ en ninguno de los sitios experimentales se observaron diferencias estadísticamente significativas en RAN entre aplicar el N en una única aplicación o fraccionar la dosis, aspecto que contribuye a explicar la falta de significancia del contraste C3 (120-0-0 vs. 0-120-0 o 60-60-0) y del contraste C4 (180-0-0 vs. 180 fraccionado).



Líneas en barras indican error típico.

Figura 13. Recuperación aparente de N según tratamiento para ambos sitios experimentales.

4.5. INDICADORES DEL STATUS NITROGENADO

4.5.1 Relación entre indicadores del status nitrogenado

Se analizó la correlación existente entre el porcentaje de N en hoja y los medidores indirectos evaluados en V10 y F1.

Tal como se observa en la figura 14 en estadios tardíos, tanto V10 como F1 se observó correlación significativa entre el N en hoja y las mediciones realizadas con SPAD y LCC, no así con NDVI. Estas correlaciones son similares a las obtenidas por Ceriani e Inella (2012) para SPAD y LCC en condiciones de riego en V10. Los menores R^2 tanto en V10 como en F1 se registraron para NDVI, lo cual era esperable ya que NDVI mide N en planta y no en hoja como los otros indicadores.

Los R^2 fueron menores para todos los indicadores en F1, lo que indicaría que pueden ser utilizados con mayor seguridad en estadios más tempranos como V10. En este sentido, Novoa y Villagrán (2000) encontraron que la correlación entre porcentaje de N en hoja y SPAD disminuyó de estadios vegetativos a floración. Según Piekelek et al. (1995), Sainz Rozas y Echeverría (1998) el SPAD puede ser utilizado como herramienta de diagnóstico en estadios como R4-R6. Sería interesante seguir investigando en esta dirección, ya que son pocos los resultados experimentales encontrados que den evidencia de la utilidad de estos indicadores más allá de V10-V12.

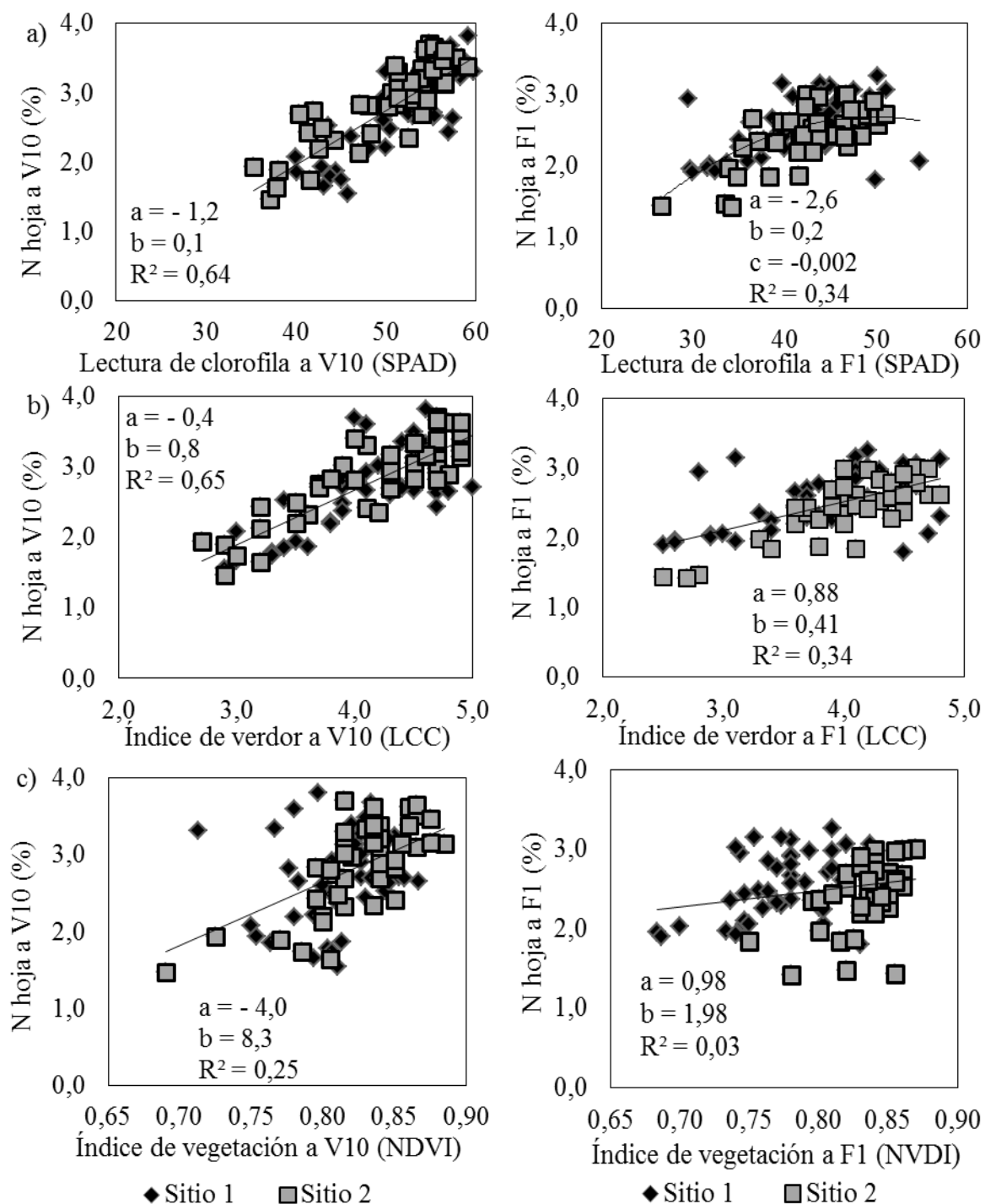


Figura 14. Relación entre porcentaje de N en hoja y los indicadores indirectos.

