



TESINA DE GRADO

“Evaluación de la producción de maíz bajo riego gravitacional fertilizado con dos fuentes de nitrógeno: urea y urea de liberación lenta

GIOVANNI CANTERA
INGENIERÍA AGRONÓMICA

Director: Lucio Reinoso.

Evaluadores: Marta Colabelli.
Roberto M. Martinez.
Roberto S. Martinez.

VIEDMA

2018

ARGENTINA

“Evaluación de la producción de maíz bajo riego gravitacional fertilizado con dos fuentes de nitrógeno: urea y urea de liberación lenta”.

Resumen: La inclusión del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) dentro del esquema de rotación agrícola en el Valle Inferior del río Negro es una alternativa productiva que va en aumento en los últimos años. Si se pretende alcanzar altos rendimientos en dichos cultivos, es clave la fertilización con nitrógeno (N) en combinación con el adecuado suministro hídrico. La finalidad de este estudio es evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) utilizando una fuente de N convencional y una de liberación lenta en el cultivo de maíz de alto rendimiento determinar el óptimo económico para cada fuente. Se planteó que la utilización de una fuente de nitrógeno de liberación lenta, como fertilizante en el cultivo de maíz, mejorará la eficiencia de aprovechamiento de dicho nutriente, respecto de la urea, viéndose esto reflejado en los principales componentes del rendimiento. Para ello se realizó un ensayo de fertilización con tres repeticiones, durante la campaña 2015/2016. Las dosis de N utilizadas fueron: 0, 70, 140, 210 Kg.ha⁻¹ de N, con dos fuentes de provisión del nutriente: urea y Novatec (fuente de liberación lenta). Los mayores rendimientos en grano se alcanzaron para la dosis de 210 Kg.ha⁻¹ de N: urea 16265 Kg.ha⁻¹, Novatec 15900 Kg.ha⁻¹ (sin diferencias estadísticas significativas). Las mayores EUN se encontraron en ambos casos para la dosis de 70 Kg.ha⁻¹ de N, con un 6% de mejora con Novatec que con urea. (35,5 y 34,2, respectivamente). Desde el punto de vista económico, se hallaron los óptimos de fertilización para urea, a la dosis de N de 164 Kg.ha⁻¹ (60114 \$.ha⁻¹) y 172 Kg.ha⁻¹ (61286 \$ ha⁻¹), para una relación de precios fertilizante/maíz histórica y una actual (julio 2018) respectivamente. Para el fertilizante Novatec, el óptimo económico se encontró en 119 Kg N ha⁻¹ (60000 \$ ha⁻¹).

Palabras clave maíz, riego, nitrógeno, urea, Novatec, eficiencia de uso del nitrógeno, óptimo económico, relación de precios.

"Evaluation of the production of maize under gravitational irrigation fertilized with two sources of nitrogen: urea and slow release urea."

Summary: The inclusion of corn cultivation (*Zea mayz* L.) within the scheme of agricultural rotation in the Lower Valley of the Negro River is a productive alternative that has been increasing in recent years. If you want to achieve high yields in these crops, fertilization with nitrogen (N) in combination with adequate water supply is key. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of nitrogen use (EUN) using a conventional N source and a slow release in the high yield corn crop determine the economic optimum for each source. It was suggested that the use of a slow-release nitrogen source, as fertilizer in the corn crop, will improve the efficiency of utilization of this nutrient, with respect to urea, seeing this reflected in the main components of the yield. To do this, a fertilization trial was carried out with three repetitions, during the 2015/2016 campaign. The N doses used were: 0, 70, 140, 210 Kg.ha⁻¹ of N, with two sources of nutrient supply: urea and Novatec (slow release source). The highest grain yields were reached for the dose of 210 Kg.ha⁻¹ of N: urea 16265 Kg.ha⁻¹, Novatec 15900 Kg.ha⁻¹ (no significant statistical differences). The highest EUN were found in both cases for the dose of 70 Kg.ha⁻¹ of N, with a 6% improvement with Novatec than with urea. (35.5 and 34.2, respectively). From the economic point of view, the optimum fertilization for urea was found, at the N dose of 164 Kg.ha⁻¹ (60114 \$.ha⁻¹) and 172 Kg.ha⁻¹ (61286 \$ ha⁻¹), for a historical fertilizer / corn price relationship and a current one (July 2018) respectively. For the Novatec fertilizer, the optimum was found at 119 Kg N ha⁻¹ (60000 \$ ha⁻¹).

Keywords corn, irrigation, nitrogen, urea, Novatec, efficiency of nitrogen use, economic optimum, price ratio.

Dedicatoria:

A mis padres, Elvio y Lidia.

A mis hermanos, Elvio, Enzo y Antonio.

Agradecimientos:

Agradezco a todas las personas e instituciones que han estado presentes a su manera durante el transcurso de mi carrera universitaria.

A la Universidad Nacional de Río Negro, que me dio la posibilidad de estudiar lo que siempre quise en mi comarca.

A mi director de tesis Lucio Reinoso, por estar siempre predispuesto ante cualquier duda, acompañarme y aconsejarme siempre que lo necesité.

A Mario Villegas, por su ayuda.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), por financiar el experimento.

A los profesionales del área de Cereales, riego y suelos, a quienes recurrí muchas veces durante el proceso y siempre respondieron de la mejor manera y sobre todo con buen humor.

A mis padres por estar presentes, cada uno a su manera, durante toda mi formación estudiantil, ellos me han formado como persona.

A mis tres hermanos, que desde su lugar me acompañaron en todo momento, son mi ejemplo.

A mis abuelas, por preocuparse siempre por mis estudios y darme envión.

A Florencia, por estar presente y bancarme desde que me conoció.

A todos mis amigos, los que hice durante el proceso universitario y los de siempre.

Sin la colaboración de cada uno de ellos, no hubiese sido posible culminar este proceso.

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	1
Hipótesis.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Localización	11
Caracterización edafoclimática del valle inferior del Río negro	12
Caracterización de Suelos	13
Diseño experimental	15
Elección del cultivar	15
Preparación de la cama de siembra.....	15
Variables evaluadas en el cultivo de maíz.....	16
Fenología.....	16
Riegos y Precipitación	17
Evapotranspiración del cultivo (ETc) y coeficiente del cultivo (Kc).....	18
Intercepción de radiación	18
Biomasa aérea.....	19
Determinación del nitrógeno acumulado en biomasa aérea	19
Rendimiento y sus componentes.....	20
Índice de verdor	20
Eficiencia de uso de nitrógeno.....	21
Análisis económico.....	22
Análisis estadístico	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
Riegos, precipitación, ETo y ETc.....	25
Fenología.....	26
Fotografía 2. Emergencia del cultivo (25/11/2017).....	27
Biomasa producida.....	27
Intercepción de radiación al estado de R1.....	31

Nitrógeno en el suelo	37
Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN).....	40
Análisis económico.....	46
CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del efecto de Novatec en el sistema suelo planta.....	7
Figura 2. Localización del trabajo.....	11
Figura 3. Sumas mensuales de horas de sol efectivas en tres ciudades argentinas. (FAO, 1969 citado por Reinoso, 2014).....	13
Figura 4. Acumulación de biomasa aérea para distintos estados fenológicos, en función de los diferentes tratamientos.....	28
Figura 5. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFAi) en R1, en función de las dosis de N aplicadas. Valores medios en base a urea y Novatec. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).....	33
Figura 6. Valores de Índice SPAD encontrados a dosis crecientes de N, con dos fuentes utilizadas (urea y Novatec), en los estados fenológicos de V8 (a), R1 (b) y R6 (c) ($p < 0,05$).	35
Figura 7. Rendimiento relativo en función del valor índice SPAD en maíz a dos estados fenológicos, V8 (a) y R1 (b).	36
Figura 8. Extracción de nitrógeno del suelo de la parte aérea del maíz, en diferentes estados de desarrollo (V2, R1, R6), a dosis crecientes de fertilización con N, con urea y Novatec como fuentes. Medias con una letra común en cada estado fenológico y para cada fuente, no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).	38
Figura 9. Rendimiento en grano a dosis crecientes de nitrógeno suministrado como urea o Novatec y contenido de nitrógeno de nitratos a cosecha en los primeros 60 cm de suelo. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.	42
Figura 10. Función de producción del cultivo de maíz a dosis creciente de nitrógeno, con urea como fuente.	47
Figura 11. Ingreso total y beneficio (a). Ingreso marginal y costo marginal, este último a una relación de precios actual de 8,33: 1 y a una histórica de 10: 1 (b), a dosis crecientes de Nitrógeno, utilizando urea como fuente.	
Figura 12. Función de producción del cultivo de maíz a dosis creciente de nitrógeno, con Novatec como fuente.	53
Figura 13. Ingreso total y beneficio (a). Ingreso marginal y costo marginal (b), a dosis crecientes de Nitrógeno utilizando Novatec como fuente.....	
Figura 14. Ingreso total, costo total y beneficio total para cada DOE al usar Novatec como fuente o urea, esta última a dos RelPr.	56

INTRODUCCION

El cultivo de maíz en Argentina es el cereal que más superficie representa, tomando como referencia las últimas diez campañas (2006/2007 – 2016/2017). El área sembrada con el mismo ha alcanzado alrededor de 7.300.000 hectáreas en la campaña 2016 / 2017, lo que representa un aumento aproximado para los últimos diez años del 70%; mientras que el rendimiento por hectárea considerando el mismo período, se ha incrementado en un 10%. Si se observa el aumento en la producción total para este lapso de tiempo, el mismo ronda en el orden del 55% (Bolsa de comercio Rosario, 2016).

La zona núcleo para el cultivo de maíz en Argentina está definida entre el norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sur - este de Córdoba (INTA, 1997). Esta ubicación surge principalmente por una disponibilidad hídrica aceptable para desarrollar el cultivo en condiciones de secano. Al sur y al oeste de estas zonas, el maíz necesita riego para poder lograr rendimientos aceptables.

El Valle de Viedma, ubicado dentro del Valle Inferior de Río Negro (VIRN), cuenta actualmente con unas 22.000 hectáreas bajo riego, que se encuentran enmarcadas bajo el proyecto IDEVI (Instituto de Desarrollo del Valle Inferior). El VIRN está ubicado a 40° 48´ de latitud sur y 63° 05´ de longitud oeste.

En la última campaña se sembraron un total de 3000 hectáreas de cereales en el valle, correspondiéndole casi el 50% al maíz (1481 ha), repartiéndose las restantes entre sorgo, avena y girasol, (Casadei Juan, comunicación personal, 2017).

El cultivo de maíz bajo riego es una alternativa para los productores de la norpatagonia, ya que ofrece la posibilidad de entrar en la rotación con especies hortícolas, que suelen dejar los lotes cargados de inóculos de enfermedades y con altos niveles de enmalezamiento. Especies perennes como alfalfa o pasturas consorciadas, también ofrecen la posibilidad de entrar en la rotación para bajar dichos niveles, pero a diferencia de cereales como el maíz, retrasan la vuelta a la

agricultura entre cinco y seis años, lo que ha generado en el último tiempo que los productores se vayan volcando paulatinamente a la utilización de estos últimos en sus rotaciones (Martínez *et al.*, 2012). Sus principales destinos son la producción de granos y el silaje de planta entera, para ser utilizados en ambos casos, como base de dietas de engorde animal y producción lechera.

Por otro lado, en las últimas campañas se ha incrementado alrededor de tres veces el precio de venta del grano por tonelada en pesos, y en el último año se presentó un aumento de alrededor de 50 dólares Tn^{-1} , lo cual hizo más atractiva esta actividad desde el punto de vista económico y no sólo agrícola (bolsa de comercio Rosario, 2018).

El cultivo de maíz encuentra en esta zona condiciones agroclimáticas que lo hacen tener rendimientos cercanos a los potenciales productivos. Entre las múltiples causas que justifican altas producciones, se pueden mencionar que el cultivo cuenta con suministro de riego durante todo el ciclo, siendo casi despreciable el aporte de las lluvias (Margiotta *et al.*, 2014), alta oferta radiativa y temperaturas medias bajas que pueden prolongar el período de llenado de granos (Arriaga *et al.*, 1984).

El nitrógeno y el fósforo son los dos macronutrientes más limitantes para la producción de maíz de alto rendimiento bajo riego. Estos nutrientes condicionan, entre otros aspectos, el establecimiento y el mantenimiento de la capacidad fotosintética del canopeo y la determinación de la capacidad de los destinos del canopeo.

El índice de área foliar, la senescencia de las hojas y la actividad fotosintética dependen, en gran medida, de la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, por lo que deficiencias de estos nutrientes disminuyen la intercepción de radiación por parte del cultivo y la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa (Andrade *et al.*, 1996).

El nitrógeno en particular, participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones

severas en el crecimiento del cultivo, por lo tanto una reducción en la tasa de crecimiento y expansión foliar, disminuyen la captación de la radiación fotosintéticamente activa. Estas deficiencias se evidencian por clorosis (amarillamiento) de las hojas más viejas por la movilidad que presenta el nutriente en la planta (Torres Duggan, 2002).

La principal fuente de N para el maíz es la materia orgánica del suelo. Los compuestos nitrogenados encontrados en el suelo, productos de la descomposición de materiales orgánicos complejos tales como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleótidos son degradados a compuestos simples por organismos que habitan el suelo, principalmente bacterias y hongos. Estos microorganismos metabolizan estos compuestos y liberan el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco o ión amonio, que por oxidación es transformado en nitrito y luego en nitrato. Tanto el amonio como los nitratos pueden ser absorbidos o asimilados por las plantas de maíz (Andrade *et al.*, 1996, tomado de Andrade y Anderson, 1986).

En general, el amonio (NH_4^+) se encuentra en el suelo en cantidades mucho menores que el nitrato (NO_3^-) y está fuertemente ligado al complejo de intercambio catiónico (Oyarzum, 2010). La absorción de amonio se realiza mediante mecanismos pasivos sin gasto de energía. Una vez absorbido, el amonio es rápidamente incorporado a aminas y amidas, con lo que se evitan los efectos tóxicos que provocarían en las plantas, dado que éstas no cuentan con mecanismos para su almacenamiento.

Los nitratos llegan a las raíces de las plantas por flujo masal y la absorción se realiza contra un gradiente electroquímico, implicando, por lo tanto, un gasto de energía metabólica (Pate, 1973). Una vez absorbidos, los nitratos son reducidos en la raíz y / o en las hojas e incorporados en compuestos orgánicos a través de mecanismos que suponen gasto de energía proveniente de la fotosíntesis (Andrade *et al.*, 1996, tomado de Novoa y Loomis, 1981).

Si se pretenden alcanzar altos rendimientos, el cultivo requiere unos 22 kg N por tonelada de rendimiento en grano por hectárea (Andrade *et al.*, 1996). Por ello, debe estar bien provisto en cantidad y en momentos oportunos, para asegurar un óptimo desarrollo particularmente en floración, por ser el momento en el cual se define el número de granos por unidad de superficie y en gran parte el rendimiento del cultivo (Oyarzum, 2010).

Algunos antecedentes evidencian que existe respuesta significativa del cultivo al agregado de nitrógeno, a dosis crecientes entre 70 y 210 kg N ha⁻¹. Por citar un ejemplo, un ensayo utilizando urea como fuente, en parcelas de un productor de San Javier, dentro del Valle Inferior de Rio Negro, bajo riego gravitacional en la campaña 2011/2012, muestra en 10 híbridos un rendimiento promedio de 15.000 kg.ha⁻¹, con el agregado de 138 kg de N ha⁻¹ y de 7.000 kg por ha⁻¹, sin el agregado de esta (Martínez *et al.*, 2012).

El aporte de nitrógeno al suelo mediante la fertilización, tiene que ser suficiente para no limitar la producción y al mismo tiempo, no ser excesivo para no aumentar las posibilidades de contaminación de las aguas subterráneas con nitratos. Esto es más relevante, en aquellos lugares en los que se cuenta con un sistema de riego gravitacional como es el caso del IDEVI. En este sistema, en cada riego se aplica el agua necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo (CC) y, luego de un determinado intervalo de tiempo, se realiza una nueva aplicación llevando nuevamente el suelo a CC, aunque no hay un control preciso de la cantidad de agua aplicada. Frecuentemente, los productores riegan antes de que se halla consumido en 60 % de agua útil para las plantas, llegando los excedentes a las aguas subterráneas o en el caso del VIRN, al sistema de drenaje disminuyendo la eficiencia de aplicación y aumentando el riesgo de contaminación con nitratos de las aguas del río que son de consumo humano (Martínez *et al.*, 2012).

Las salidas de nitrógeno del sistema suelo – planta, se pueden producir por tres formas principalmente; volatilización de amoníaco, lixiviación de nitratos y desnitrificación (Torres Duggan, 2002). La lixiviación de nitratos es la que reporta mayor importancia en la zona, en parte debido a la baja eficiencia de los riegos

gravitacionales que se llevan a cabo en el cultivo de maíz, como se mencionó previamente, sumado esto a la aplicación de fuentes de nitrógeno convencionales en momentos de baja demanda nutricional por parte del cultivo.