4.5.2 Probabilidad de predecir la respuesta al N en estadios tardíos

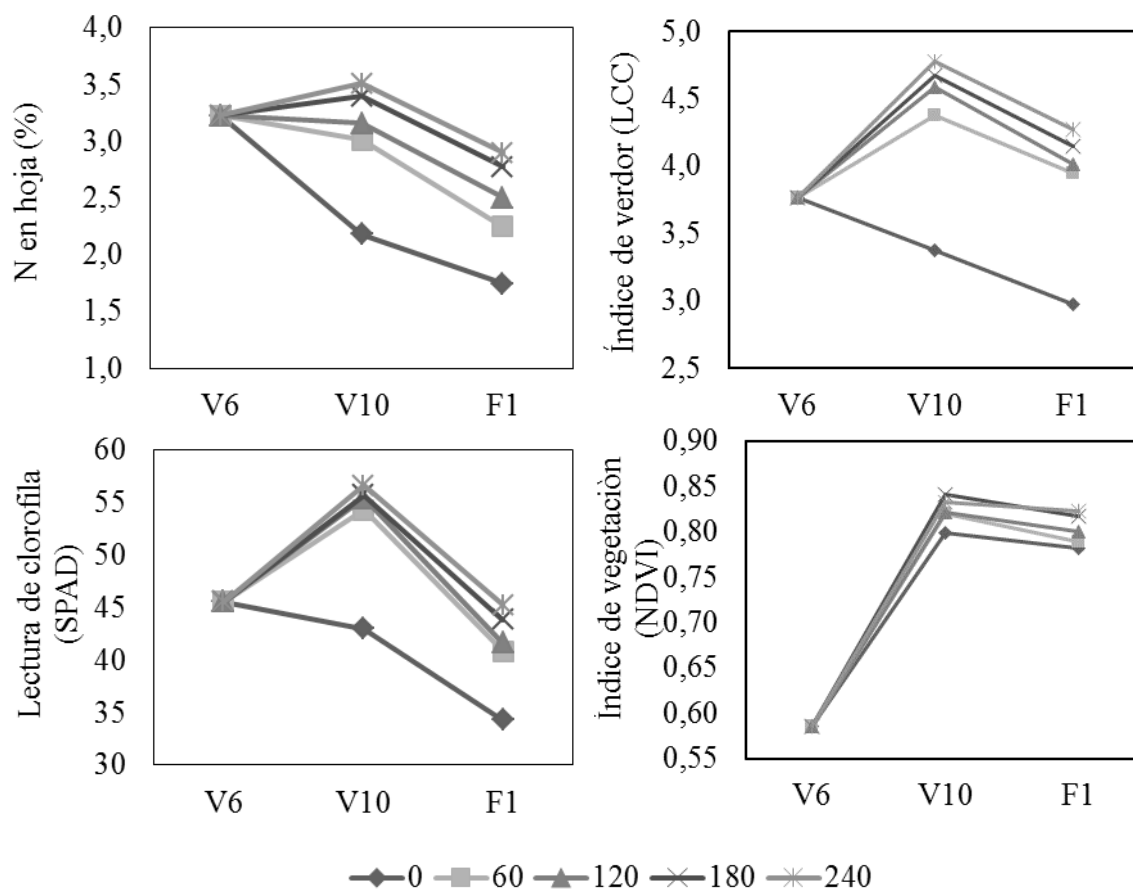
No existió un efecto significativo de la interacción sitio por tratamiento sobre las mediciones de los distintos indicadores del status nitrogenado (p valor =0,10) por lo que se realizó un análisis conjunto de ambos sitios. Existió efecto de la fertilización en la lectura de los indicadores indirectos y en el porcentaje de N en hoja, es decir, estos indicadores respondieron a la fertilización nitrogenada.

En V10, para el porcentaje de N en hoja, como era esperable, los menores valores se registraron para los tratamientos sin agregado de N en V6 y todos los tratamientos fertilizados tuvieron valores significativamente más altos. A su vez, dentro de los tratamientos fertilizados se diferenciaron estadísticamente aquellos que recibieron las menores dosis de fertilización (60-0-0 y 120-0-0) respecto al tratamiento que recibió la mayor dosis a V6 (240-0-0).

En cuanto a los indicadores indirectos en V10, al igual que lo ocurrido para el porcentaje de N en hoja, los menores valores de SPAD, LCC y NDVI se registraron para los tratamientos sin agregado de N en V6 y en el caso de SPAD y LCC los tratamientos fertilizados tuvieron valores más altos; en SPAD estos tratamientos no se diferenciaron estadísticamente entre ellos, mientras que en LCC se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas únicamente entre 60-0-0 y 240-0-0. Para NDVI algunos tratamientos fertilizados no se diferenciaron estadísticamente del testigo.

En F1, para el porcentaje de N en hoja tanto la aplicación de 0-60-0 como 0-120-0 se diferenciaron estadísticamente del testigo, y a su vez, estas dos aplicaciones se diferenciaron estadísticamente entre ellas, obteniéndose un mayor valor en la lectura del indicador con la aplicación de 0-120-0. Lo mismo ocurrió para el caso de LCC. Sin embargo, para el medidor SPAD la aplicación de 0-120-0 tuvo valores mayores que el testigo, explicados por el agregado de N en V10, pero la aplicación de 0-60-0 no se diferenció estadísticamente del testigo. En el caso de NDVI, en este estadio el testigo no se diferenció estadísticamente de otros tratamientos que sí recibieron fertilización, lo cual puede ser adjudicado a un crecimiento suficiente del testigo que saturó la lectura de este indicador.

De lo anterior se concluye que el porcentaje de N en hoja, SPAD y LCC responden a la fertilización nitrogenada y por tanto son herramientas válidas para estimar el status nitrogenado del cultivo, a su vez, LCC fue el indicador que mostró un comportamiento muy similar al mostrado por el porcentaje de N en hoja. Sin embargo, los resultados observados para NDVI muestran poca confiabilidad a la hora de utilizar esta herramienta como estimador del estado nutricional del cultivo.



Dosis en kg N ha^{-1} .

Figura 15. Evolución de las lecturas de porcentaje de N en hoja, SPAD, LCC y NDVI para distintas dosis de N agregadas en V6 para ambos sitios.

4.5.3 Estimación de niveles críticos para los distintos indicadores evaluados

Para determinar los niveles críticos (NC) de los diferentes indicadores se ajustaron curvas de los diferentes modelos con el RR, seleccionando aquellas que presentaron un mayor R^2 y un menor p valor. Todos los indicadores se ajustaron a un modelo lineal-plateau, a excepción de NDVI que presentó un mejor ajuste al modelo cuadrático-plateau.

En V10, los indicadores evaluados se correlacionaron con el rendimiento expresado en forma relativa al rendimiento del testigo; y fue posible establecer niveles críticos a partir de los cuales no se espera respuesta al N (figura 16). Cabe aclarar que para establecer los NC no se tomó en cuenta la aplicación de 0-60-0.

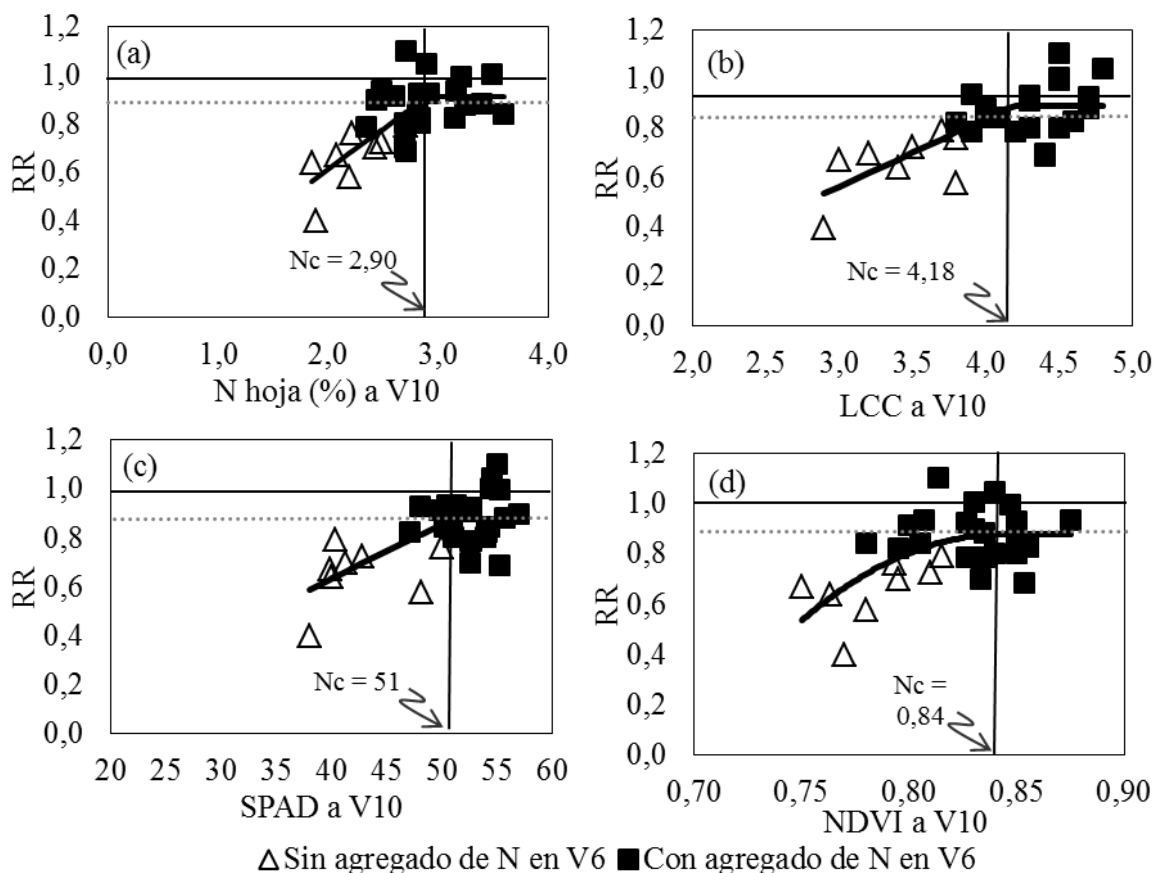
Para el porcentaje de N en hoja se determinó un NC de 2,9. Este valor se ubica por encima del encontrado por otros autores a nivel nacional (Perdomo y Hoffman 2011,

Ceriani e Inella 2012, Cazabán y Rubio 2014) quienes reportan valores en el entorno de 2,1 y 2,5 % para rendimientos similares.

Para SPAD el NC establecido fue 51, valor similar al encontrado por Ceriani e Inella (2012). Sin embargo, es superior al reportado por Perdomo y Hoffman (2011), Cazabán y Rubio (2014) quienes encontraron NC para este indicador en el entorno de 40.

Para el caso de LCC en este trabajo se estableció un nivel crítico de 4,18, valor igual al encontrado por Perdomo y Hoffman (2011), Cazabán y Rubio (2014). Sin embargo, este valor es superior al establecido por Ceriani e Inella (2012) quienes reportan un valor de 3,75.

Si se comparan los NC obtenidos en estos experimentos con los obtenidos por Abraham y Falco (2016) quienes obtuvieron rendimientos superiores, se observa que en este trabajo los NC obtenidos para porcentaje de N en hoja y LCC fueron superiores a los reportados por estos autores, quienes para estos dos indicadores reportan niveles críticos de 2,6 y 3,65 respectivamente, mientras que el NC obtenido para SPAD fue igual (51).



(a) N en hoja (b) LCC (c) SPAD (d) NDVI

Figura 16. Respuesta al agregado de N a V10 en función del N agregado en V6 para los distintos indicadores.

Cuadro 8. Componentes de la relación entre indicadores y rendimiento relativo a V10.

Indicador	NC	a	b	c	Plateau	R ²	P valor
N en hoja (%)	2,9	-0,05	0,33		0,91	0,51	0,0003
LCC	4,2	-0,28	0,28		0,89	0,50	0,0002
SPAD	51	-0,26	0,02		0,88	0,41	0,0022
NDVI	0,84	-27,29	66,84	-39,65	0,88	0,35	0,0089

Como se observa, los valores críticos obtenidos para los distintos indicadores son muy similares a los reportados por la bibliografía nacional. Sin embargo, el NC encontrado para porcentaje de N en hoja fue marcadamente superior al encontrado por los autores nacionales. Este hecho probablemente sea debido al uso de maíces de alto potencial, confirmando la relación existente entre rendimiento y los NC.⁴

Según se observa en el cuadro 8, como era de esperarse, el indicador que mejor estimó la respuesta a la fertilización fue el porcentaje de N en hoja ($R^2 = 0,51$). En este sentido, LCC mostró una correlación con el RR ($R^2 = 0,50$), muy similar a la observada entre RR y porcentaje de N en hoja, lo que brinda aún más confianza al momento de utilizar este indicador para predecir la respuesta del cultivo. Sumado a esto, LCC es una herramienta práctica, de fácil manipulación e interpretación y bajo costo. Para SPAD la correlación con el RR también fue buena (si bien fue inferior a la observada entre RR y LCC) y presenta la ventaja de que es fácil de manipular, sin embargo, es una herramienta de elevado costo.

En el caso de NDVI, no se logró establecer un NC debido a que la correlación con el RR fue baja ($R^2 = 0,35$). Sumado a esto, la falta de relación de este indicador con el porcentaje de N en hoja y los resultados variables obtenidos al observar la evolución del indicador para los diferentes tratamientos de fertilización (sección anterior) permiten pensar que si bien este indicador puede utilizarse como una guía no es posible utilizarlo con la misma seguridad que los otros indicadores indirectos evaluados (SPAD y LCC).

Los R^2 encontrados para RR y los distintos indicadores indirectos coinciden con lo observado anteriormente cuando se correlacionaron los indicadores y el porcentaje de N en hoja.

En F1 no se observó correlación entre los indicadores evaluados y el RR. Esto se debe a que no hubo respuesta a la fertilización nitrogenada en este estadio; por lo tanto, no fue posible establecer NC.

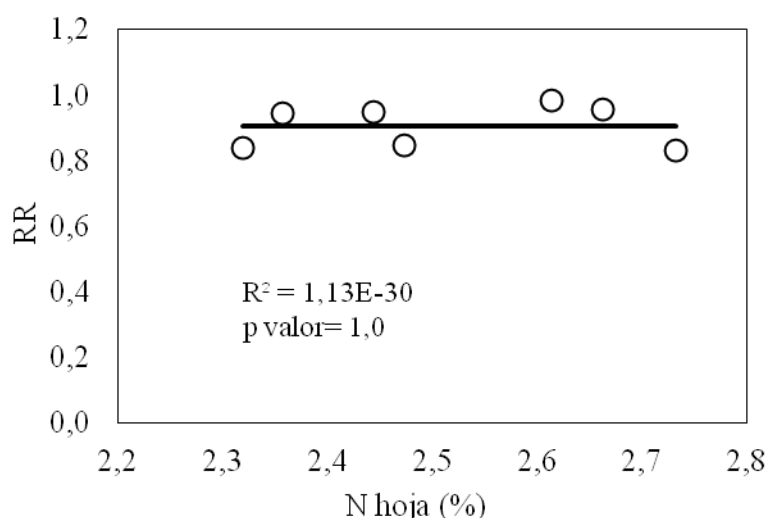


Figura 17. Correlación entre rendimiento relativo y porcentaje de N en hoja en F1.