Los nitratos, al ser aniones con cargas negativas, se repelen con los coloides del suelo, pudiendo perderse una gran parte del fertilizante nitrogenado suministrado por debajo de la zona de absorción radical, cuando se aplica una lámina de agua (Perdomo *et al.*, 2001). Las magnitudes de estas pérdidas son claves para determinar la eficiencia de uso del nitrógeno en el sistema, no solo desde el punto de vista económico, sino también desde el ecológico (Perdomo *et al.*, 2001).

Al momento de cuantificar la dinámica de nitrógeno del sistema suelo-planta, una de las metodologías más aceptadas es la ecuación de balance de este nutriente, que simula procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones del elemento en el sistema, pudiendo obtenerse la cantidad de fertilizante nitrogenado requerido por el cultivo (Meisinger, 1984). Este método se basa en la evaluación de las formas de N en el suelo disponibles para el cultivo, fundamentalmente N acumulado a la siembra y N mineralizado durante el ciclo del cultivo (oferta de N), y los requerimientos del cultivo de acuerdo al rendimiento esperado (demanda de N). La dinámica del N en el sistema suelo - planta, como ya se mencionó, incluye pérdidas de N disponible por lixiviación, volatilización, fijación química e inmovilización.

Si bien el método del balance de N es conceptualmente sólido, es importante destacar que se trata de una aproximación empírica, donde no se toman en cuenta los procesos que determinan el rendimiento, ni aquellos que afectan la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo - planta, implicando la necesidad de calibrar esta metodología para cada ambiente (Salvagiotti *et al.*, 2002).

A la hora de realizar un seguimiento del estado nutricional de las plantas durante el ciclo del cultivo, en general, se realiza un análisis químico de tejido vegetal y posteriormente para interpretar estos resultados, se utilizan concentraciones o rangos críticos preestablecidos. Estos métodos a pesar de ser precisos, tienen la

desventaja de que son costosos en tiempo y dinero, retrasando las decisiones de una posible corrección por deficiencias (Castellanos Reyes *et al.*, 2017).

Es por ello que existen otros métodos más rápidos y sencillos que nos ayudan a diagnosticar el estado nutricional del cultivo de maíz, basándose en mediciones sobre el tejido vegetal. El medidor de clorofila Minolta SPAD® 502 es una tecnología que se presenta como una alternativa para el monitoreo de N durante el ciclo del cultivo. El mismo hace una cuantificación no destructiva del verdor de la hoja o índice de verdor (IV) (Grandrup *et al.*, 2004), permitiendo realizar muestreos frecuentes y explorar en mayor medida la variabilidad en un sitio comparado con otros métodos. La fundamentación del método se basa en las estrechas relaciones que existen entre las lecturas de IV y el contenido de clorofila y, entre ambos y la concentración de N en hoja (Schepers *et al.*, 1992, tomado de Gandrup, Maria E *et al.*, 2004).

En cuanto a la disponibilidad de fertilizantes, hoy en día existen en el mercado una gama de fuentes nitrogenadas que cuentan con la posibilidad, por distintos mecanismos, de liberar el nitrógeno lentamente para el cultivo, pudiendo aumentar su eficiencia de aprovechamiento y disminuir las pérdidas por los mecanismos antes mencionados. Se encuentran tres grandes grupos; los fertilizantes recubiertos, los de baja solubilidad y con inhibidores (Illanes y Valdez, 2015):

Los fertilizantes convencionales recubiertos, que se presentan en forma de gránulos envueltos en una membrana semipermeable que puede estar constituida por polímeros o azufre insolubles o de baja solubilidad en agua. La disolución del fertilizante se produce lentamente conforme el agua va atravesando el recubrimiento. La velocidad con que el nutriente queda disponible en la solución de suelo, aumenta en función del incremento de la temperatura y la humedad del ambiente.

Los fertilizantes de baja solubilidad son productos creados por intermedio de reacciones químicas de un componente nitrogenado soluble en agua y aldehídos, resultando en una estructura molecular compleja con niveles de solubilidad

limitados. Una vez introducidos a la solución del suelo, estos productos se liberan y transforman lentamente en formas químicas disponibles para la planta. Podemos encontrar en este grupo a la Urea formaldehído (UF), Isobutylidene diurea (IBDU) y Crotonylidene urea (CDU).

En cuanto a los inhibidores, se pueden mencionar, dos sub grupos. El primero, los fertilizantes con inhibidores de la ureasa (n-(n-butil) triamida tío fosfórica) (NBTP) que evitan o reducen problemas asociados a la volatilización de nitrógeno como amoníaco, bloqueando temporalmente la acción de la encima ureasa y evitando así la subida del pH alrededor de la partícula de urea. Ello reduce la formación de amoníaco y su posterior liberación hacia la atmosfera (Aguilar Gudiel, 2009). En el segundo grupo se encuentran aquellos que ejercen acción sobre la nitrificación, conocidos como inhibidores de la nitrificación: Nitrapyrin, dicyanamida (DCD) y 3,4 di- metil Pirazol Fosfato (DMPP) (Figura 1). Estos son compuestos que por un cierto período de tiempo, retrasan el primer paso de la nitrificación en el suelo, esto es la oxidación bacteriana del ión amonio a nitrito (NO_2^-), mediante la inhibición de las bacterias Nitrosomonas. Normalmente los inhibidores de la nitrificación no tienen efecto sobre el segundo paso de la nitrificación, esto es la transformación del nitrito a nitrato, mediada por bacterias del género Nitrobacter.

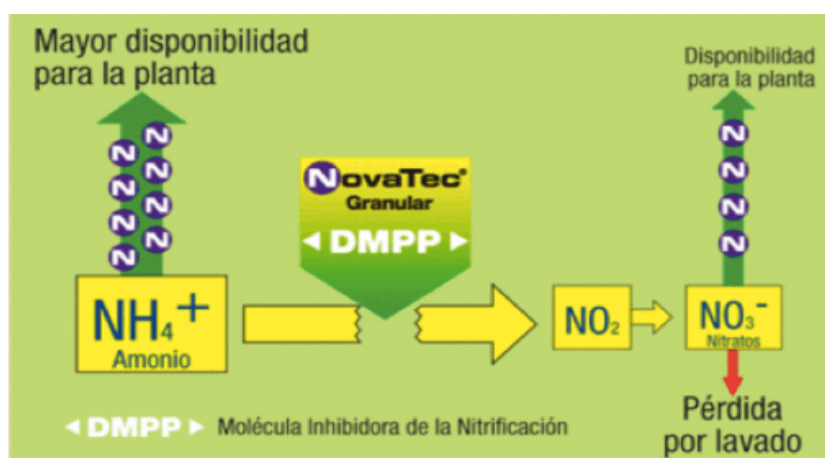


Figura 1. Esquema del efecto de Novatec en el sistema suelo planta.

La incorporación de los inhibidores de la nitrificación a las prácticas de fertilización de los cultivos provoca que el N en el suelo permanezca en forma de NH_4^+ durante un mayor período de tiempo, el que debido a su carga, queda fijado en el complejo arcillo-húmico del suelo, reduciendo de esta forma las pérdidas de N como NO_3^- , que como ya se mencionó, es altamente soluble en el suelo y susceptible a ser lixiviado en profundidad, pudiendo llegar a contaminar aguas subterráneas o volver al río a través del sistema de drenaje con el que cuenta el VIRN. Además de los beneficios ecológicos que implica el uso de inhibidores de nitrificación, diversos estudios han comprobado la obtención de mayores tasas de crecimiento y mayores rendimientos en los cultivos fertilizados con estos productos (Gardiazabal *et al.*, 2007); (Alonso *et al.*, 2016). Esto se explica porque la utilización de inhibidores de la nitrificación provoca un incremento apreciable de los contenidos de NH_4^+ en el suelo disponibles para ser absorbidos por los cultivos junto con los NO_3^- derivados de la nitrificación. El suministro combinado de ambas formas de N, promueve el aumento en los rendimientos de los cultivos, por varias razones: (i) la absorción de amonio requiere menos energía de la planta que la absorción de nitrato; (ii) hay un ahorro energético dentro de la planta al no ser necesario reducir el nitrato; (iii) el amonio estimula la síntesis de fitohormonas (giberelinas y citoquininas) y poliaminas (mensajeros de la inducción floral); (iv) la absorción de amonio reduce el pH de la zona radicular, facilitando la absorción de otros nutrientes.

En Argentina se encuentra disponible el fertilizante nitrogenado a base de urea más 3,4 di- metil Pirazol Fosfato (DMPP), cuyo nombre comercial es NovaTec solub 45 de la empresa compo. Por las características con las que cuenta este tipo de inhibidor de la nitrificación, podría existir un aumento en la eficiencia de uso del N del sistema suelo-planta ante el agregado de esta fuente, bajo condiciones de riego gravitacional, evitando en parte su lixivado.

La adopción del maíz dentro de los planteos productivos está mayoritariamente condicionada por la rentabilidad que el cultivo le aporta al productor, donde la relación de precios entre el N y el grano de maíz tiene gran relevancia en la definición de los niveles de N a aplicar. En este sentido, no solo es importante conocer el óptimo técnico sino el económico (DOE) al usar diferentes fuentes. Estos se obtienen a partir de la ley de rendimientos marginales decrecientes. Según esta ley, a partir de cierto nivel de empleo, se obtienen cantidades de producto sucesivamente menores al añadir dosis iguales de un factor variable, a una cantidad fija de un factor (Mochon y Beker, 2008). La dosis óptima de N en una función de producción es aquella que ante niveles crecientes de N, el último nivel de N o agregado marginal, se paga por el aumento de rinde que produce esa dosis de N marginal.

Numerosos modelos de respuesta a la aplicación de N han sido utilizados para definir la DOE, no existiendo consenso respecto de cuál es el más conveniente (Nelson *et al.*, 1985; Barreto & Westerman, 1987; Blackmer & Meisinger, 1990). Para tal fin, en algunos trabajos se recurre al modelo que arroje los resultados más racionales desde el punto de vista agronómico (Pagani *et al.*, 2008).

Hipótesis

La utilización de una fuente de nitrógeno de liberación lenta como fertilizante en el cultivo de maíz mejora la eficiencia de uso de dicho nutriente y un mayor beneficio económico, respecto de la urea, viéndose reflejado en los principales componentes del rendimiento, i.e. peso y número de granos.

Objetivo general

Evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno con un fertilizante de liberación lenta en maíz bajo riego gravitacional en comparación con urea y conocer el beneficio económico para cada fuente.

Objetivos específicos

- Determinar la respuesta en el índice de verdor (SPAD), materia seca total, RFAi, peso y número de granos del maíz bajo riego gravitacional a dosis crecientes de nitrógeno aplicado bajo dos formas de liberación.
- Determinar la eficiencia de uso de nitrógeno en maíz.
- Establecer el óptimo técnico y económico para cada fuente de nitrógeno estudiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El ensayo se realizó en el kilómetro 978 de la ruta nacional N° 3, parcela A1 del IDEVI (Instituto de Desarrollo del Valle Inferior), en la Provincia de Río Negro. El mismo se llevó a cabo durante la campaña 2015 / 2016. A continuación se detallan las coordenadas geográficas donde se llevó a cabo el ensayo: 40° 47' 46" S, 63° 09' 54".



Figura 2. Localización del trabajo.

Caracterización edafoclimática del valle inferior del Río negro

El clima del valle inferior del Río Negro (VIRN) se clasifica según Thorntwaite (1948) y Burgos y Vidal (1951) como semiárido mesotermal, con nulo exceso de agua y baja concentración térmica estival. Papadakis (1960) por su parte, lo clasifica como “peripampeano semiárido casi marítimo”, totalizando una pluviometría media anual de 408 mm, concentrándose más del 60% de esta en los meses primavera - estivales. Presenta un régimen térmico moderado por efecto marítimo. En la Figura 3 se observa la radiación solar global promedio para el mes de enero en la República Argentina, mostrando a la zona como una de las que más radiación recibe durante el periodo crítico del cultivo de maíz del país. En cuanto al comportamiento térmico del valle se presentan temperaturas máximas no excesivas, con una media de diez días con temperaturas supra-óptimas (máximas por sobre 35°C) que podrían afectar el rendimiento en todo el ciclo (Reinoso *et al.*, 2018). Por el contrario, en la zona núcleo maicera argentina la probabilidad de ocurrencia de temperaturas superiores a 35 °C es 2 a 3 días de cada 10 para diciembre, enero y febrero, totalizando entre 25 y 30 en el ciclo. (Rattalino y Otegui, 2013). Debido al efecto moderador del océano Atlántico, la duración de los procesos de crecimiento se prolongan más allá de la iniciación del otoño. Esto permite disponer al cultivo de más días de fotosíntesis en el ciclo, pudiéndose alcanzar, gracias a esta combinación de factores, altos rendimientos para el cultivo de maíz en los valles norpatagónicos (Reinoso, 2014).

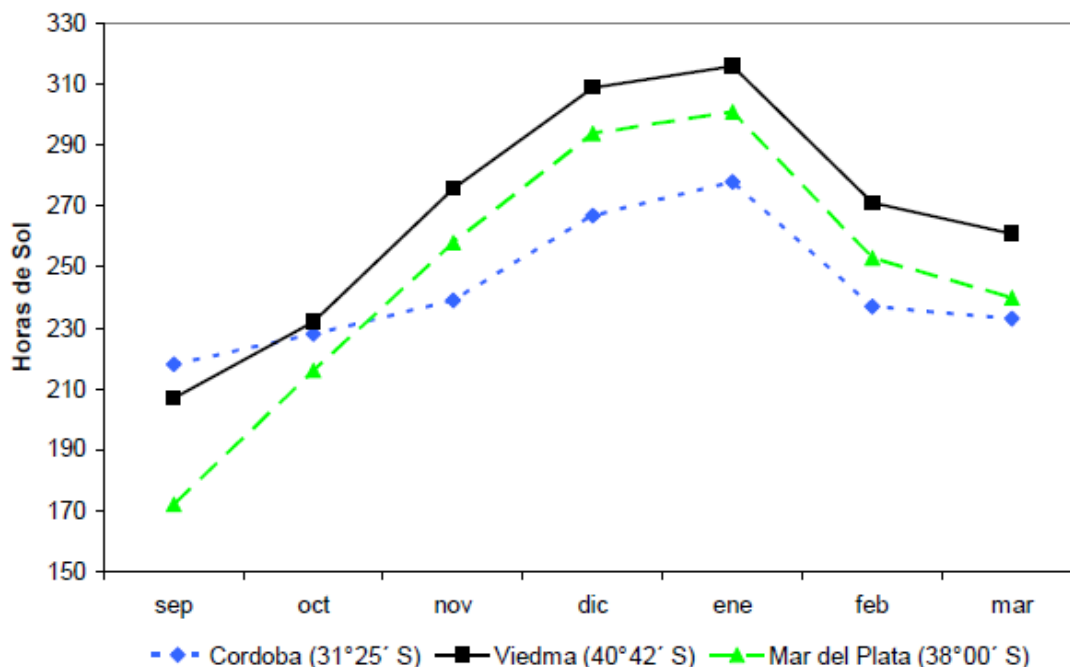


Figura 3. Sumas mensuales de horas de sol efectivas en tres ciudades argentinas. (FAO, 1969 citado por Reinoso, 2014).

Según registros de la estación agro - meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Rio Negro (EEAVI) para una serie de 44 años, el valle presenta una temperatura media anual de 14,1 °C, la temperatura máxima media anual es de 20,9 °C, registrándose en los meses de diciembre enero y febrero las temperaturas medias máximas más elevadas. En cuanto a la temperatura mínima media anual, la misma es de 7,9 °C, para los meses de junio, julio y agosto. El promedio de días libres de heladas meteorológicas es de 199, ocurriendo la fecha media de primera helada el 1° de mayo, mientras que la fecha media de la última es el 13 de octubre.

Caracterización de Suelos

El IDEVI está desarrollado sobre sedimentos aluvionales depositados por procesos fluviales recientes, con presencia de estratificaciones que tienen origen en dos reiteradas introgresiones marinas. En general, dominan suelos de textura

media a fina. El relieve es plano con pequeñas ondulaciones con formación de cordones que superan en algunos casos los dos metros de altura (Reinoso, 2014).

En general las pendientes que se dan tanto en sentido longitudinal como transversal al río son bajas (menos del 1%). La elevación media sobre el nivel del mar se encuentra alrededor de los 4 mts de altura. Las cotas más altas del terreno, entre 5 y 6 mts, corresponden a lomadas que en forma de cordones se distribuyen por toda la superficie del valle, pero con prevalencia en el sector norte.

A continuación se presentan algunas variables del suelo en el sitio de ensayo, importantes a tener en cuenta antes de llevar adelante un cultivo.

Tabla 1. Características físico químicas del lote de ensayo, previo a la siembra. Muestra tomada de los primeros 20 cm del suelo.