4.5.4 Nitratos en la base del tallo

Como se mencionó en el capítulo de revisión, es una técnica desarrollada por Blackmer y Mallarino (1996) que tiene como objetivo evaluar al final del ciclo del cultivo cómo fue la nutrición nitrogenada del mismo, generando información para el manejo de futuros cultivos. Luego de MF se muestreó la porción del tallo entre 15 y 35 cm sobre la superficie del suelo y se analizó la concentración de nitratos en la base del tallo en función del N total aplicado (figura 18). Se realizaron subdivisiones representando las categorías planteadas por Blackmer y Mallarino (1996). Es esperable un aumento en la concentración de nitratos con el aumento de la dosis de fertilización, con aumentos lineales y valores dentro de la categoría óptimo y excesivo una vez alcanzada y superada la dosis óptima física de fertilizante.

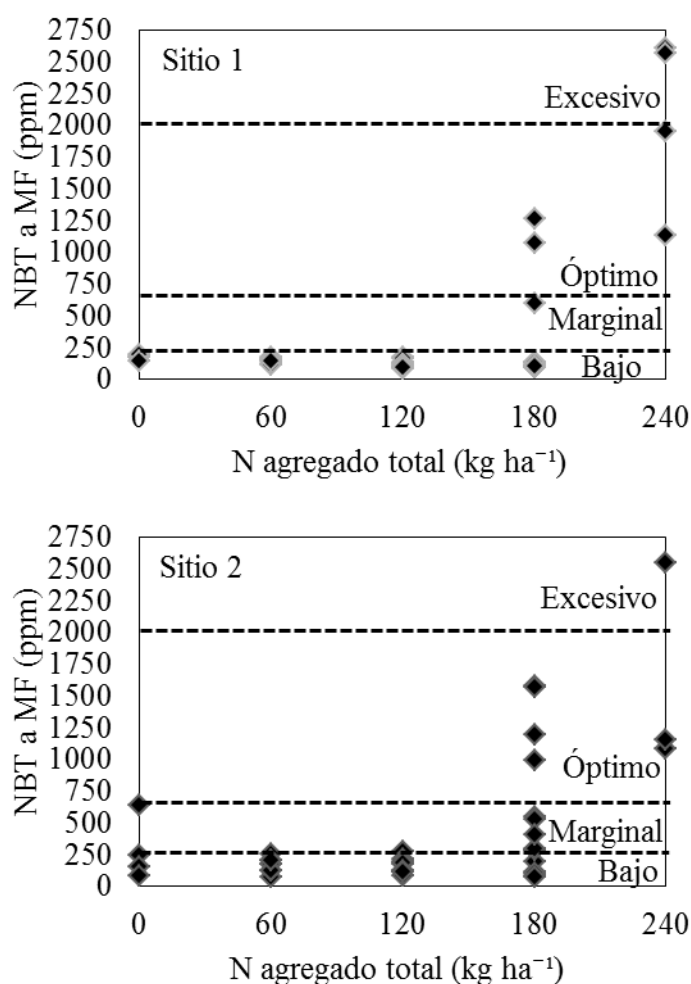


Figura 18. Contenido de nitratos en la base del tallo a MF en función del N agregado total para ambos sitios.

Como se observa en la figura 18, a medida que se agregó una mayor dosis de N al cultivo, la acumulación de nitratos en la base del tallo fue mayor. Esto coincide con Kaiser et al. (2013) quienes observaron que con las dosis de N más elevadas las concentraciones de nitratos en la base del tallo eran mayores. Con dosis de 0 a 120 Kg N ha⁻¹ la categorización osciló entre bajo y marginal. El hecho de que aún con dosis altas como 120 Kg N ha⁻¹ la categorización sea baja, da evidencia de las altas dosis que son necesarias aplicar al cultivo para tener un nivel adecuado u óptimo de N en condiciones de maíces de alto potencial. Con dosis mayores (180 y 240 Kg N ha⁻¹) la categorización ascendió a óptima y excesiva, observándose niveles de exceso únicamente con dosis de 240 Kg N ha⁻¹.

Según la categorización planteada, dosis levemente menores a las DOF calculadas en este estudio estarían en la categoría marginal, lo cual es coincidente con los resultados ya que en cultivos que se encuentren en esta categoría se esperaría respuesta a la fertilización nitrogenada.

5. CONCLUSIONES

Se estudiaron dos sitios con diferente historia de chacra y capacidad de aporte de N estimada a partir de la absorción total del testigo. El Sitio 1 (chacra vieja) aportó $0,5 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que el Sitio 2 (chacra nueva) aportó $0,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, un 38 % más que el Sitio 1. Como era esperable, la respuesta al N agregado en V6 fue distinta siendo el óptimo físico en el Sitio 1 de 252 Kg N ha^{-1} y en el Sitio 2 de 189 Kg N ha^{-1} .

Para ambas condiciones ambientales se encontró una respuesta muy importante al agregado de N tardío (solamente en V10) siendo esta de 2.134 Kg ha^{-1} y 2.419 Kg ha^{-1} para el Sitio 1 y 2 respectivamente.

En el Sitio 2 no existieron diferencias significativas en rendimiento entre agregar todo el N en V6 en relación a fraccionarlo o diferirlo. En el Sitio 1 sí existieron diferencias significativas en cuanto al momento de aplicación de 60 Kg N ha^{-1} (mayores rendimientos con aplicaciones a V6 respecto a V10) las cuales indicarían que en suelos con menor capacidad de aporte de N las aplicaciones de N en V6 resultan fundamentales.

El fraccionamiento de la fertilización no generó mejoras en la EUN y RAN en ninguno de los dos ambientes.

En cuanto a los indicadores evaluados, el porcentaje de N en hoja fue un buen indicador para predecir la respuesta al N en V10, lo cual coincide con los antecedentes recientes de los trabajos en Uruguay; la diferencia está en que el NC obtenido en este trabajo para este indicador es superior a dichos antecedentes. Se encontró buena relación entre el porcentaje de N en hoja y los indicadores índice de verdor (LCC) y lector de clorofila (SPAD) en coincidencia con los trabajos nacionales anteriores (Perdomo y Hoffman 2011, Ceriani e Inella 2012, Cazabán y Rubio 2014, Abraham y Falco 2016).

Los resultados muestran un incremento en la concentración de nitratos en la base del tallo (NBT) en la medida que se aumenta la dosis. Solamente con la dosis máxima (240 Kg N ha^{-1}) se observaron niveles de exceso (mayores a 2000 ppm de nitratos).

Son necesarias altas dosis de N para obtener elevados rendimientos en el cultivo de maíz, por lo que fraccionar la dosis sería una manera adecuada de suministrarlo, no obteniendo diferencias entre el fraccionamiento y aplicar todo una única vez, con la ventaja que se corre un menor riesgo de quemado, menor potencial de pérdida, y la posibilidad de volver a corregir el status nitrogenado a V10.

Tal como se planteó en la hipótesis del trabajo, existió respuesta del maíz al agregado de N tardío (V10) en condiciones de agua no limitante y esta respuesta pudo ser predicha por indicadores directos e indirectos del status nitrogenado del cultivo.