Parámetro	Resultado
pH	7,6
C.E (dSm ⁻¹)	1,17
RAS	8,7
Materia orgánica (%)	4,2
Nitrógeno total (%)	0,206
Fósforo (ppm)	16,7

Las metodologías empleadas para la realización de los análisis fueron, extracto de saturación, para determinación de pH por potenciometría, Conductividad eléctrica (C.E) por resistividad y RAS mediante determinaciones de concentración de sodio por fotometría de llama y Ca y Mg por complexometría. Se determinó materia orgánica por semi-micro Walkley y Black. Mientras que para determinación del contenido de fósforo, se utilizó la metodología propuesta por Olsen (extracción con bicarbonato de sodio) ya que se ajusta mejor para suelos con pH levemente alcalinos (Mckean, 1993).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial en bloques completos al azar con tres repeticiones cada uno, dos fuentes de nitrógeno, una de liberación rápida (urea granulada) y otra de liberación lenta (urea + inhibidor de nitrificación DMPP) en el cultivo de maíz y cuatro dosis de fertilización. Las dosis de N utilizadas fueron las siguientes: 0 (0N), 70 (70N), 140 (140N) y 210 (210N) kg ha⁻¹. El tratamiento con nitrógeno 0, actuó como testigo. Cada parcela tuvo 6 surcos y un largo de 5 m, con un total por parcela de 21 m².

Elección del cultivar

El híbrido con el que se trabajó fue el SRM566 de la empresa Sursem, que cuenta con tecnología RR que ayuda a facilitar el control de malezas. Entre las principales características que hicieron optar por este material, según catálogo del vendedor, se pueden mencionar: ciclo largo, con una madurez relativa de 125 días, 76 días a floración, el tiempo térmico entre emergencia y floración de 700 a 710 °C.día⁻¹, el número de hileras de mazorca a cosecha suele variar entre 16 y 18, pudiendo alcanzar una altura de planta de 2,2 m, alta resistencia frente a enfermedades de espiga, otorgándole estas características un muy buen potencial de rendimiento. El mismo se adapta a las condiciones ambientales del sur de la provincia de Buenos Aires.

Preparación de la cama de siembra

Las labores previas incluyeron dos pasadas de rastra, la primera el 14 de septiembre, la segunda el 7 de octubre y una de cincel, inmediatamente después de esta última, a modo de dejar una cama de siembra profunda, para facilitar el posterior desarrollo radicular del cultivo. Luego, en el momento de la siembra, se conformaron los surcos a una separación de 0,7 m entre sí y se depositó la semilla

con una sembradora adaptada a este sistema marca “el pato”. La misma es de dos surcos y va montada sobre el sistema de tres puntos del tractor (fotografía 1), otorgándole fácil maniobrabilidad y demandando poca potencia. Puede conformar el camellón y sembrar a la vez, o hacer las labores por separado, según las necesidades del productor.



Fotografía 1. Siembra de maíz en surcos con sembradora adaptada.

La fecha de siembra del cultivo fue el 12 de noviembre, realizándose el primer riego el 16 del mismo mes. La fecha de emergencia se dio el 25 de dicho mes. El control de malezas se realizó en post emergencia, el 16 de noviembre al estado de tres hojas verdaderas (V3), (Ritchie y Hanway, 1982), utilizando glifosato al 66% de i.a con una dosis de 3,5 l. ha⁻¹.

Variables evaluadas en el cultivo de maíz

Fenología

Las distintas fases y momentos del ciclo del cultivo se determinaron en base a la escala propuesta por Ritchie y Hanway (1982). Para la determinación de las distintas fases del ciclo se consideró que el cultivo estaba en un estadio cuando el

50 % de las plantas alcanzaban esa fase (Maturano, 2002). Las fechas en que se fijaron las mismas, se han referido con el número de días transcurridos desde emergencia y con el tiempo térmico (TT) acumulado, con una temperatura base de 10°C, ya que el híbrido tiene origen en zonas templadas (Tollenaar *et al.*, 1979) y en base a lo recomendado por el gerente técnico de desarrollo de la empresa Sursem, Hector Chavez (comunicación personal). Se registraron los siguientes estados ontogénicos: emergencia (VE), dos hojas verdaderas (V2), entendiéndose por hoja verdadera a aquella que se encuentra totalmente expandida, seis hojas verdaderas (V6), aparición de estigmas (R1) – silking – (plantas con barbas visibles) y madurez fisiológica (R6), esta se da cuando el grano se encuentra entre el 75% de la línea de leche y comienzos de capa negra, en la porción central de la espiga. El cálculo de TT se efectuó mediante la siguiente expresión:

$$TT = \sum_n (T_{med} - T_b) \dots\dots\dots (Ec. 2)$$

Donde: TT, expresado en ° C; T_{med} , temperatura media del aire expresada en °C; T_b , temperatura base de desarrollo, expresada en °C; y n: número de días considerados en el sumatorio (Σ).

Riegos y Precipitación

El tipo de riego empleado es gravitacional, ya que este es el que se utiliza comúnmente en el VIRN. El valle cuenta con una red de canales externos que acercan el agua desde el río hasta las parcelas de los productores y estos desde allí la toman y la conducen por canales y acequias internas hasta llegar a cada uno de los lotes, pudiendo efectuar los riegos con boquetes, sifones o caños, según el tipo de cultivo, la pendiente del terreno y el tipo de conducción, que puede ser en surcos o en plano. En este caso se optó por la primera alternativa a 0,7 m de separación, debido entre otras cosas a la maquinaria disponible y a la facilidad operativa de este sistema. Posteriormente, el excedente de agua es

recogido por los drenes externos, encargándose estos, por medio de estaciones de bombeo, de devolverlos al río (Schindler, 2013).

Se contabilizaron el total de los riegos efectuados, tomándose registro de la fecha en la cual se realizó cada uno y paralelamente se tomaron los registros de precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, de manera de tener el total de agua recibida por el cultivo.

Evapotranspiración del cultivo (ETc) y coeficiente del cultivo (Kc)

Los datos necesarios para la obtención de la evapotranspiración de referencia, fueron brindados por la estación meteorológica de la EEAVI, ubicada próxima al ensayo. Los valores se calcularon según la ecuación de FAO-Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), para la evapotranspiración de referencia diaria (mm.día^{-1}). Para la determinación de la evapotranspiración de cultivo, se siguió la metodología empleada por Fao N° 56 (1998) en la cual, los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto de referencia están incorporados en el coeficiente del cultivo (Kc). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc. Finalmente, los valores de Kc inicial, de desarrollo, medio y final fueron obtenidos de los resultados locales encontrados por Torretta (2017) para el cultivo de maíz.

Intercepción de radiación

La producción de materia seca (MS) está estrechamente vinculada con la utilización de la radiación solar incidente (R_i), de la capacidad del conopeo para interceptarla (RFA_i) y la eficiencia del cultivo para transformarla (EUR). En este sentido, la intercepción de la radiación solar incidente que asegura las máximas tasas de crecimiento del cultivo, se encuentra cuando el índice de área foliar (IAF) aumenta hasta alcanzar el nivel crítico, que permite captar el 95% de la radiación incidente (Gardner *et al.*, 1985). En este trabajo se realizaron mediciones de intercepción de radiación al estado de R1 Ritchie y Hanway (1982). Para la medición de la intercepción de radiación solar por el cultivo se registraron los

valores de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el cultivo utilizando un ceptometro o sensor lineal quantumR (Cavadevices, B.A, Argentina, Fotografía 2), integrando el flujo de fotones recibido en un metro lineal. Se realizaron 5 mediciones para todas dosis de nitrógeno ensayadas tanto con urea como Novatec en R1. La barra se ubicó desde el centro de un entresurco hasta el centro del entresurco contiguo durante el mediodía solar, en días soleados, de acuerdo a la metodología propuesta por Gallo y Daughtry (1986).



Fotografía 2. Ceptometro utilizado para la medición de la radiación fotosintéticamente activa.

Biomasa aérea

Se determinó la biomasa aérea acumulada de tres plantas por parcela cortadas a nivel del suelo sobre los surcos del centro, en el estado de V2, esto es, antes de aplicar los tratamientos, luego se repitió el procedimiento en los estados fenológicos de V6, floración femenina y cosecha. Estas plantas fueron trozadas y posteriormente secadas en estufa a 65° C, hasta peso constante, determinándose posteriormente la productividad de materia seca acumulada en tallo más hojas en estados vegetativos, y grano, tallo, hojas y marlo en estado.

Determinación del nitrógeno acumulado en biomasa aérea

Se determinó la concentración de N por método Kjeldahl, en los estados fenológicos de R1 (planta entera) y R6 (grano, marlo, y tallo más hojas por

separado). Para ello se tomaron alícuotas de aproximadamente el 10% de su peso y se realizó una molienda con malla de 1 mm. Sobre esas moliendas se determinó mediante análisis de laboratorio (Kjeldahl) la concentración de nitrógeno total por separado de; grano y planta entera en madurez fisiológica y planta entera a floración. Luego se determinó mediante la multiplicación por el factor 6,25 la concentración de proteínas en cada caso (García Martínez, 2011).

Rendimiento y sus componentes

A cosecha se determinó el rendimiento en grano y sus componentes, tales como, peso de mil granos, número de plantas por m² y de espigas a partir de plantas cosechadas de los dos surcos centrales, sobre una superficie de 2,8 m². Las espigas se trillaron, posteriormente se pesaron las muestras de grano limpio y se determinó el contenido de humedad. Se determinó el peso promedio de mil granos por cada tratamiento y repetición. Se estimó también el número promedio de granos por m², calculado a partir del peso total de granos por m² y peso promedio del grano, expresados ambos, con el mismo contenido de humedad (14,5%).

Índice de verdor

Existen diversos métodos para determinar requerimientos de N en los cultivos, desde los que emplean un balance entre demanda y suministro de N, los cuales requieren de análisis de laboratorio, otros métodos utilizan equipos portátiles, como el medidor de nitratos en savia y el estimador de clorofila, hasta sensores remotos. El SPAD® 502 es un equipo portátil, no destructivo, que determina el verdor de las hojas y cuyas lecturas tienen una alta correlación con el contenido de N en la planta utilizándose para diagnosticar requerimientos de N en cultivos (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998; Zebarth et al., 2002).

En este trabajo se realizaron mediciones de índice de verdor con el mencionado equipo en V8, R1 y R6 en todos los tratamientos. Para las mismas, se tomó el valor promedio obtenido de diez mediciones por parcela experimental, tomando siempre como referencia las hojas medias de la planta y al azar.

Eficiencia de uso de nitrógeno

En la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) se distinguen dos factores de importancia, basados en los procesos fisiológicos más importantes: a) La eficiencia en la absorción de N, que es la cantidad de N en la planta a madurez fisiológica por unidad de N disponible en el suelo, y b) la eficiencia en el uso del N, que es la cantidad de grano producido por unidad de N en la planta en madurez fisiológica (Huggins y Pan, 1993).

Para cuantificar la dinámica de nitrógeno del sistema suelo - planta se utilizó la ecuación de balance de este nutriente (Meisinger, 1984).

A continuación se presenta la metodología utilizada para la obtención del balance de N:

El nitrógeno mineralizado se estimó de acuerdo a la ecuación 2:

$$N_{min} = N_{tR6} + N_{hR6} - N_r \cdot E \dots\dots\dots (Ec. 3)$$

Dónde, N_{min} ($kg\ ha^{-1}$) es el nitrógeno mineralizado durante el ciclo, N_{tR6} es el contenido de nitrógeno en las plantas estudiadas en el estado de R6 ($kg\ ha^{-1}$), N_{hR6} es el contenido de N de nitratos en el suelo en R6 ($kg\ ha^{-1}$), N_r es el nitrógeno residual inorgánico previo al desarrollo del cultivo (equivalente a N de nitratos en el suelo a la siembra en $kg\ ha^{-1}$) y E es la eficiencia de uso del nitrógeno inorgánico inicial. El valor de la eficiencia de uso del nitrógeno inorgánico inicial (E), a los fines de los cálculos se consideró igual a 0,5 (Meisinger, 1984).

Para evaluar la eficiencia de uso de nitrógeno se utilizó la metodología de Huggins y Pan (1993), mencionado por Maturano (2002).

El valor del nitrógeno presente en el suelo (N_p), se obtuvo de acuerdo a la ecuación 3.

$$N_p = N_f + (N_r + N_{min}) \dots\dots\dots (Ec. 4)$$

Donde, N_f es el nitrógeno aportado por el fertilizante (kg ha^{-1}), N_r es el contenido de nitrógeno residual inorgánico previo al crecimiento del cultivo (kg ha^{-1}) y N_{min} es el nitrógeno mineralizado durante el ciclo de cultivo (kg ha^{-1}).

También se calculó el nitrógeno disponible de acuerdo a la ecuación 4:

$$N_{\text{disp}} = N_{\text{tR6}} + N_{\text{hR6}} \dots \dots \dots \text{ (Ec. 5)}$$

Donde, N_{disp} es el nitrógeno disponible (kg ha^{-1}), N_{tR6} es el contenido nitrógeno en la planta en estado de R6 (kg ha^{-1}) y N_{hR6} es el contenido de N de nitratos en el suelo en R6. Las pérdidas de N por volatilización no fueron consideradas ya que se efectuó un riego luego de cada a cada fertilización.

A partir de estos cálculos, se estimaron las siguientes variables:

- Eficiencia en el uso del nitrógeno presente (Rg Np^{-1})
- Eficiencia de absorción (NtR6 Np^{-1})
- Eficiencia de utilización (Rg .NtR6^{-1})
- Eficiencia de acumulación de nitrógeno en el grano (NG Ndisp^{-1})
- Índice de cosecha del Nitrógeno (Ng NtR6^{-1})

Donde R_g es el rendimiento en grano a 14,5% de humedad.

En este trabajo para obtener el nitrógeno disponible a la siembra y a cosecha, se realizaron análisis de nitratos a dos profundidades; 0-30 cm y 30-60 cm. Con la aplicación de la ecuación antes mencionada, se realizó la interpretación de los niveles de nitrógeno en el sistema.

Análisis económico

Teniendo en cuenta la relevancia que representan los fertilizantes nitrogenados dentro del costo de producción del cultivo, se hizo necesario llevar a cabo un análisis económico que permitió determinar aspectos tales como el óptimo económico (OE) definido como el nivel de nitrógeno por encima del cual mayores

aplicaciones de N no redundarán en un mayor beneficio económico (Nelson *et al.*, 1985) y el técnico (OT), definido como el nivel de nitrógeno para el cual, la producción alcanza su máximo (Lanfranco y Helguera, 2008).

Para la obtención del óptimo económico se elaboraron las curvas de ingreso marginal (Img) y costo marginal (Cmg), el mismo se alcanza en el punto de intersección entre ambas. Mientras que para obtener el OT, se construyeron previamente las funciones de producción y como ya se mencionó, el OT se encuentra con el máximo producto total, esto es cuando el Img llega a cero (Nelson *et al.*, 1985. Ambos análisis se llevaron a cabo para cada fuente utilizada en el ensayo. Siendo un complemento al análisis técnico que se llevó adelante en este trabajo.

La función de producción se obtuvo mediante la siguiente ecuación, empleada por Barnard y Nix (1984):

$$\Delta y/\Delta x = P_x/P_y \dots\dots\dots (Ec. 1)$$

Dónde, $\Delta y/\Delta x$ es la primera derivada de la función ajustada, P_x es el precio por Kg^{-1} de N, P_y es el precio de venta por Kg^{-1} de maíz. Se trabajó con dos relaciones de precios insumo/ producto diferentes, una actual, tomada a julio de 2018 y una histórica, que abarca el periodo 1997: 2007.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de biomasa (V2, V6, R1 y R6) RFAi (R1), índice de verdor (V8, R1 y R6) extracción de N del suelo (R6), rendimiento en grano, nitratos a cosecha, EUN y sus variables asociadas, fueron sometidos a un análisis de varianza de dos factores mediante la utilización de programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013). Las fuentes de variación analizadas fueron fuentes, dosis y la interacción fuentes x dosis. Las medias obtenidas se compararon mediante el test de Lsd de Fisher el nivel de riesgo elegido en alfa, fue fijado en todos los casos en 5 %.

A la RAFi, al índice de verdor y a las funciones de producción del cultivo con urea y novatec, se les realizó un análisis de correlación (R), siendo R el grado de asociación lineal entre dos variables X e Y. Posteriormente se realizó un análisis de determinación (R^2), para obtener la proporción de la variación en una variable, explicada por la otra. La selección del modelo matemático se realizó teniendo en cuenta la parte de la varianza que explicaba el modelo (coeficiente de determinación, R^2), y la significación agronómica del mismo, privilegiando siempre aquellos modelos con menor número de parámetros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riegos, precipitación, ETo y ETc

En la Tabla 2 se presentan los riegos efectuados durante el ciclo del cultivo, la lámina aproximada de agua aplicada y las precipitaciones recibidas. Tabla 2. Riegos efectuados, precipitación recibida y láminas de agua aplicadas en milímetros para el ciclo del cultivo.

Riegos y precipitaciones (mm)			
Fecha	Riegos	Lámina aplicada	Precipitaciones
16/11/2015	1°	200	
14/12/2015	2°	150	
02/01/2016	3°	150	38
19/01/2016	4°	150	
24/01/2016			28
29/01/2016			43
06/02/2016			10
16/02/2016			22
18/02/2016			12
25/02/2016	5°	150	
14/03/2016			4
28/03/2016	6°	150	3
13/04/2016			2
Total	6	950	162

En la Tabla 3 se presenta la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo) para el ciclo del cultivo, ambas expresadas en milímetros.