6. RESUMEN

En función del área cultivada y del total de producción el maíz ocupa el tercer lugar en el mundo después del trigo y el arroz. En los últimos años el uso de tecnologías como el riego y de genotipos de alto potencial ha determinado un incremento en las cantidades de N que es necesario aplicar a los cultivos. Sumado a esto, el sistema de agricultura continúa implementado en Uruguay ha determinado una reducción en la capacidad de aporte de N de los suelos. A partir de esto, en este trabajo se estudió la respuesta a la fertilización nitrogenada tardía. Se evaluaron también distintas herramientas de diagnóstico del status nitrogenado del cultivo en estadios tardíos. En la zafra 2015/2016 se instalaron dos experimentos. El primer experimento se instaló en La Perdiz (Sitio 1), departamento de Soriano y el segundo en Chacra 20 en La Estanzuela (Sitio 2), departamento de Colonia. Los experimentos fueron en diseños de bloques completamente al azar con 4 repeticiones. Se realizaron 11 tratamientos los cuales consistieron en diferentes dosis de N aplicadas en distintos momentos del ciclo del cultivo: V6, V10 y panojado. Las dosis evaluadas fueron 60, 120, 180, 240 Kg N ha⁻¹ y un testigo sin fertilizar. Los indicadores del status nitrogenado se midieron en V6, V10 y panojado. Los indicadores evaluados fueron concentración de N en hoja, medidor de clorofila Minolta SPAD, tabla de colores Leaf color chart (LCC) e Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). En los dos sitios se encontró una importante respuesta al agregado de N en V6, con dosis óptimas físicas de 252 y 189 Kg N ha⁻¹ para el Sitio 1 y Sitio 2 respectivamente. Las diferencias encontradas entre sitios fueron adjudicadas principalmente a diferencias en la capacidad de aporte de N por parte del suelo. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en rendimiento y eficiencia de uso de N (EUN) en cuanto al momento de aplicación de N únicamente en el Sitio 1 (sitio de menor capacidad de aporte de N) para la dosis de 60 Kg N ha⁻¹ a favor de la aplicación en V6 respecto a estadios tardíos, y una clara tendencia en el mismo sentido para la dosis de 120 Kg N ha⁻¹. El fraccionamiento de la fertilización no generó mejoras en EUN ni en la recuperación aparente de N en ninguno de los dos sitios experimentales. Existieron diferencias entre sitios en cuanto a la absorción total de N por parte del cultivo, siendo más elevada en el Sitio 2, donde se obtuvieron los mayores rendimientos. Con respecto a los indicadores evaluados, el porcentaje de N en hoja fue un buen indicador para predecir la respuesta al N en V10, encontrando para este indicador un nivel crítico superior al reportado por los trabajos nacionales recientes. Los indicadores SPAD y LCC tuvieron una buena correlación con el porcentaje de N en hoja. En F1 no se observó correlación entre los indicadores y el rendimiento relativo, explicado por la falta de respuesta en este estadio. Se estudió también el método nitrógeno en la base del tallo (NBT) y se observó que a medida que aumentó la dosis agregada la concentración de NBT en el cultivo fue mayor, observándose niveles de exceso únicamente con la dosis más alta de N (240 Kg N ha⁻¹).

Palabras clave: Maíz; Nitrógeno; Riego; Fraccionamiento; Estadios tardíos; SPAD; LCC; NDVI.

7. SUMMARY

Worldwide, maize is the third crop in importance after wheat and rice. Due to the use of high potential genotypes and the implementation of technologies such as irrigation, the nitrogen (N) requirements of the crop increased in the last years. However, as a result of continuous agriculture, soil N availability has decreased in Uruguayan agricultural systems. This resulted in an increase in the N fertilization requirements and in the evaluation of different fertilization strategies. In this work we studied the response to late N fertilization and the ability of different tools to evaluate plant N status. In the La Perdiz (Site 1), department of Soriano and in Chacra 20 in La Estanzuela (Site 2), department of Colonia. A randomized complete block design with four replicates was used in each site. A total of 11 treatments were installed to evaluate the crop response to different doses of N applied at different moments of the crop cycle: V6, V10 and panicle. The doses evaluated were 60, 120, 180, 240 kg N ha⁻¹ and an unfertilized control. The nitrogen status indicators were measured in V6, V10 and panicle. The indicators evaluated were leaf N concentration, Minolta SPAD chlorophyll meter, Leaf color Chart (LCC) color table and Normalized difference vegetation index (NDVI). In both sites an important response was found to the addition of N in V6, with physical optimum doses of 252 and 189 kg N ha⁻¹ for Site 1 and Site 2, respectively. The differences found between sites were attributed to differences in the soil N contribution. The moment of N fertilization had a statistically significant effect on yield and N use efficiency only in Site 1 (site of lower capacity of N contribution) for the dose of 60 kg N ha⁻¹ in favor of the application in V6 respect to late stages. The same trend was observed for the dose of 120 kg N ha⁻¹ (p-value= 0,079). There were differences between sites in terms of the total absorption of N by the crop, being higher in Site 2 where the highest yields were obtained. The fractionation of the fertilization did not generate improvements in NUE or in the apparent recovery efficiency of N in any of the two experimental sites. Regarding the indicators evaluated, leaf N concentration was a good indicator to predict the response to N in V10, finding for this indicator a critical level higher than that reported by recent national works. The SPAD and LCC indexes had a good correlation with leaf N concentration. In F1, no correlation was observed between the indicators and relative yield, explained by the lack of response to fertilization at this stage. The stalk nitrate concentration at physiological maturity was also studied and it was observed that as the fertilization rate increased nitrate concentration in the stalk also increased, with excess levels being observed only with the highest dose of N (240 kg N ha⁻¹).

Key words: Corn; Nitrogen; Irrigation; Split-fertilization; Late stages; SPAD; LCC; NDVI.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, I.; Falco, N. 2016. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-12) sobre el rendimiento de maíz en condiciones de riego y secano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 58 p.
2. Altamirano, A.; Durán, A.; Da Silva, H.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo, Uruguay, MAP. DSF. t. 1, 96 p.
3. Álvarez, R.; Steinbach, H.; Álvarez, C.; Grigera, S. 2003. Recomendación para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 18: 1-12.
4. _____. 2006. Balance de nitrógeno en cultivos de trigo. *In: Información técnica de trigo*. Rafaela, Argentina, INTA. pp. 23-35.
5. Ambrogio, M.; Lorenzatti, S.; Tanducci, W.; García, F. 2001. Explorando deficiencias nutricionales en la región pampeana; resultados de los ensayos de fertilización AAPRESID-INTA-INPOFOS – Maíz 2000/01. *In: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales Fertilidad 2001 (3ª, 2001, Rosario, Argentina)*. Actas. Acassuso, Buenos Aires, Argentina, INPOFOS Cono Sur. s.p.
6. Andrade, F. H.; Vega, C. R. 2000. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. *In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja*. Balcarce, Argentina, INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 97-133.
7. Argenta, G. 2001. Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho. Tesis Doctorado. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. 112 p.
8. _____.; Silva, P. R. F.; Fosthofer, E. L.; Strieder, M. L.; Suhre, E.; Teichmann, L. L. 2003. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27: 109-119.

9. Balboa, G.; Espósito, G.; Castillo, C.; Balboa, R. 2009. Relación entre el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) y el rendimiento en grano de maíz (*Zea mays* L.), fertilizando con nitrógeno en diferentes zonas de manejo. In: Maza, N. ed. Avances en la producción vegetal y animal del NOA 2007-2009. San Agustín, Argentina, UNT. Facultad de Agronomía y Zootecnia. pp. 310-318.
10. Barbagelata, P. A.; Pautasso, J. M.; Leones, A.; Melchiori, R. 2014. Fertilización nitrogenada del maíz de primera según pronósticos climáticos previos a la siembra. (en línea). Entre Ríos, Argentina, Erogmix. s.p. Consultado 14 abr. 2017. Disponible en <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/fertilizacion-nitrogenada-maiz-primera-t31447.htm>
11. Barbazán, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 27 p.
12. Barraco, M.; Díaz Zorita, M. 2006. Fertilización postergada de nitrógeno en maíz en la región de la pampa arenosa. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y Reunión de Suelos de la Región Andina (20°. 2006, Salta-Jujuy, Argentina). Actas. Salta, Argentina, s.e. pp. 36-38.
13. Berardo, A.; Reussi Calvo, N. 2010. Pautas para el manejo de la fertilización en maíz y girasol. In: Reunión de Nutrición de Cultivos y Pasturas (4°. 2010, Mar del Plata, Argentina). Actas. Buenos Aires, Argentina, s.e. pp. 32-42.
14. Blackmer, T. M.; Schepers, J. S.; Varvel, G. E. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. Lincoln, Nebraska, University of Nebraska. pp. 934-938.
15. _____.; _____. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal Production Agriculture*. 8 (1): 56-60.
16. _____.; Mallarino, A. P. 1996. Cornstalk testing to evaluate nitrogen management. Iowa State University of Science and Technology. Extension Service. Special report no. 8. 4 p.
17. Borghi, E.; Wornicov, C. G. 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización

nitrogenada en el cultivo de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 53 p.

18. Cárcova, J.; Borrás, L.; Otegui, M.E. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. *In*: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; De la Fuente, E. B.; Miralles, D. J.; Otegui, M. E.; Savin, R. eds. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 135 – 157.
19. Cazabán, M.; Rubio, D. N. 2014. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 84 p.
20. Ceriani, M.; Inella, 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. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 66 p.
21. Ciampitti, I.; Boxler, M.; García, F. 2010. Nutrición de maíz: requerimientos y absorción de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*. 48: 14-18.
22. Daigger, L. A.; Fox, R. 1971. Nitrogen and sulfur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. *Agronomy Journal*. 63 (5): 729-730.
23. Echeverría, H. E.; Sainz Rozas, H. R. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo*. 19 (1): 57-66.
24. Ernst, O.; Mazzilli, S. R.; Siri-Prieto, G. 2009. Manejo de la reserva de agua del suelo para situaciones de estrés hídrico. *In*: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. pp. 1-17.
25. Espinoza, L.; Ismanov, M.; Ballantyne, P. 2015. Effect of delaying the sidedress. Nitrogen fertilization on corn yields. *In*: Slaton, N. A. ed. *Soil Fertility Studies 2014*. Fayetteville, Arkansas, USA, University of Arkansas Systems. pp. 34-36.

26. Fassio, A.; Carriquiry, A. I.; Tojo, C.; Romero, R. 1998. Maíz; aspectos sobre fenología. Montevideo, Uruguay, INIA. 51 p. (Serie Técnica no. 101).
27. FIRA. DIEES (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, MX). 2016. Panorama Agroalimentario; maíz 2016. México, D. F. 40 p.
28. García, F. O. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. INTA/UBA. FCA. Boletín Técnico. no. 140: 1-11.
29. _____. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. INPOFOS Cono Sur. no. 1: 1-21.
30. García, J. P.; Espinosa, J. 2008. Determinación del índice de verdor de diferentes híbridos de maíz. In: Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo (11°. 2008, Quito, Ecuador). Actas. Montenegro, Colombia, Sociedad Ecuatoriana de las Ciencias del Suelo. pp. 1-8.
31. Giménez, L.; Mosco, M. 1996. Riego en maíz; una alternativa a evaluar. Cangüé. no. 8: 7-12.
32. _____. 2012. Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. Agrociencia (Uruguay). 16 (2): 92-102.
33. González Torres, A.; Figueroa Viramontes, U.; Preciado Rangel, P.; Núñez Hernández, G.; Luna Ortega, J. G.; Antuna Grijalva, O. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7 (2): 301-309.
34. Gregoret, M. C.; Dardanelli, J.; Díaz Zorita, M.; Bongiovanni, R. 2006. Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en un haplustol. Ciencia del Suelo. 24: 147-159.
35. Gregorich, E.; Henry Janzen, H.; Helgason, B.; Ellert, B. 2015. Nitrogenous gas emissions from soils and greenhouse gas effects. Advances in Agronomy. 132: 39 – 74.
36. Hoffman, E. M.; Fassana, N. C.; Mazzilli, S.; Berger, A.; Ernst, O. 2015. La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno en cereales de invierno. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (4°. 2015,

Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. pp. 131-140.

37. Jemison, J. M.; Lyrtle, D. E. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maine. *Journal of Production Agriculture*. 9: 108-113.
38. Jones, J. B.; Wolf, B.; Mills, H. A. 1991. *Plant analysis handbook; a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Athens, Georgia, Micro-Macro. pp. 213.
39. Kaiser, D. E.; Lamb, J. A.; Rosen, C. 2013. *Nutrient management: plant analysis sampling and interpretation*. Minneapolis, Minnesota, USA, University of Minnesota. 8 p.
40. Khosla, R.; Shaver, T. M.; Westfall, D. G. 2015. Utilizing normalized difference vegetation indices (NDVI) and in-season crop and soil variables to estimate corn grain yield. Fort Collins, Colorado, USA, Colorado State University. 7 p.
41. Marchesi, C. 2016. Índice verde (NDVI) a primordio como indicador del contenido de nitrógeno del cultivo. In: Día de Campo – Arroz. Evaluación Nacional de Cultivares de Arroz (2016, Tacuarembó, Uruguay). Trabajos presentados. Tacuarembó, Uruguay, s.e. pp. 7-11.
42. Martin, K. L.; Girma, K.; Freeman, K. W.; Teal, R. K.; Tubarúa, B.; Arnall, D. B.; Chung, B.; Walsh, O.; Solie, J. B.; Stone, M. L.; Raun, W. R. 2007. Expression of variability in corn as influenced by growth stage using optical sensor measurements. *Agronomy Journal*. 99: 384-389.
43. 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. Albacete, España. Universidad de Castilla-La Mancha. Centro Regional de Estudios del Agua. 245 p.
44. Mazzilli, S.; Ernst, O. R.; Sastre, A.; Terra, G. 2015. Disponibilidad de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales y de manejo. *Agrociencia (Uruguay)*. 19 (1): 131-139.
45. Melchiori, R. J.; Kemerer, A. C.; Alberenque, S. M. 2014. Uso de un UAV para el diagnostico del estado de nutrición nitrogenada en maíz. In: Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas

- (13°. 2014, Manfredi, Córdoba). Trabajos presentados. Paraná, Entre Ríos, INTA. pp. 1-7.
46. Melgar, R.; Torres Duggan, M. 2004. Manejo de la fertilización en maíz. IDIA XXI. 4 (6): 114-121.
47. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2015. Anuario estadístico agropecuario 2015. Montevideo, Uruguay. 215 p.
48. _____. _____. 2016. Encuesta agrícola “invierno 2016”. Montevideo, Uruguay. 19 p.
49. Mikkelsen, R. 2010. Emisiones de amoníaco de operaciones agrícolas. *Informaciones Agronómicas*. 79: 24-27.
50. Novoa, R.; Villagrán, N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica*. 62 (1): 166-171.
51. Ochoa Medina, W. A. 2014. Uso de medidores de clorofila como herramienta para optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de maíz. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*. 1 (1): 41-47.
52. Pautasso, J. M.; Gioco, I. 2010. Manejo de fertilización y densidad en maíces precoces. *Maíz, Sorgo y Girasol. Actualización Técnica*. no. 2: 37-42.
53. Pedrol, H. M.; Castellarin, J. M.; 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. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 40: 17-20.
54. Perdomo, C.; Cardellino, G. 2006. Respuesta de maíz a fertilizaciones definidas con diferentes criterios de recomendación. *Agrociencia (Uruguay)*. 10 (1): 63-80.
55. _____.; Barbazán, M.; Durán Manzoni, J. M. 2008. Nitrógeno. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 70 p.
56. _____.; Hoffman, E. M. 2011. Manejo del nitrógeno: actualidad y perspectivas. *In: Simposio Nacional de Agricultura (2°. 2011, Paysandú, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 61-75.

57. Piekielek, W. P.; Fox, R. H.; Toth, J. D.; Macneal, K. E. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*. 87:403–408.
58. Rengel, M. L. 2004. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela. *Informaciones Agronómicas*. 53: 5-8.
59. Ritchie, S. W.; Hanway, J. J. 1982. How a plant crop develops. Iowa State University of Science and Technology. Extension Service. Special report no. 48. s.p.
60. Robertson, P.; Vitousek, P. 2009. Nitrogen in agriculture; balancing the cost of an essential resource. (en línea). *Annual Review of Environment and Resources*. 34: 97-125. Consultado 19 may. 2017. Disponible en <http://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.envIRON.032108.105046#article-denial>
61. Rouanet, J. L.; Pino, I.; Parada, A. M.; Nario, A. 1999. Nitrógeno en producción de trigo, eficiencia de uso de N-fertilizante por la planta y N-fertilizante en el suelo. In: Congreso de Agricultura Conservacionista en Cultivos Anuales, Agricultura de Futuro (3°. 1999, Carrillanca, Chile). Trabajos presentados. Temuco, Chile, INIA. pp. 23-30.
62. Sainz Rozas, H.; Echeverría, H. E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 103 (1): 37-44.
63. _____.; _____.; Barbieri, P. A. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agronomy Journal*. 96: 1622-1631.
64. _____.; _____.; Pagani, A. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*. 27 (1): 21-29.
65. Sánchez, M. A.; Muñoz, S. J. 2008. Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 39: 20-22.
66. Scharf, P. C.; Wiebold, W. J.; Lory, J. A. 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agronomy Journal*. 94 (3): 435-441.

67. Teal, R. K.; Turbana, B.; Girma, K.; Freeman, K. W.; Arnall, D. B.; Walsh, O.; Raun, W. R. 2006. In-Season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*. 98: 1488-1494.
68. Thompson, L. M.; Troeh, F. R. 1988. *Los suelos y su fertilidad*. 4ª. ed. México, Reverté. 657 p.
69. Uhart, S. A.; Echeverría, H. E. 1997. El rol del nitrógeno y del fosforo en la producción de maíz. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada y fosforada. Buenos Aires, Argentina, Morgan Mycogen. 42 p.
70. Vidal, M.; Ruiz, R.; Antúnez, A.; Araya, C. 2015. Antecedentes nutricionales del cultivo de maíz en Chile. *In*: Antúnez, A.; Vidal, M.; Felmer, S.; González, M. eds. *Riego por pulsos en maíz grano*. Rengo, Chile, INIA Chile. pp. 81-95.
71. Voss, R. D. 1993. Corn. *In*: Bennet, W. ed. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. St. Paul, Minnesota, USA, APS. pp. 11-14.
72. Walsh, O. S. 2015. Nitrogen management in field crops with reference strips and crop sensors. Moscow, Idaho, USA, University of Idaho. 6 p.
73. Witt, C.; Pasuquin, J. M. C. A.; Mutters, R.; Buresh, R. J. 2005. Tabla de comparación de colores para el manejo efectivo del nitrógeno en arroz. *Informaciones Agronómicas*. 58: 10-13.
74. Zemenchik, R. A.; Albretch, K. A. 2002. Nitrogen use efficiency and apparent nitrogen recovery of Kentucky bluegrass, smooth bormegrass, and orchardgrass. *Agronomy Journal*. 94: 421-428.
75. _____; Bélanger, G.; Claessens, A. 2012. Relationship between soil nitrate accumulation and in-season corn N nutrition indicators. *Canadian Journal of Plant Science*. 92: 331-339.
76. Ziadi, N.; Brassard, M.; Bélanger, G.; Claessens, A.; Tremblay, N.; Camborius, A. N.; Nolin, M. C.; Parent, L. 2008. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. *Agronomy Journal*. 100: 1264-1273.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Análisis estadístico para nitratos en la base del tallo a madurez fisiológica para el Sitio 2.

F.V.	g.l.	C.M.	p>F
Tratamiento	10	679775,03	0,0009
Bloque	3	126241,18	0,4856
Error	27	150899,83	

Anexo No. 2. Prueba de Tukey para medias de nitratos de la base del tallo a madurez fisiológica para el sitio 2.

Tratamiento	Medias	E.E.	Tukey alfa= 0,05
240-0-0	1648,3	227,75	A
60-60-60	960,75	194,23	A B
60-120-0	532,5	194,23	B
180-0-0	374,5	194,23	B
120-60-0	320,64	227,75	B
0-0-0	281,75	194,23	B
60-60-0	209,3	227,75	B
0-60-0	176	194,23	B
120-0-0	157,25	194,23	B
60-0-0	157	194,23	B
0-120-0	155	194,23	B

Anexo No. 3. Análisis estadístico para nitratos en la base del tallo a madurez fisiológica para el Sitio 1.

F.V.	g.l.	C.M.	p>F
Tratamiento	10	1346287	<0,0001
Bloque	3	211830,7	0,067
Error	30	80014,09	

Anexo No. 4. Prueba de Tukey para las medias de nitratos en la base del tallo a madurez fisiológica para el Sitio 1.