Tabla 3. ETc y ETo para el cultivo de maíz calculados en base a los datos suministrados por la EEAVI.

ET (mm)			
	Kc	ETc	ETo
Inicial	0,45	54,3	120,7
Desarrollo	0,8	113,4	142,9
Medio	1,2	294,4	245,3
Final	0,66	177,9	206,5
		640	715

De la Tabla 2, se puede apreciar que se totalizó entre el aporte de agua proveniente de las lluvias y el de los riegos, 1112 mm a lo largo del ciclo del cultivo. Este valor es superior a la demanda evapotranspirativa del cultivo que ronda los 650 mm (Torretta, 2017) y se puede apreciar en la Tabla 3, para el período en el cual estuvo implantado.

Fenología

En la Tabla 4 se presenta la fecha de ocurrencia, los días y el tiempo térmico transcurrido desde siembra, para diferentes estados fenológicos del cultivo de maíz.

Tabla 4. Fenología del cultivo, fecha de ocurrencia, días transcurridos desde la siembra y tiempo térmico con temperatura base 10 °C.

Estado fenológico	Fecha	Días desde siembra	Tiempo térmico (°C.día ⁻¹)
Semilla	12/11/2015		
VE	25/11/2015	13	68
V2	11/12/2015	29	148
V6	29/12/2015	47	344
R1	01/02/2016	81	706
R6	12/04/2016	154	1344

De la Tabla 4 se desprende que los valores de tiempo térmico hallados para cada una de las etapas fenológicas registradas, se asemejan a los mencionados por el catálogo comercial para maíces de zonas templadas, sin apreciarse diferencias debidas a las fuentes de N. En lo que respecta a la disponibilidad de N, el tratamiento testigo (0N) floreció 2 días más tarde que los tratamientos fertilizados. Estas diferencias representan en tiempo térmico 40 °C° aproximadamente. Maturano (2002) encontró diferencias de 32 °C anticipando la antesis en maíz cuando la dosis de nitrógeno se incrementó de 36 a 90 kg.ha⁻¹.



Fotografía 2. Emergencia del cultivo (25/11/2017).

Biomasa producida

En la Figura 4 se presenta la acumulación de biomasa aérea para los estados fenológicos de V2, V4, R1 y R6, para los diferentes tratamientos. Se puede observar que la acumulación de biomasa es similar para todos los tratamientos, hasta V6 (diferencias no significativas, Tabla 4 y Fotografía 3) arrojando valores que no superaron los 600 kg.ha⁻¹ de materia seca. Esto sería de esperar, ya que por un lado, es este el momento en el cual se fertilizó el ensayo y por otro, porque a partir del estado de seis hojas, comienza un período de rápida elongación del

tallo, aunque la rápida acumulación de biomasa comienza en torno a V10 y se prolonga hasta la etapa reproductiva avanzada (Fassio *et al.*, 1998)

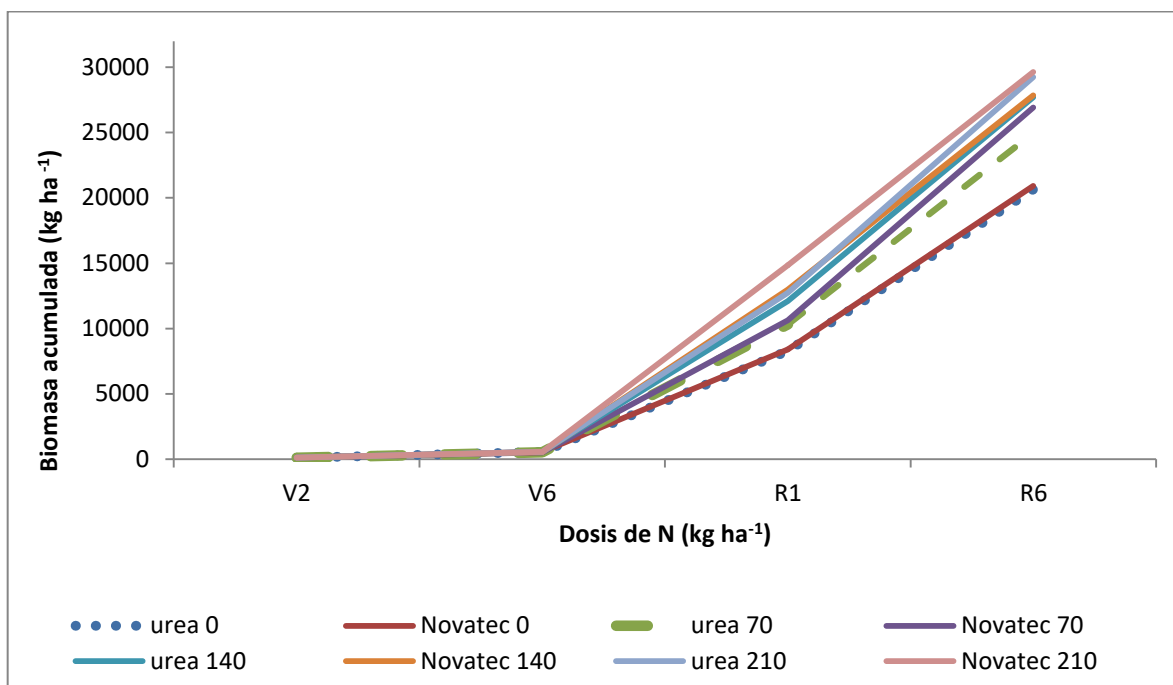


Figura 4. Acumulación de biomasa aérea para distintos estados fenológicos, en función de los diferentes tratamientos.

No se halló interacción fuente por dosis en ninguna fecha de muestreo estudiado (Tabla 5). No se encontraron diferencias significativas de acumulación de biomasa aérea debido a la fuente de nitrógeno utilizada en ninguno de los estados fenológicos analizados. En cuanto a las dosis, no se encontraron diferencias en los estados vegetativos (V2 y V6). En R1 y R6 se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas debido a la dosis. Las diferencias debidas a las dosis nitrogenadas en R1 separan el nivel N0 de los tres niveles superiores (70, 140 y 210 kg N ha⁻¹) y el tratamiento de mayor fertilización (210N) de las dosis intermedias (70 y 140 kg N ha⁻¹) cuya producción de MST fue similar.



Fotografía 3. Vista de todos los tratamientos al estado de dos hojas, previo a la fertilización.

Tabla 5. Biomasa aérea acumulada para diferentes estados fenológicos (V2, V6, R1 y R6) a dosis crecientes de N, usando urea y Novatec como fuentes. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Factor	Nivel	V2	V6	R1	R6
Fuente	NOVATEC	122,8 a	554,2 a	11508 a	26449,3 a
	UREA	122,5 a	553,4 a	10675 a	25849,2 a
DMS		2,99	9,59	854,7	611
Significación		NS	NS	NS	NS
Dosis	N0	123,6 a	555,1 a	8287,4 a	20338 a
	N70	122,8 a	551,1 a	10944,3 b	26080 b
	N140	122,5 a	554,1 a	11960,6 b	28253 c
	N210	121,8 a	554,8 a	13176,4 c	29924 d
DMS		4,23	13,56	1208,5	865
Nivel de significación		NS	NS	0,01	0,01
Novatec	210	124,3	561	13860	30001
urea	210	123,3	558	12492	29848
urea	140	123	555	12158	28266
Novatec	140	123	554	11762	28240
Novatec	70	122,3	552	11620	27061
urea	70	122	550	10268	25099
Novatec	0	122	549	8396	20494
urea	0	121,6	549	8178	20182
Interacción		NS	NS	NS	NS

Las diferencias encontradas fueron altamente significativas separando todas las dosis entre sí (Tabla 5). Los tratamientos sin fertilizar no superaron los 21000 kg.ha⁻¹ de acumulación de materia seca presentando una disminución clara en la producción de materia seca total para el tratamiento 0N, en relación a los fertilizados. Los tratamientos con 70 kg.ha⁻¹ de N como urea y Novatec acumularon aproximadamente un 17% (24960 Kg MS.ha⁻¹) y un 23% (26910 Kg MS.ha⁻¹) más, respectivamente que los testigos; alcanzando valores similares a los reportados por Reinoso (2014) para el VIRN. En tanto, que los de 140N, obtuvieron un 25% más aproximadamente de acumulación de biomasa que los no fertilizados, Finalmente, las dosis más altas de fertilización, acumularon un 30% más de MS que los testigos para ambas fuentes; urea (29250 Kg MS ha⁻¹) y Novatec (29640 Kg MS ha⁻¹).

El patrón de crecimiento y acumulación de materia seca encontrada en el presente trabajo es consistente con los descriptos por numerosos autores (Duncan, 1975; Barloy, 1984; Andrade *et al.*, 1996).

Uhart *et al.* (1995) encuentran, en un ensayo de maíz bajo riego, disminuciones de 59 y 68 %, en la MST, 15 días después de la floración y en R6, respectivamente, como respuesta a una deficiencia nitrogenada en el cultivo de maíz. Jokela y Randall (1989) encontraron incrementos en el rendimiento del cultivo con dosis crecientes de N, desde 0, 75, 150 y 225 kg de N. ha⁻¹ en maíz en suelos arcillosos en el sur de Minnesota, Estados Unidos.



Fotografía 4. Porte de plantas en floración femenina.

Intercepción de radiación al estado de R1

Existe respuesta positiva de la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFAi), en floración del cultivo al incremento en la dosis de nitrógeno suministrado independientemente de la fuente utilizada (Figura 5). Al analizar RFAi por el cultivo no se encontró interacción entre fuentes (urea y Novatec) en función de la dosis (p -valor = 0.476), ni diferencias estadísticas significativas debidas a la fuente de N utilizada ($p > 0,05$), lo que pone de manifiesto que se podrían utilizar ambas fuentes indistintamente para suministrar nitrógeno al cultivo en las dosis ensayadas. El efecto del N sobre la RFAi, cuando las plantas alcanzaron R1, fue significativo ($p < 0,05$), hallando en los tratamientos con 210N un 10 % más de RFAi que las parcelas con N0 (Figura 5). En cuanto a las dosis utilizadas, se hallaron diferencias estadísticamente altamente significativas ($p < 0,001$) entre los tratamientos testigo y 70N respecto de la dosis máxima (Figura 5). Para que el maíz logre una alta producción de materia seca, el cultivo debe generar tempranamente altos valores de índice de área foliar (IAF) que permitan

interceptar rápidamente la máxima proporción de radiación solar incidente que se logra una vez alcanzado el valor mínimo de IAF con el cual el 95 % de la radiación solar incidente es interceptada, denominado IAF crítico. En los tratamientos 140N y 210N se alcanzaron valores de RFAi por encima de 90% que no limitarían por fuente de foto asimilados la tasa de crecimiento del cultivo ni la producción de materia seca total. Datos similares fueron hallados por Temon *et al* (2005), quienes evaluando la respuesta del maíz ante cambios en la oferta de N en Paraná, Entre Ríos, Argentina, encontraron que la escasez de N redujo la producción de biomasa, el área foliar y la RFAi a floración. De encontrarse en este trabajo diferencias en alguno de los componentes del rendimiento entre las dosis de N y/o en la fuente, se podrían atribuir a la modificación de eficiencia de conversión de RFAi en biomasa (ec) del cultivo ante tan pequeñas variaciones de respuesta en la RFAi (Valentinuz y Tollenaar, 2004). La eficiencia de intercepción de la radiación por los tejidos verdes del cultivo y su evolución a través del ciclo ontogénico, está determinada por las tasas de aparición, expansión y senescencia de las hojas, por la estructura de la planta (planófila o erectófila) y por factores de manejo tales como fecha de siembra, densidad, distancia entre surcos, fertilización nitrogenada, etc. Por lo que la cantidad de radiación solar interceptada acumulada por un cultivo de maíz dependerá de la duración del ciclo y de la dinámica de intercepción de dicho cultivo (Satorre *et al.*, 2004).

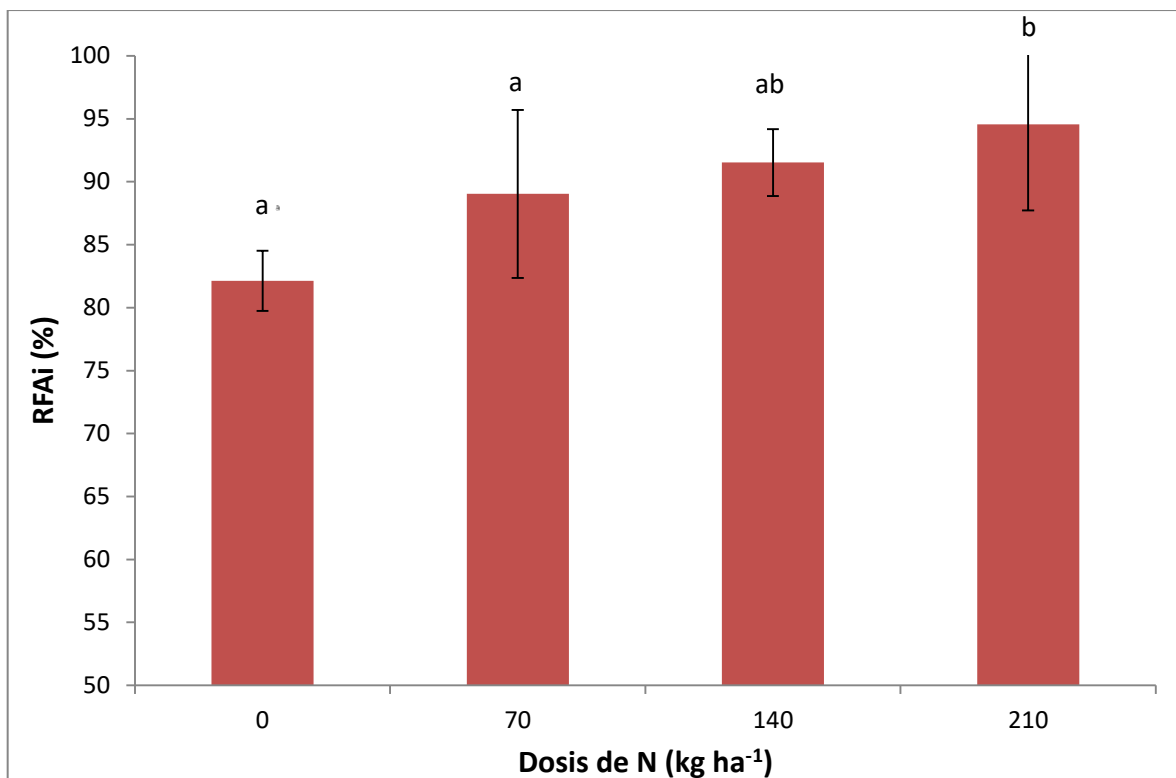


Figura 5. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFAi) en R1, en función de las dosis de N aplicadas. Valores medios en base a urea y Novatec. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Índice de verdor

Al analizar el del índice de verdor (IV), el comportamiento del mismo sugiere que existió variabilidad nutricional en los tratamientos reflejando una tendencia creciente ante incrementos en dosis de nitrógeno, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre fuentes (Tabla 6). Al comparar lo que ocurrió entre los diferentes estados fenológicos, se observa una tendencia similar para los tres estados. En V8, los valores índice SPAD alcanzados en cada tratamiento fueron inferiores que los hallados en R1 y R6, respectivamente (Figura 7), pudiéndose atribuir esto a que alrededor de V10, se da un rápido incremento en acumulación de materia seca, aumentando la absorción de N y posterior acumulación en hojas, siendo máxima en torno a floración, para luego comenzar a decrecer debido a la removilización hacia destinos reproductivos (Fassio *et al.*, 1998). Solo en V8 se encontró una diferencia entre fuentes para la misma dosis de

nitrógeno al diferenciarse urea 70 de Novatec 70. Se puede apreciar también que, al no hallarse diferencias por encima de 140 kg ha⁻¹ de N para Novatec o urea se alcanzaría el valor de saturación del índice verdor para este híbrido.

Tabla 6. Índices de verdor encontrados en tres estados fenológicos a dosis crecientes de N y con dos fuentes distintas. Medias con una letra común para cada estadio fenológico no son significativamente diferentes. Valores promedio de diez datos por visita (p < 0,05).

Fuente	Dosis	V8		R1		R6	
Novatec	210	54,63	a	63,13	a	60,07	a
urea	210	52,73	a	61,29	ab	56,5	ab
Novatec	140	51,83	ab	62,13	ab	55,83	b
urea	140	51,3	ab	58,9	ab	54,5	b
Novatec	70	48,63	b	58,63	ab	49,73	c
urea	70	45,27	bc	56,57	b	48,3	c
Novatec	0	41,2	c	48,03	c	41,7	d
urea	0	40,3	c	47,77	c	41,1	d
CV%		2,6		5,18		4,28	

Al evaluar la interacción entre fuentes para las distintas dosis ensayadas no se encontraron diferencias significativas en ningún estado fenológico. Con Novatec se hallaron los mayores índices de verdor con el tratamiento N210.

En la Figura 6 se pueden apreciar los valores de índice SPAD para ambas fuentes de fertilización utilizadas y a dosis crecientes de fertilización, en los estados fenológicos de V8, R1 y R6.

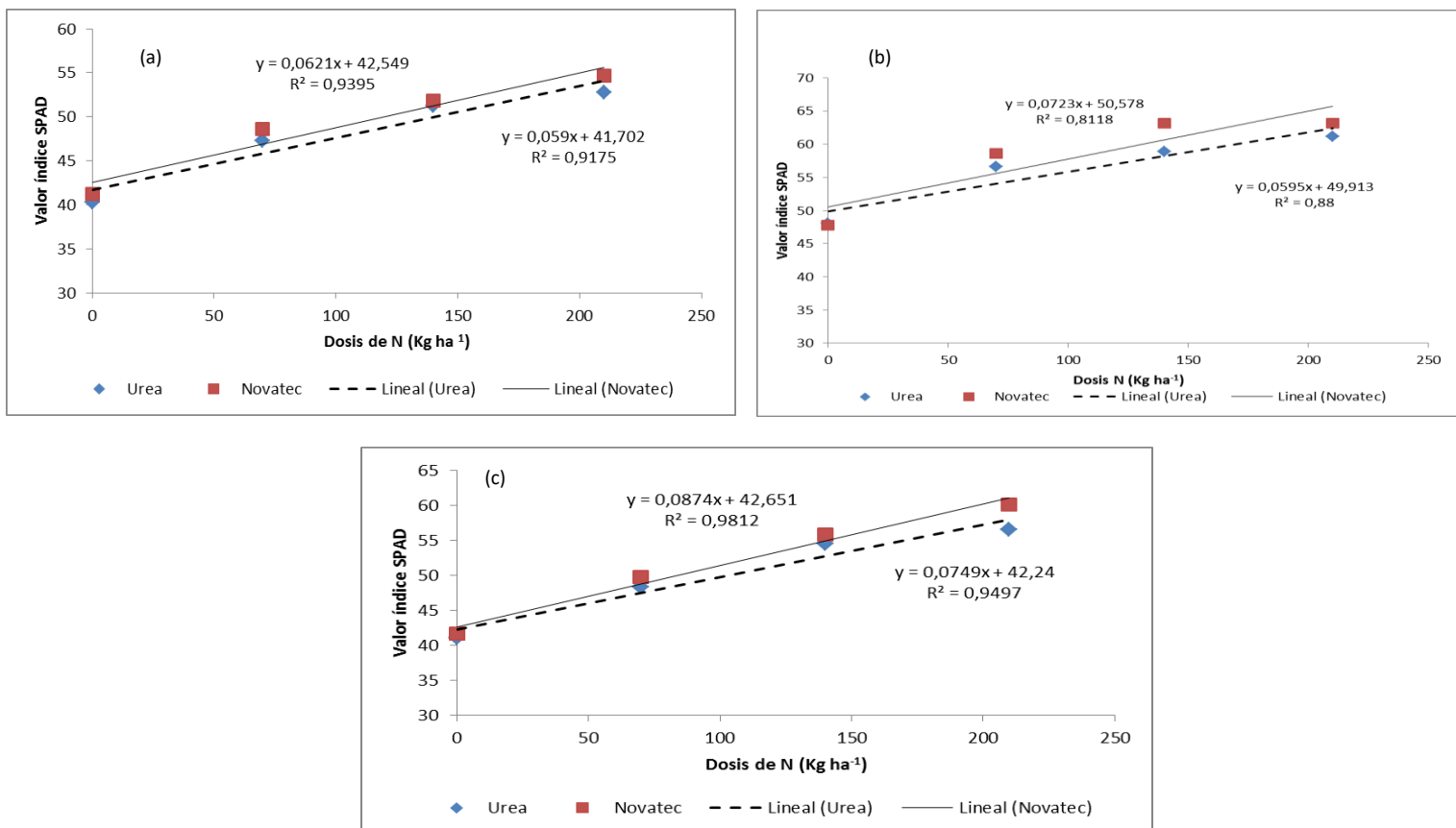


Figura 6. Valores de Índice SPAD encontrados a dosis crecientes de N, con dos fuentes utilizadas (urea y Novatec), en los estados fenológicos de V8 (a), R1 (b) y R6 (c) ($p < 0,05$).

Los resultados encontrados para los tres estados fenológicos siguen una tendencia similar que los reportados por Castellanos Reyes (2017), quienes encontraron valores índice SPAD de 49,5 al estado de seis hojas, 50,9 en diez hojas y 58,4 en torno a floración, con niveles de fertilización de 150 y 175 kg N ha⁻¹, utilizando urea como fuente. En este sentido, Novoa *et al* (2002) encontraron que a medida que se incrementa la dosis de fertilización por hectárea, el valor índice SPAD es mayor, siendo las unidades encontradas en cada tratamiento un tanto superiores en este trabajo, debido esto, posiblemente a que el cultivo contó con altos niveles de nitrógeno a la siembra (Tabla 6).

Los valores de rendimiento relativo (RR) encontrados (que es el resultado de dividir el valor de rendimiento de cada tratamiento por el valor de rendimiento del

tratamiento más alto) al estado de V8 (a) y R1 (b) se pueden apreciar en la Figura 8. Se observa un buen ajuste entre las variables mencionadas en V8 con un R^2 0,79. Al estado de R1 el mismo toma un valor de 0,65. Por lo que podría utilizarse el SPAD® 502 como herramienta de diagnóstico de deficiencias nutricionales en estados de desarrollo tempranos del cultivo (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998) y actuar en consecuencia para corregirlas.

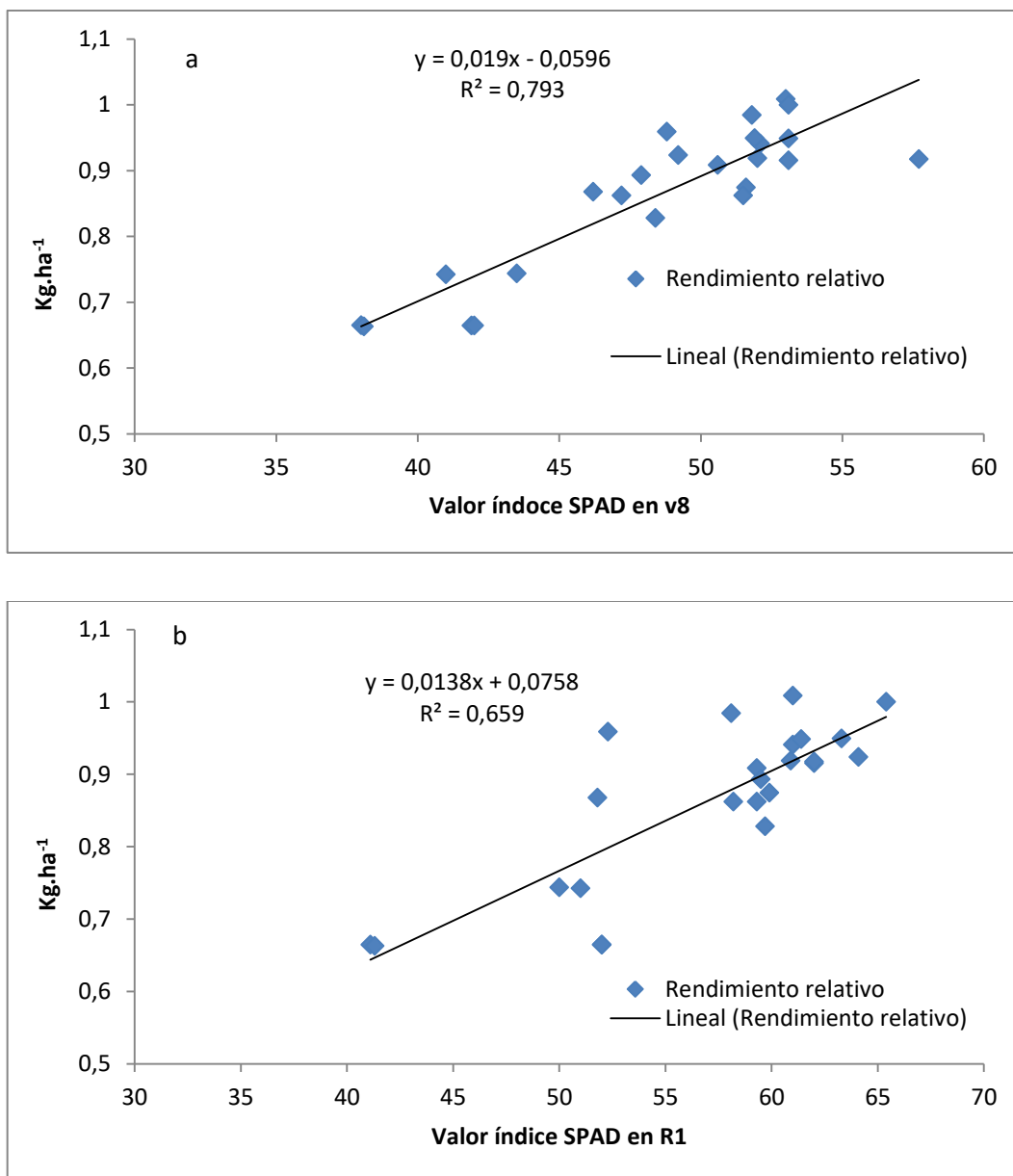


Figura 7. Rendimiento relativo en función del valor índice SPAD en maíz a dos estados fenológicos, V8 (a) y R1 (b).

Nitrógeno en el suelo

En la Tabla 7 se presenta el contenido de nitrógeno de nitratos (N-NO₃) a la siembra en los primeros 60 cm de suelo. Allí se aprecia valores aceptables de nitrógeno inicial para el cultivo, debido esto posiblemente a que el antecesor es una pastura de alfalfa. Cuando los suelos provienen de cuatro o cinco años de pasturas o campo natural, el nitrógeno disponible a la siembra, puede alcanzar valores de 130 a 150 kg ha⁻¹ y un aporte por mineralización durante el ciclo del cultivo que suele rondar los 250 kg ha⁻¹, sin limitaciones hídricas, en suelos franco arcillosos con 3,8% de materia orgánica (Andrade *et al.*, 1996).

Tabla 7. Contenidos de nitrógeno de nitratos (N-NO₃) en kg ha⁻¹ hasta 0.6 m de profundidad al momento de la siembra. El contenido inicial es un promedio de toda la parcela experimental.

Nitratos a siembra				
Profundidad (cm)	N-nitratos (ppm)	Densidad aparente (g/cm ³)	kg suelo ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹
0-30	28	1,20	3600000	100,8
30-60	13,9	1,20	3600000	50,04
Total	41,9			150,84

Cabe aclarar, que estos valores deben ser corregidos por sus respectivas eficiencias de utilización al momento de hacer el balance, para tener una idea más acertada del aprovechamiento que hará el cultivo de este nutriente. Las mismas varían entre 0,4 y 0,6 en el caso del nitrógeno inicial y entre 0,7 y 0,8 en el caso del mineralizado durante el ciclo (Meisinger, 1984).

Al analizar la extracción de N en el suelo por el cultivo, no se encontró interacción significativa entre fuente y dosis, para los estaos fenológicos analizados.

En la Figura 8 se presenta la extracción de nitrógeno del suelo de la parte aérea del maíz, en V2, R1, R6, a dosis crecientes de fertilización, con urea y Novatec como fuentes.

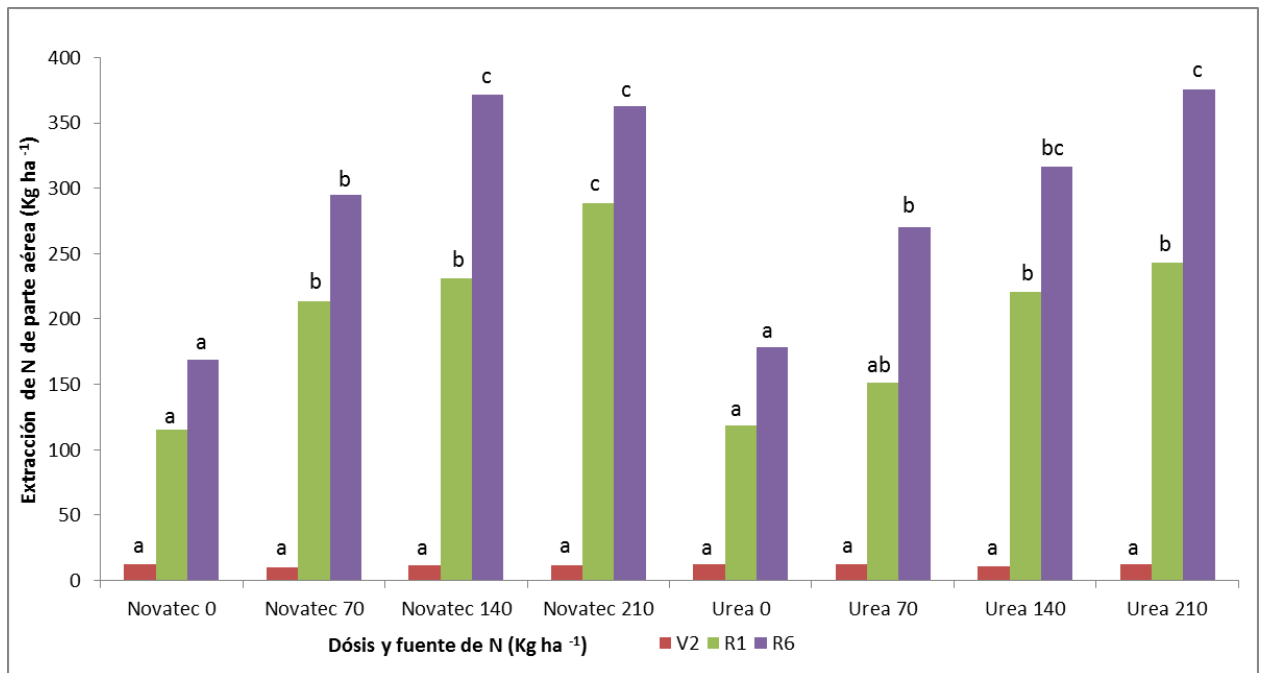


Figura 8. Extracción de nitrógeno del suelo de la parte aérea del maíz, en diferentes estados de desarrollo (V2, R1, R6), a dosis crecientes de fertilización con N, con urea y Novatec como fuentes. Medias con una letra común en cada estado fenológico y para cada fuente, no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la Figura 8 se aprecia que los valores de extracción de N encontrados en el estado de dos hojas son bajos y similares para todos los tratamientos, ya que, como se ha mencionado, la rápida absorción de N comienza en torno a V10 (Fassio *et al.*, 1998).

En floración (R1) se observa una tendencia creciente de extracción de N cuando se incrementó la dosis de fertilización, independientemente de la fuente utilizada. La diferencia más marcada se dio entre el tratamiento testigo y el de 70 kg.ha⁻¹ de N como Novatec, que extrajo un 85% más de N (115 y 230 kg N.ha⁻¹, respectivamente). Mientras que al usar urea como fuente, la mayor diferencia por hectárea en R1, se produjo entre los tratamientos de 70N y 140N, extrayendo este último un 45% más (151 y 220 kg N.ha⁻¹, respectivamente). Al comparar lo ocurrido entre fuentes, debe mencionarse que en este estado fenológico, se

encontraron diferencias significativas de extracción, para el tratamiento de 210N, en el cual 210N como Novatec, extrajo un 19 % más que 210N como urea (189 y 143 Kg N ha⁻¹, respectivamente).

Al observar lo acontecido en R6, se aprecia una tendencia creciente de extracción de N por parte del cultivo, cuando se incrementó la dosis de fertilización, encontrándose un máximo en torno al tratamiento de 140N, en el caso de Novatec, no existiendo respuestas superiores al aplicar 210N de la misma fuente (362 y 372 kg N ha⁻¹, respectivamente). Valores similares se alcanzaron para la dosis de 210N, como urea. A bajas dosis de fertilización en este estado, también se observó una marcada diferencia entre los testigos y los tratamientos de 70N. Al usar Novatec como fuente, la diferencia entre estos fue de 126 kg N ha⁻¹, en favor del segundo, representando un 74 % más de extracción. Al observar los mismos tratamientos pero con urea como fuente la diferencia fue un tanto menor (91 kg N ha⁻¹), esto es un 51 % más de extracción de N.

En líneas generales, como se evidencio previamente en los tratamientos con Novatec se obtuvieron valores de extracción de N por parte del cultivo, significativamente superiores que los encontrados cuando la fuente fue urea. Esto puede deberse en parte a un mayor tiempo de permanencia del fertilizante de liberación lenta en el suelo, permitiendo al cultivo mejorar su captación y extraer mayores cantidades de nitrógeno a lo largo del ciclo (Alonso *et al.*, 2016).

Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN)

Como ya se mencionó, la necesidad de fertilización puede ser establecida analizando el balance entre la oferta y la demanda del nutriente en el sistema suelo - planta. En la Tabla 8 pueden apreciarse los diferentes componentes de la eficiencia de uso del nitrógeno en maíz a dosis creciente de este nutriente, con dos fuentes distintas (urea y Novatec), según la metodología propuesta por Huggins y Pan (1993).

Tabla 8. Nitrógeno en planta en R6, N presente, e índices de utilización de N (EUN, Eabs, Efis, ICN).

Fuente	Dosis (kg ha ⁻¹)	Nt-pl-R6 (kg ha ⁻¹)	Np (kg ha ⁻¹)	EUN (kg gr kg ⁻¹ Np)	Eabs (NR6/N sum)	Efis (kg gr kg ⁻¹ NtR6)	ICN
-	0	264,3	342,1	33,98	0,77	43,98	0,72
Urea	70	343,6	419,2	34,24	0,82	41,78	0,61
Novatec	70	360,8	438,9	35,49	0,82	43,18	0,69
Urea	140	377,5	462,1	33,46	0,82	40,96	0,65
Novatec	140	405,9	514,9	29,89	0,79	37,92	0,61
Urea	210	439,4	547,7	29,70	0,80	37,02	0,64
Novatec	210	420,9	565,2	28,13	0,74	37,78	0,66

Nt-pl-R6: Nitrógeno total en la biomasa en R6. Np: provisión de nitrógeno. EUN: eficiencia de uso de N; Eabs: eficiencia de absorción. Efis.: eficiencia fisiológica o de utilización.; ICN: Índice de Cosecha del N.

Se observa en la Tabla 8, que al incrementar la dosis de N suministrada al cultivo, aumentó el contenido de nitrógeno en planta a R6. Entre fuentes, se aprecia que hasta el tratamiento de 140N al utilizar Novatec se alcanzaron valores significativamente mayores de dicha variable al comparar cada dosis entre si. Por sobre N140 no se encontraron diferencias significativas.

La provisión de nitrógeno se incrementó a mayor dosis utilizada, encontrándose valores superiores cuando la fuente de suministro fue Novatec. Esto podría explicarse en parte por una mayor permanencia de dicho fertilizante en el suelo, lo que se transmitiría en una mayor mineralización del nutriente durante el ciclo, algo

similar a lo ocurrido para la EUN a bajas dosis. La misma fue máxima para los tratamientos de 0N y 70N. Si bien los mayores rendimientos de grano ocurrieron con las máximas dosis ensayadas, (Figura 9) no se alcanzaron con ellas las mayores EUN. Ésta osciló entre 28 y 34 kg de grano por kg de N, resultados similares a los reportados por Maturano (2002) y Reinoso (2014) para tratamientos de fertilización similares en el caso de urea como fuente.

En cuanto a la eficiencia de absorción de N, tuvo un rango de valores acotados (0,77-0,82), encontrando los máximos para ambos tratamientos de 70N y 140N como Novatec.

La eficiencia fisiológica para la producción de granos se incrementó desde 38 a 44 kg de grano/kg de N absorbido, a medida que la disponibilidad de N disminuyó. Estos valores son similares a los encontrados para maíz con distintas dosis de N en Balcarce por Andrade *et al.*, (1996), tomado de, Uhart (1990).

Los valores de índice de cosecha de nitrógeno (ICN) oscilaron entre 0,61 y 0,72, correspondiéndole este último valor al tratamiento testigo sin fertilizar.

En la Figura 9 se presenta el rendimiento ($\text{qq}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el contenido de nitrógeno de nitratos en los primeros 60 cm de suelo ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), con ambas fuentes de fertilización y a dosis crecientes.

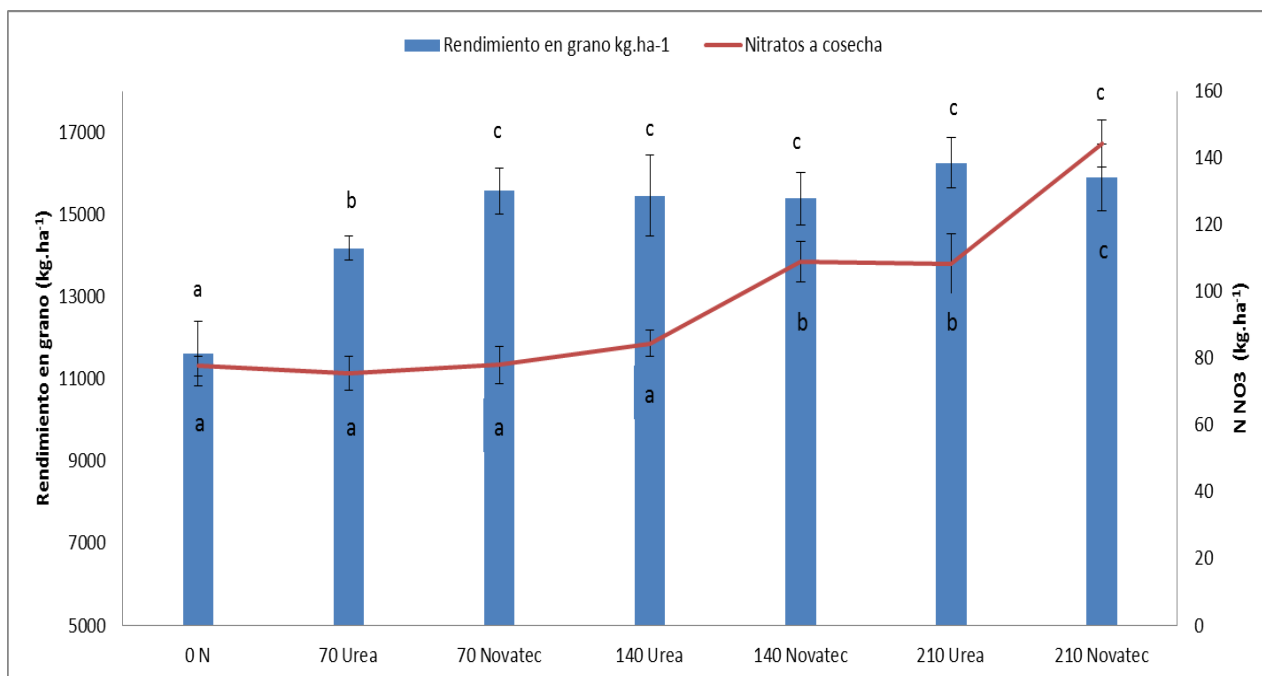


Figura 9. Rendimiento en grano a dosis crecientes de nitrógeno suministrado como urea o Novatec y contenido de nitrógeno de nitratos a cosecha en los primeros 60 cm de suelo. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

Existió respuesta favorable del rendimiento en grano al agregado de nitrógeno en dosis crecientes (Figura 9 y Tabla 9), respuesta conocida para este cultivo (Muchow y Sinclair, 1994; Sinclair y Muchow, 1995). En este experimento el nivel de saturación se alcanzó con dosis por encima de 70 kg.ha^{-1} de Novatec y 140 kg N.ha^{-1} como urea. Este resultado pone de manifiesto que en dosis bajas, Novatec incrementó el rendimiento en grano frente a la urea, lo que se traduce en una mejora del 6% en la EUN. A saturación con nitrógeno el maíz rindió aproximadamente un 27% más que el testigo. Además, al comparar entre fuentes para cada dosis, se encontró una diferencia en rendimiento en grano para N 70, donde el tratamiento con Novatec (DMPP) presentó un respuesta superior cercana al 10 % (1390 kg de grano) frente a la evaluada con urea y alcanzando una producción de grano similar a la obtenida al aplicar 140 kg N ha^{-1} como urea (Tabla 9)

Si se establece una relación entre el contenido de nitrógeno de nitratos a cosecha en los primeros 60 cm de suelo y el rendimiento en grano, se observa en la Figura

9, que hasta el tratamiento de 70 kg de N.ha⁻¹ como Novatec, los rendimientos fueron en aumento, aunque el contenido de N-NO₃ en el suelo, permaneció constante. Esto demostraría un mayor tiempo de disponibilidad de N para el cultivo, aumentando su eficiencia de aprovechamiento, cuando la fuente utilizada como fertilizante es Novatec. En los tratamientos con mayor contenido de nitrógeno (N140 y N210) el rendimiento en grano fue similar en todos los tratamientos (Tabla 9), aunque el contenido de nitratos a cosecha siempre fue significativamente mayor (P<0.05) en los tratamientos que se emplearon fuentes de liberación lenta. Esto podría indicar un menor lavado del fertilizante, al utilizar este tipo de fuentes no traduciéndose en mayores rendimientos, posiblemente por un atraso en la fecha de siembra (16 de noviembre), hecho que trae aparejado entre otras cosas, una disminución en la densidad de siembra, que impacta directamente en un menor número de granos por unidad de área y un retraso en la floración. Esto determinaría una menor tasa de llenado de grano, reflejándose estas dos variables directamente en el rendimiento y no pudiendo alcanzar los potenciales reportados para esta zona por Margiotta *et al.*, (2008 y 2009), Reinoso *et al.*, (2009). Wu *et al.*, (2007) encontraron que en un suelo franco arcilloso, la concentración de N total y N-NO₃ después de la cosecha fue mayor en los tratamientos donde se aplicó sulfato de amonio mezclado con DMPP en comparación con los fertilizantes convencionales. Wissemeyer *et al.*, (2001) observaron que después de una incubación aeróbica en el laboratorio, el NH₄ + recuperado en suelos tratados con DMPP era más alto que en aquellos tratados sin el inhibidor. El efecto acumulativo podría explicarse a través de la inmovilización de N por microorganismos y la fijación por minerales de arcilla del suelo en formas no intercambiables. La capacidad de los suelos para fijar NH₄ + depende principalmente de las características del suelo y las condiciones de humedad (Nieder *et al.*, 2011).

A continuación en la Tala 9 se presentan los principales componentes del rendimiento para las distintas dosis ensayadas, utilizando urea y Novatec como fuentes de suministro de N.

Tabla 9. Principales componentes del rendimiento, número y peso de granos.

	Nivel	peso 1000 granos (g)	Numero de granos por m ²	Rendimiento en grano (kg.ha ⁻¹)
Fuente	NOVATEC	363,29 a	4008,3 a	14602,4 a
	UREA	360,92 a	3965,2 a	14351,3 a
DMS		9,19	173	614,3
Significación		NS	NS	NS
Dosis	N0	340,3 a	3405,5 a	11582,7 a
	N70	367,2 b	4035,5 b	14816,6 b
	N140	370,7 b	4161,6 bc	15426,2 bc
	N210	370,1 b	4344,2 c	16081,8 c
DMS		13	244,7	868,7
Nivel de significación		0,05	0,05	0,05
Novatec	210	364,9 cd	4355,9 c	15898,9 c
urea	210	375,3 d	4332,4 c	16264,6 c
urea	140	369,1 cd	4189,8 bc	15462,2 c
Novatec	140	372,3 cd	4133,5 bc	15390,2 c
Novatec	70	376,5 d	4141,8 bc	15577,6 c
urea	70	357,8 bc	3929,3 b	14055,6 b
Novatec	0	341,3 ab	3409,2 a	11622,7 a
urea	0	339,3 a	3401,9 a	11542,7 a
Interacción		NS	NS	NS

De la tabla 9 se desprende que no se hallaron diferencias significativas en función de la fuente utilizada tanto en peso de granos, número de granos y rendimiento en grano. Al incrementar la dosis de N utilizada se encontraron diferencias estadísticas para estas tres variables mencionadas ($p=0.05$). Separándose entre sí, cada uno de los tratamientos. Al observar lo ocurrido a dosis crecientes y utilizando ambas fuentes de suministro de N, el nivel de saturación de este nutriente, se ubicó a partir del tratamiento de 70N como Novatec, como ya se mencionó previamente.

Análisis económico

A continuación se presenta un análisis económico de dos alternativas con el objeto de encontrar las dosis óptimas para ambas. A partir de los datos obtenidos, se estimó la función de producción correspondiente a cada una de ellas y se construyó la relación insumo/producto con el propósito de encontrar el punto donde se maximiza el beneficio. Los conceptos teóricos surgen de lo que determina la Ley de rendimientos marginales decrecientes (antes mencionada) definida en la Teoría de la Producción (Mochon y Beker, 2008).

Alternativa I

En este primer análisis la fuente de nitrógeno con la que se trabajó fue urea. Cabe aclarar, que en esta primera alternativa se utilizaron dos precios diferentes para el insumo (Precios históricos y precios actuales) mientras que en el caso del maíz se usó el precio actual (Pagani *et al.*, 2008). Tanto el precio actual del insumo como el del maíz, fueron tomados a julio de 2018, mientras que el historio abarca el periodo 1997: 2007.

Tabla 10. Dosis de N aplicada, PT, PMg, Pm, lmg, IT, CT, Cmg y Bf, con urea como fuente de provisión de nitrógeno.

Fuente	Dosis (Kg N ha ⁻¹)	PT (kg ha ⁻¹)	Pmg (kg grano ⁻¹ kg N ha ⁻¹)	Pm (Kg grano ha ⁻¹)	lmg (\$ Kg N ha ⁻¹)	IT (\$ ha ⁻¹)	CT (\$ ha ⁻¹)	Cmg (\$ Kg N ha ⁻¹)	Bf (\$ ha ⁻¹)
Urea	0	11623				48815	0		48815
Urea	70	14356	39	205	164	60294	2450	35	57844
Urea	140	15462	16	110	66	64941	4900	35	60041
Urea	210	16265	11	77	48	68312	7350	35	60962

En la Tabla 10 se observan los siguientes parámetros:

Dosis: dosis de N ha⁻¹ utilizadas.

Producto total (PT): es el rendimiento en grano por hectárea obtenido en función de las dosis aplicadas.

Producto marginal (Pmg): surge del cociente entre la diferencia de dos PT sucesivos, y sus correspondientes dosis de fertilizantes aplicadas.

Producto medio (Pm): es el PT dividido por la dosis de N utilizada en cada caso.

Ingreso marginal (Img): el ingreso marginal surge de multiplicar Pmg por el precio de venta de maíz (4,2 \$ kg⁻¹).

Ingreso total (IT): surge del producto entre el PT y el precio de venta.

Costo total (CT): en este trabajo se tomó como tal, al costo que representa la adición de las sucesivas unidades de N utilizadas en cada caso.

Costo marginal (Cmg): se obtiene de la diferencia entre el costo de una unidad de fertilizante aplicada y el costo de la siguiente (es igual para todos los tratamientos, ya que es el precio del Kg de N).

Beneficio (Bf): surge de la diferencia entre el IT y el CT. Estos cálculos fueron realizados según lo propuesto por Barnard y Nix (1984), a partir de los datos obtenidos en el ensayo.

A partir de estos datos se obtuvo la función de producción y la línea de tendencia con su correspondiente ajuste (R^2).

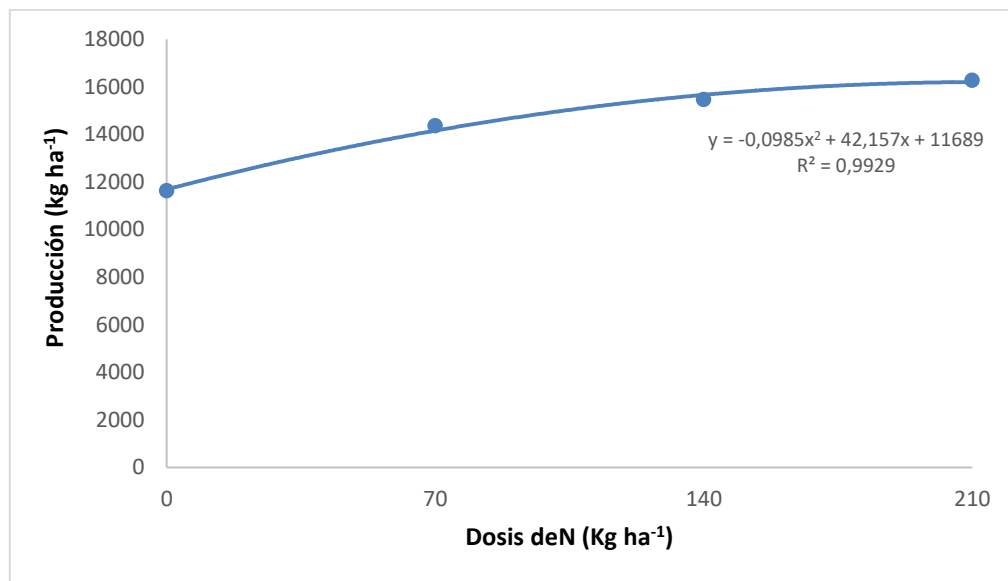


Figura 10. Función de producción del cultivo de maíz a dosis creciente de nitrógeno, con urea como fuente.

En la Tabla 10 y Figura 10 se observa la relación entre las distintas dosis de nitrógeno aplicadas y el rendimiento en grano. Al incrementar el suministro de N,

el PT se incrementó, aunque a una tasa cada vez menor, como lo demuestra el Pmg y como consecuencia el lmg siguió también una tendencia decreciente. El Pm se redujo entre los diferentes tratamientos.