Tratamiento	Medias	E.E.	Tukey alfa= 0,05
240-0-0	2065,25	141,43	A
180-0-0	525,75	141,43	B
60-120-0	344,25	141,43	B
0-0-0	173	141,43	B
0-60-0	159,25	141,43	B
60-60-0	126	141,43	B
60-0-0	125,5	141,43	B
0-120-0	118,75	141,43	B
120-60-0	114,75	141,43	B
60-60-60	109,75	141,43	B
120-0-0	106,75	141,43	B

Anexo No. 5. Análisis estadístico para lectura de clorofila (SPAD).

	V 10			F1		
	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F
Sitio	1	63	0,0009	1	63	0,2998
Tratamiento	10	63	<0,0001	10	63	0,0006
Sitio: tratamiento	10	63	0,6696	10	63	0,5612

Anexo No. 6. Evolución de la lectura de clorofila (SPAD) para el Sitio 1 según dosis y estadio.

Evolución indicador SPAD para Sitio 1			
	V6	V10	F1
0	48	44	37
60	48	56	41
120	48	56	43
180	48	55	42
240	48	58	47

Anexo No. 7. Evolución de la lectura de clorofila (SPAD) para el Sitio 2 según dosis y estadio.

Evolución indicador SPAD para Sitio 2			
	V6	V10	F1
0	43	42	32
60	43	53	41
120	43	55	42
180	43	55	46
240	43	56	43

Anexo No. 8. Análisis estadísticos para índice de vegetación (NDVI).

	V 10			F1		
	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F
Sitio	1	63	0,1104	1	63	<0,0001
Tratamiento	10	63	<0,0001	10	63	0,0557
Sitio: tratamiento	10	63	0,1169	10	63	0,8067

Anexo No. 9. Evolución del índice de vegetación (NDVI) para el Sitio 1 según dosis y estadio.

Evolución indicador NDVI para Sitio 1			
	V6	V10	F1
0	0,62	0,82	0,75
60	0,62	0,81	0,77
120	0,62	0,79	0,76
180	0,62	0,83	0,80
240	0,62	0,83	0,80

Anexo No. 10. Evolución del índice de vegetación (NDVI) para el Sitio 2 según dosis y estadio.

Evolución indicador NDVI para Sitio 2			
	V6	V10	F1
0	0,55	0,78	0,81
60	0,55	0,83	0,81
120	0,55	0,85	0,84
180	0,55	0,85	0,84
240	0,55	0,84	0,85

Anexo No. 11. Análisis estadístico para índice de verdor (LCC).

	V 10			F1		
	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F
Sitio	1	63	0,9191	1	63	0,0415
Tratamiento	10	63	<0,0001	10	63	<0,0001
Sitio: tratamiento	10	63	0,9606	10	63	0,1821

Anexo No. 12. Evolución del índice de verdor (LCC) para el Sitio 1 según dosis y estadio.

Evolución indicador LCC para Sitio 1			
	V6	V10	F1
0	3,9	3,5	3,1
60	3,9	4,4	4,0
120	3,9	4,6	4,0
180	3,9	4,6	3,6
240	3,9	4,8	4,0

Anexo No. 13. Evolución del índice de verdor (LCC) para el Sitio 2 según dosis y estadio.

Evolución indicador LCC para Sitio 2			
	V6	V10	F1
0	3,7	3,3	2,8
60	3,7	4,4	4,0
120	3,7	4,6	4,1
180	3,7	4,8	4,5
240	3,7	4,8	4,5

Anexo No. 14. Análisis estadístico para porcentaje de N en hoja.

	V 10			F1		
	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F	Num.D.F.	Den.D.F.	p>F
Sitio	1	63	0,0441	1	63	0,0293
Tratamiento	10	63	<0,0001	10	63	<0,0001
Sitio: tratamiento	10	63	0,4391	10	63	0,1542

Anexo No. 15. Evolución del porcentaje de N en hoja para el Sitio 1 según dosis y estadio.

Evolución indicador N en hoja (%) para Sitio 1			
	V6	V10	F1
0	3,3	2,1	1,9
60	3,3	2,8	2,4
120	3,3	3,2	2,5
180	3,3	3,4	2,8
240	3,3	3,5	3,0

Anexo No. 16. Evolución del porcentaje de N en hoja para el Sitio 2 según dosis y estadio.

Evolución indicador N en hoja (%) para Sitio 2			
	V6	V10	F1
0	3,2	2,3	1,6
60	3,2	3,2	2,1
120	3,2	3,1	2,5
180	3,2	3,4	2,7
240	3,2	3,6	2,8

Anexo No. 17. Análisis estadístico para los componentes del rendimiento en el Sitio 2.

		Rendimiento		Peso grano		Grano m ⁻²		Espigas m ⁻²		Carreras espiga ⁻¹		Rend. espiga ⁻¹		Pl. m ⁻²	
F. de V.	g.l.	p>F	E.E.	p>F	E.E.	p>F	E.E.	p>F	E.E.	p>F	E.E.	p>F	E.E.	p>F	E.E.
Bloque	3	0,8463		0,94		0,8752		0,962		0,52		0,78		0,47	
Trat.	10	0,0004		0,01		0,0133		0,025		0,34		0,33		0,77	
C1	1	<0,0001	3531	0,02	32,2	0,0002	1169,6	0,002	3,371	0,05	1,34	0,03	24,23	0,78	1,52
C2	1	0,8353	1106	0,11	10,9	0,4736	395,52	0,531	0,403	0,03	0,45	0,54	8,19	0,87	0,51
C3	1	0,6123	1975	0,44	19,6	0,8368	711,12	0,572	0,328	0,53	0,81	0,38	14,73	0,93	0,92
C4	1	0,7548	2752	0,92	24,8	0,7745	900,71	0,975	0,001	0,47	1,03	0,64	18,66	0,43	1,17

Anexo No. 18. Análisis estadístico para los componentes del rendimiento en el Sitio 1.

		Rendimiento		Peso grano		Grano m ⁻²		Espigas m ⁻²		Carreras espiga ⁻¹		Rend. espiga ⁻¹		Plantas m ⁻²	
F. de V.	g.l.	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Bloque	3	604.678	0,76	50	0,7118	68.941	<0,0001	1,8	0,3859	0,18	0,6143	33,5	0,6734	0,69	0,0638
Trat.	10	17.332.290	<0,0001	1.064	<0,0001	1.366.655	0,7244	8,8	0,0003	0,12	0,9304	304,4	0,0005	0,45	0,1132
C1	1	85.354.384	<0,0001	4.926	<0,0001	6.858.461	<0,0001	32,9	0,0001	0,68	0,0684	4,5	<0,0001	0,003	0,8884
C2	1	10.781.046	0,01	1.458	0,0010	557.040	0,0684	8,0	0,0412	0,13	0,5225	36,1	0,4607	0,13	0,4901
C3	1	3.901.847	0,12	210	0,1746	266.493	0,20	3,4	0,18	0,17	0,46	15,0	0,63	0,17	0,4261
C4	1	128.857	0,77	11	0,7523	30.906	0,66	0,5	0,59	0,00	>0,9999	157,7	0,13	0,00	>0,9999
Error	30	46.210.046		3.258,41		4.674.865		52,73		8,95		1.940,32		7,68	
C.V.		12,03		3,75		10,71		13,47		3,83		7,66		6,98	