Al derivar la ecuación ajustada de la gráfica $y = -0,0985x^2 + 42,157x + 11689$, se obtuvo la dosis que permitiría maximizar el beneficio económico para el productor o empresario. Esto se alcanzó al aplicar 172 kg N.ha^{-1} de urea. El cálculo del mismo se efectuó mediante la siguiente ecuación, empleada por Barnard y Nix (1984):

$$\Delta y/\Delta x = P_x/P_y \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

Dónde, $\Delta y/\Delta x$ es la primera derivada de la función ajustada $y = -0,0985x^2 + 42,157x + 11689$, P_x es el precio por Kg^{-1} de N, en este caso 35\$, P_y es el precio de venta por Kg^{-1} de maíz, que aquí es 4,2 \$.

A continuación se presenta para una relación de precio (RelPr) insumo/producto actual (8,33: 1), la dosis de N, el PT real obtenido en el ensayo a campo, luego el PT que surgió al aplicar la ecuación de la función de producción ($y = -0,0985x^2 + 42,157x + 11689$).

A partir de este nuevo producto total se calcularon: IT, lmg, CT, Cmg y Bf para todas las dosis intermedias entre N0 y N210, mostrándose en la Tabla 10 aquellas que reportan mayor interés para este análisis.

Tabla 11. PT obtenido en ensayo a campo, PT obtenido analíticamente, a partir de este: IT, I_{mg}, CT, C_{mg} y B_f. Todos estos con una R_{pelPr} actual (8,33: 1).

Dosis N (Kg ha ⁻¹)	PT real (kg ha ⁻¹)	PT (Kg ha ⁻¹)	IT (\$ ha ⁻¹)	I _{mg} (\$ Kg N ha ⁻¹)	CT (\$ ha ⁻¹)	C _{mg} (\$ Kg N ha ⁻¹)	B _f (\$ ha ⁻¹)
0	11623	11689	49094		0		49094
1		11731	49270	177	35	35	49235
2		11773	49446	176	70	35	49376
69		14129	59340	120	2415	35	56925
70	14356	14157	59460	120	2450	35	57010
71		14185	59578	119	2485	35	57093
139		15645	65710	62	4865	35	60845
140	15462	15660	65771	62	4900	35	60871
141		15674	65832	61	4935	35	60897
171		16017	67271	36	5985	35	61286,08
172		16025	67306	35	6020	35	61286,23
173		16033	67341	34	6055	35	61285,54
209		16196	68025	5	7315	35	60710
210	16265	16197	68029	4	7350	35	60679
211		16198	68031	3	7385	35	60646
212		16198	68033	2	7420	35	60613
213		16199	68035	1	7455	35	60580
214		16199	68035	0	7490	35	60545
215		16199	68035	0	7525	35	60510

Al comparar ambos PT, esto es, el real obtenido a campo y el calculado, los valores encontrados son muy similares para las dosis N con las que se trabajó, por lo que también es esperable encontrar similitud con los resultados presentados en la Tabla 10, para el IT y B_f, mientras que el CT es el mismo ya que el C_{mg}, como ya se mencionó es el costo del fertilizante. Al observar el I_{mg}, como es de esperar el mismo decreció conforme se incrementó el suministro de N, encontrándose a una dosis de 172 kg N ha⁻¹ la igualdad entre I_{mg} y C_{mg}, obteniéndose en este punto el óptimo económico (OE) para el productor, es decir, el mayor beneficio alcanzable. Posteriormente, para la dosis de 214 N se obtuvo analíticamente el máximo rendimiento posible, ya que el I_{mg} llega a cero, conocido también como óptimo técnico (OT), traduciendo esto en el mayor IT.ha⁻¹, pero al incurrir en costos mayores de fertilizante, el B_f es menor que en la dosis de 172 N.

En la tabla 12 se presenta para una relación de precio insumo/producto histórica (10: 1), cuyo período considerado es 1997: 2007 (Pagani *et al.*, 2008), la dosis de N, el PT real obtenido en el ensayo a campo, luego el PT que surgió al aplicar la ecuación de la función de producción ($y = -0,0985x^2 + 42,157x + 11689$).

A partir de este nuevo producto total se calcularon: IT, I_{mg}, CT, C_{mg} y BF para todas las dosis intermedias entre N0 y N210, mostrándose en la Tabla 12 aquellas que reportan mayor interés para este análisis.

Tabla 12. PT obtenido en ensayo a campo, PT obtenido analíticamente, luego a partir de este: IT, I_{mg}, CT, C_{mg} y B_f. Todos estos con una RelPr histórica (10: 1).

Dosis N (ha ⁻¹)	PT (kg ha ⁻¹)	PT (Kg ha ⁻¹)calculado	IT (\$ ha ⁻¹)	I _{mg} (\$ Kg N ha ⁻¹)	CT (\$ ha ⁻¹)	C _{mg} (\$ Kg N ha ⁻¹)	B _f (\$ ha ⁻¹)
0	11623	11689	49094		0		49094
1		11731	49270	177	42	42	49228
2		11773	49446	176	84	42	49362
69		14129	59340	120	2898	42	56442
70	14356	14157	59460	120	2940	42	56520
71		14185	59578	119	2982	42	56596
139		15645	65710	62	5838	42	59872
140	15462	15660	65771	62	5880	42	59891
141		15674	65832	61	5922	42	59910
163		15943	66960	43	6846	42	60114
164		15953	67002	42	6888	42	60114
165		15963	67043	41	6930	42	60113
209		16196	68025	5	8778	42	59247
210	16265	16197	68029	4	8820	42	59209
211		16198	68031	3	8862	42	59169
212		16198,45	68033,5	2	8904	42	59129
213		16198,74	68034,7	1	8946	42	59089
214		16198,84	68035,1	0	8988	42	59047
215		16198,73	68034,7	0	9030	42	59005

En este caso, se varió la RelPr insumo/producto, llevándola a la histórica para estos dos factores. Esto se logró incrementando el C_{mg} de 35 a 42 \$ Kg N ha⁻¹, es decir, aumentando el precio del fertilizante. Como consecuencia de esta variación se vieron modificados los costos totales (CT) y el beneficio total, encontrándose el valor máximo de este último para una dosis de 164 N, donde I_{mg} se igualó con C_{mg}, esto se alcanzó aplicando 8 Kg.ha⁻¹ menos que en el caso de la RelPr actual descripta en la Tabla 11, obteniendo también un B_f más bajo que el alcanzado por esta última (60114 \$ ha⁻¹, frente a los 61286 \$ ha⁻¹).

Podría decirse que con la RelPr actual, se pueden aplicar dosis de urea más altas y obtener un beneficio superior que ante la RelPr histórica.

A continuación se presenta en la Figura 11, el Ingreso total y beneficio económico, también el ingreso marginal y costo marginal, a una relación de precios actual de 8,33: 1 y a una histórica de 10: 1, a dosis crecientes de Nitrógeno, utilizando urea como fuente.

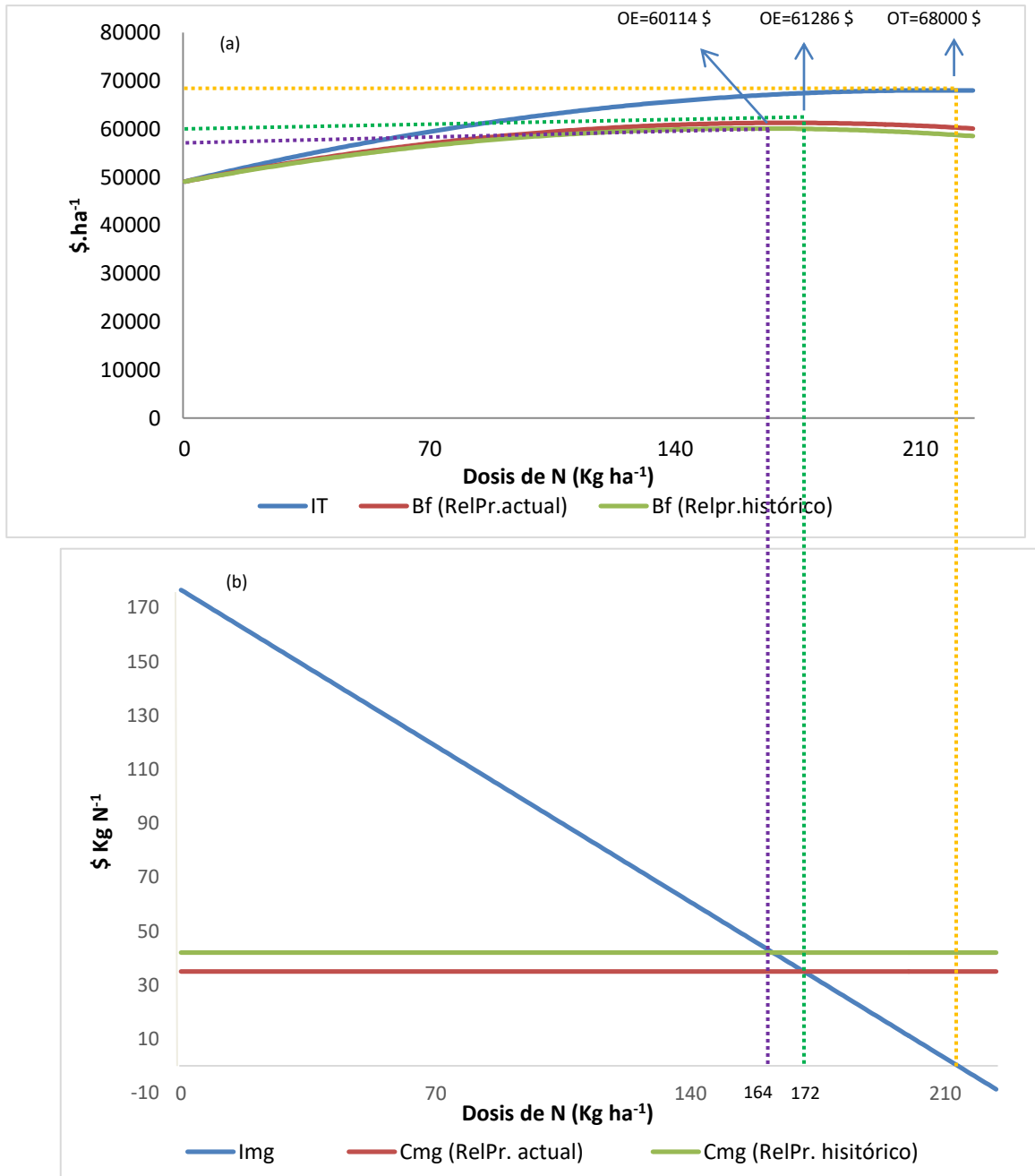


Figura 11. Ingreso total y beneficio (a). Ingreso marginal y costo marginal, este último a una relación de precios actual de 8,33: 1 y a una histórica de 10: 1 (b), a dosis crecientes de Nitrógeno, utilizando urea como fuente.

Esta Figura surge a partir de las Tablas 11 y 12, en ella se pueden apreciar para cada nivel de fertilización, los máximos beneficios u óptimos económicos (OE) a dos relaciones de precio (a), esto es 60114\$ para la Relpr histórica y 61286\$ para la actual y en que dosis de fertilización se encontraron (b), 164 N y 172 N, respectivamente. Debe tenerse en cuenta que los mismos se alcanzaron al

intersectarse el lmg con el Cmg , en cada caso (b). Estos valores encontrados sugieren que el productor podría utilizar un mayor nivel de insumo nitrogenado con la relación de precios vigente, $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ más en comparación con la histórica, obteniendo un beneficio por hectárea mayor. Puede visualizarse además el máximo IT (a) u óptimo técnico (OT), que se dio cuando el lmg se hizo cero, esto es a una dosis de 214 N (b). Esto quiere decir que los mayores ingresos se lograrían utilizando 214 unidades de $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ya que luego de este punto el lmg pasa a ser negativo, no siendo este el punto de mayor beneficio económico (Barnard y Nix, 1984).

Alternativa II

En este caso se realizó el mismo análisis que en la alternativa I, con la fuente de provisión de nitrógeno Novatec. Debe aclararse que en esta oportunidad se trabajó con la relación de precios vigente, ya que el producto es relativamente nuevo en el mercado como para analizar relaciones de precios históricas.

Tabla 13. Dosis de N aplicada, PT, PMg, Pm, lmg , IT, CT, Cmg y Bf, con urea como fuente de provisión de nitrógeno.

Fuente	Dosis (Kg N ha^{-1})	PT (kg ha^{-1})	Pmg (kg grano ⁻¹ kg N ha^{-1})	Pm (Kg grano ha^{-1})	lmg ($\$ \text{Kg N } \text{ha}^{-1}$)	IT ($\$ \text{ha}^{-1}$)	CT ($\$ \text{ha}^{-1}$)	Cmg ($\$ \text{Kg N } \text{ha}^{-1}$)	Bf ($\$ \text{ha}^{-1}$)
Novatec	0	11700				49140	0		49140
Novatec	70	15390	53	220	221	64638	4027	57,5	60611
Novatec	140	15578	3	111	11	65426	8053	57,5	57373
Novatec	210	15899	7	76	31	66776	12080	57,5	54696

En la Tabla 13 se observa que al incrementar el suministro de N, el PT se incrementó, aunque a una tasa cada vez menor, como lo demuestra el Pmg. En este último se aprecia un valor levemente superior para el tratamiento más alto, si se lo compara con el de 140 N, encontrando un comportamiento similar para el lmg . En cuanto al Bf, al utilizar esta fuente de liberación lenta de N, se alcanzó el máximo con una dosis menor (70 N) que para el caso de urea (210 N), debido posiblemente a una menor pérdida de N por una reducción en la lixiviación (Alonso *et al.*, 2016).

A partir de estos datos se obtuvo la función de producción y la línea de tendencia con su correspondiente ajuste (Figura 12).

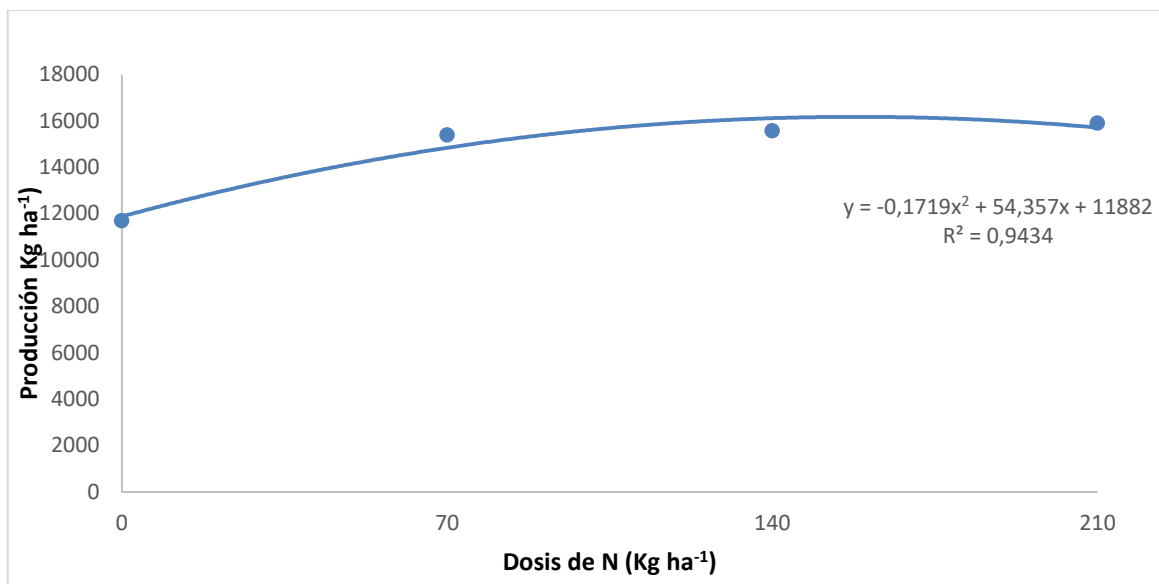


Figura 12. Función de producción del cultivo de maíz a dosis creciente de nitrógeno, con Novatec como fuente.

Al derivar la ecuación ajustada de la gráfica $y = -0,1719x^2 + 54,357x + 11882$, se obtuvo el rendimiento en Kg que maximizaría el beneficio económico para el productor o empresario. Este se alcanzó al aplicar $119 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N de Novatec. El cálculo del mismo se efectuó de la misma forma que se lo hizo en la Figura 10, utilizando la Ec. 1, según la metodología empleada por Barnard y Nix (1984). Téngase en cuenta que en este caso el precio por Kg de N utilizado fue de 57\$.

En la tabla 14 se presenta para una relación de precio insumo/producto actual (13,7: 1), la dosis de N, el PT real obtenido en el ensayo a campo, luego el PT que surgió al aplicar la ecuación de la función de producción ($y = -0,1719x^2 + 54,357x + 11882$). A partir de este nuevo producto total se calcularon: IT, I_{mg}, CT, C_{mg} y B_f para todas las dosis intermedias entre N₀ y N₂₁₀, mostrándose en la Tabla 14 aquellas que reportan mayor interés para este análisis.

Tabla 14. PT obtenido en ensayo a campo, PT obtenido analíticamente, luego a partir de este: IT, I_{mg}, CT, C_{mg} y B_f. Todos estos con una RelPr histórica (10: 1).

Dosis N (Kg ha ⁻¹)	PT real (kg ha ⁻¹)	PT (Kg ha ⁻¹)	IT (\$ ha ⁻¹)	Img (\$ Kg N ha ⁻¹)	CT (\$ ha ⁻¹)	Cmg (\$ Kg N ha ⁻¹)	BF (\$ ha ⁻¹)
0	11700	11882	49904		0		49904
1		11936	50132	228	58	57,52	50074
2		11990	50358	226	115	57,52	50243
69		14814	62220	129	3969	57,52	58251
70	15390	14845	62348	128	4026	57,52	58321
71		14875	62474	127	4084	57,52	58390
118		15903	66791	59	6787	57,52	60004
119		15916	66848	57	6845	57,52	60003
120		15929	66904	56	6902	57,52	60001
139		16116	67689	28	7995	57,52	59693
140	15578	16123	67716	27	8053	57,52	59663
141		16129	67741	25	8110	57,52	59631
157		16179	67951,3	2	9031	57,52	58921
158		16179	67952,2	1	9088	57,52	58864
159		16179	67951,6	-1	9146	57,52	58806
209		15734	66082	-73	12022	57,52	54060
210	15899	15716	66008	-74	12079	57,52	53929
211		15698	65932	-76	12137	57,52	53796

Al comparar ambos PT, esto es, el real obtenido a campo y el calculado, los valores encontrados fueron similares para las dosis N con las que se trabajó, por lo que también es esperable encontrar similitud con lo descrito en la Tabla 12, para el IT y Bf, mientras que el CT fue el mismo ya que el Cmg, es el costo del fertilizante. Al observar el Img, como es de esperar el mismo decreció conforme se incrementó el suministro de N, encontrándose a una dosis de 119 kg N ha⁻¹ la igualdad entre Img Y Cmg, obteniéndose en este punto el óptimo económico para el productor. A una dosis de 158/159N, el Img llegó a cero, traduciendo esto en el mayor IT ha⁻¹, pero al incurrir en costos mayores de fertilizante, el Bf fue menor que en la dosis de 119 N.

En la Figura 13 se pueden apreciar, el IT y Bf económico. Además el Img y Cmg, a dosis crecientes de Nitrógeno utilizando Novatec como fuente.

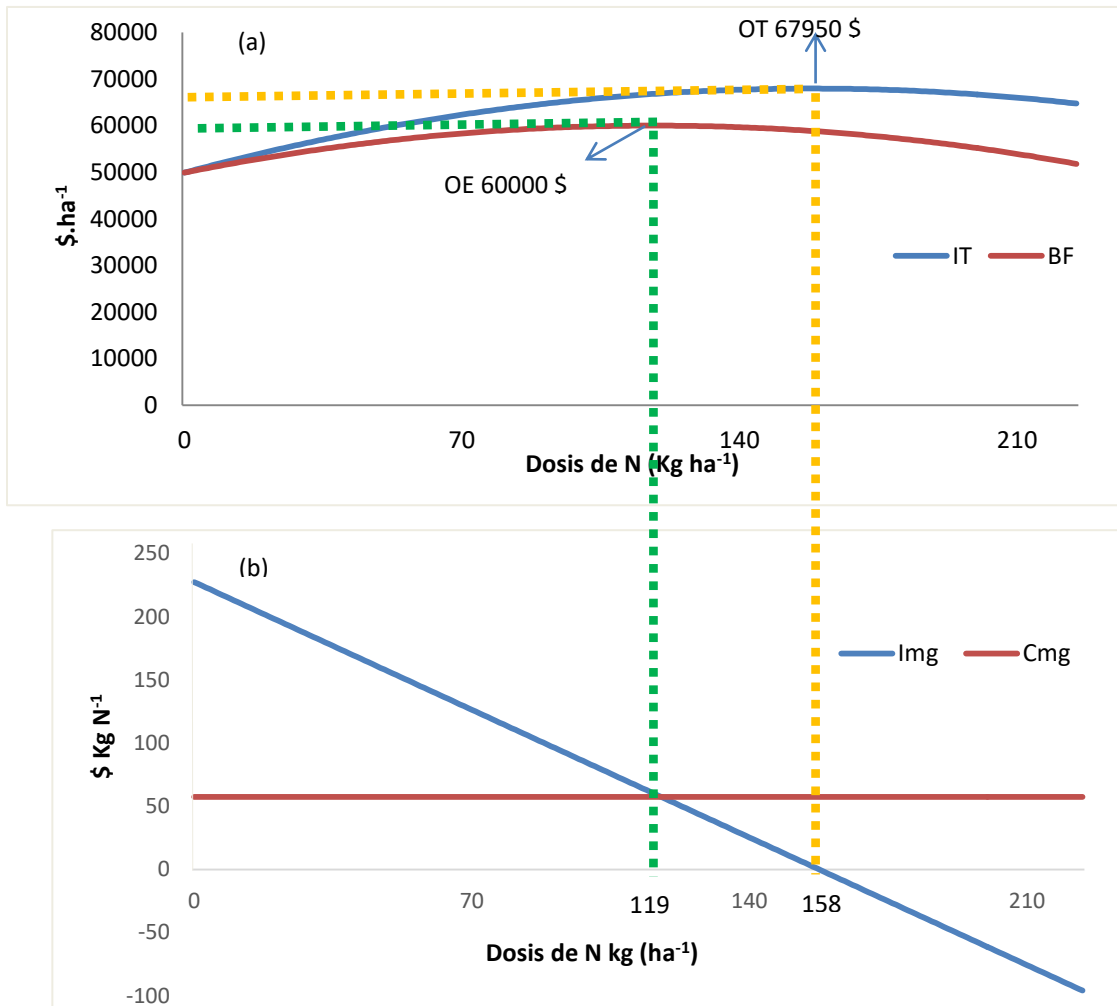


Figura 13. Ingreso total y beneficio (a). Ingreso marginal y costo marginal (b), a dosis crecientes de Nitrógeno utilizando Novatec como fuente.

Esta figura surge a partir de la Tabla 13, en ella se pueden apreciar para cada nivel de fertilización, los máximos beneficios e IT obtenidos (a). Debe tenerse en cuenta que el máximo beneficio u óptimo económico (OT) se alcanzó, como ya se mencionó, al intersectarse el Img con el Cmg (b). Puede visualizarse además el máximo IT u óptimo técnico (OT), que se dio cuando el Img se hizo cero, esto es a una dosis de 158 N, existiendo una brecha entre ambos óptimos de 39 $Kg.ha^{-1}$ de N.

En las Figura 14 se puede observar el IT, CT y Bf para las dosis óptimas económicas (DOE) al usar Novatec y urea como fuentes.

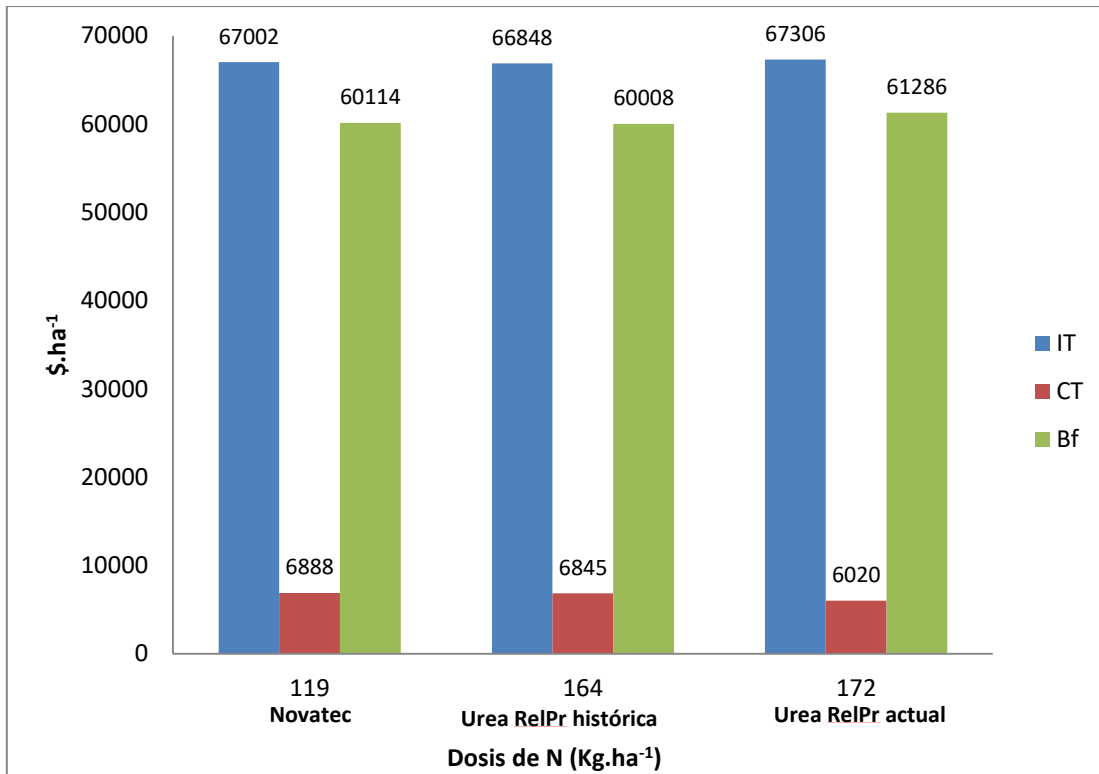


Figura 14. Ingreso total, costo total y beneficio total para cada DOE al usar Novatec como fuente o urea, esta última a dos RelPr.

En la Figura 14 se observa la DOE para cada fuente utilizada. Al usar Novatec, la misma se alcanzó aplicando 119 kg.ha⁻¹ de N, obteniéndose en este punto el mayor beneficio económico para el productor (60114 \$.ha⁻¹). Al utilizar urea, la DOE se alcanzó al aplicar 164 Kg.ha⁻¹ de N para la RelPr histórica y 172 Kg.ha⁻¹, para la RelPr actual.

Cerrato y Blackmer (1990), encontraron un incremento lineal en el rendimiento en grano con dosis de N desde 0 a 100 kg.ha⁻¹; sin embargo las dosis medias económicamente óptimas, calculadas por diferentes modelos abarcan valores desde 128 a 379 kg N ha⁻¹.

CONCLUSIONES

La aplicación de inhibidores de la nitrificación (NI) en la urea es una estrategia válida para aumentar la eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante en el cultivo de maíz con riego gravitacional.

Se encontró respuesta positiva del cultivo de maíz al agregado de nitrógeno a dosis creciente, para ambas fuentes utilizadas en el trabajo, hallándose hasta un 25% más de rendimiento en grano en los tratamientos fertilizados respecto al testigo. En el modelo completo la fuente no afectó ningún componente del rendimiento, aunque se hallaron diferencias significativas en la dosis de 70 kg/ha obteniendo un plus de 10% de rendimiento ($1390 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ al utilizar Novatec). La dosis de N modificó en mayor medida el número de granos y luego el peso de los granos. La materia seca total acumulada no se vio afectada por la fuente de N utilizada para los tratamientos ensayados, como así tampoco la RFAi. En el caso del índice de verdor, solo se encontró diferencia debido a la fuente al estado de V8 y para la dosis de 70 N, en favor de Novatec.

La utilización de una fuente de nitrógeno de liberación lenta como fertilizante en el cultivo de maíz mejoró en un 6% la eficiencia de uso de dicho nutriente en dosis bajas (N70), respecto de la urea, viéndose reflejado en los principales componentes del rendimiento. En dosis altas, cercanas a la saturación con N (N140 y N210), las eficiencias disminuyeron siendo similares para ambas fuentes.

Se halló un efecto acumulativo de nitrógeno residual en el suelo con la urea tratada con DMPP, a partir de las dosis de N140, quedando disponible para el cultivo subsiguiente.

La eficiencia de uso del nitrógeno arrojó valores dentro de lo esperado, siendo mayores los resultados encontrados a bajas dosis de fertilización (hasta 70N) y cuando la fuente empleada fue Novatec, repercutiendo no solo en una eficiencia técnica y económica, sino también ambiental.

Desde el punto de vista económico, el óptimo se alcanzó a una dosis de fertilización de N 164 (60.008 \$.ha⁻¹) en el caso de la urea con una relación de precios fertilizante / maíz histórica y de N 172 (61.286 \$.ha⁻¹) para la relación actual. Siendo el diferencial entre ambos de 1072 \$.ha⁻¹ en favor de esta última relación. Al utilizar el fertilizante recubierto, el óptimo se encontró en 119 Kg N ha⁻¹ (60.114 \$ ha⁻¹).

Propuesta de trabajo a futuro

Es importante continuar trabajando con fuentes de nitrógeno alternativas y sistemas de producción que incorporen en la rotación leguminosas fijadoras de N atmosférico, tratando de alcanzar EUN superiores para el cultivo de maíz, con el objetivo de encontrar aquellas que aporten mayor sustentabilidad a los sistemas de producción actuales del VIRN.

La acumulación de nitrógeno residual en los tratamientos con DMPP pone de manifiesto que sería necesaria una evaluación del efecto acumulativo de nitrógeno con inhibidores de la nitrificación en el rendimiento del cultivo sucesor y la posible relación con el N residual del suelo, así como cuantificar la pérdida de N por lixiviación.

Se propone también dar continuidad en el tiempo a este tipo de ensayos para ajustar aún más los resultados obtenidos y conocer cómo responden las principales variables de rendimiento del cultivo siguiente, teniendo en cuenta la variación de los niveles de nitrógeno iniciales en cada ciclo.

En este sentido, también se propone hacer ensayos de fertilización de maíz utilizando fuentes convencionales y de liberación lenta de nitrógeno, en forma conjunta con la finalidad de encontrar una combinación que optimice los rendimientos con la menor utilización del recurso nitrogenado posible hallando el mayor margen bruto.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Gudiel, J.C. 2009. Efecto del inhibidor NBPT en la volatilización de amoníaco proveniente de la hidrólisis de urea en un sistema semi estático y en pastos.
- Allen, R.G.; L.S, Pereira; D, Raes y M, Smith. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper N°56, FAO, Rome, Italy.
- Alonso, M.; M, Ayuso; M, Quemada. (2016) Nitrogen use efficiency and residual effect of fertilizers with nitrification inhibitors. Eur. J. Agron. 80, 1–8
- Álvarez, R.; H.S, Steinbach; C.R, Álvarez y M.S, Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 18.
- Andrade, F.; A, Cirilo; S, Uhart y M, Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial la Barrosa. Balcarce. 292 pp.
- Arriaga, H.O.; M.E, Chidichimo; D.M, Cattaneo; N.M, Orsini; F.A, Margiotta; H, Iglesias; E, Bardelois; J, Salguero y M, Figueroa. 1984. "El cultivo del maíz con riego al sur del paralelo 40 L.
- Barnard, C.S.; J.S, Nix. 1984. Planeamiento y control agropecuarios. Trad. Por Mauricio prelooker. Buenos Aires. El ateneo.
- Barreto, H.J.; L.R, Westerman. 1987. YIELDFIT: A computer program for determining economic fertilization rates. J. Agron. Educ.

- Blackmer, A.M.; J.J, Meisinger. 1990. RE-examination of the methodology used for selecting nitrogen inputs into crop production. *J. Contam. Hydrol.*
- Bolsa de comercio de Rosario, anuario estadístico 2016.
- Bolsa de comercio de Rosario, anuario estadístico 2018.
- Burgos, J.J.; A.L, Vidal. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros I (1)* Buenos Aires.
- Castellanos Reyes, M.A.; R, Valdés Carmenate; A, López Gómez; F, Guridi Izquierdo. 2017. Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Revista scielo. cultrop vol.38 N°3.*
- Cerrato, M.E.; A.M, Blackmer. 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 82: 138-143.
- Di Rienzo, J.A.; F, Casanoves; M.G, Balzarini; L, Gonzalez; M, Tablada M; C.W, Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Duncan, W.G. 1975. Maize. In *Crop physiology : some case histories*. Ed. by L. Evans. London, Cambridge University Press. p. 23- 50.
- Fassio, A.; A.I, Carriquiri; C, Tojo; R, Romero. 1998. Maíz: Aspectos sobre Fenología. Serie Técnica 101, INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay.
- Gallo, K.P. y C.S.T, Daughtry. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agron. J.* 78: 752-756 pp.
- García Martínez, E.; I, Fernández. 2013. Determinación de proteínas en un

alimento por el método Kjeldahl. Variación con un ácido fuerte. Universitat politécnica de Valencia. Departamento de tecnología de alimentos.

- Gandrup, M.E.; F.O, García; K.P, Fabrizzi; H.E, Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. Rev. Inv. Agrop. (RIA) 33: 105-121.
- García F. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. IPNI.
- Gardiazabal, F.; F, Mena; C, Magdahl. 2007. Efecto de la fertilización con inhibidores de la nitrificación (Entec®Solub 21) en paltos (Persea americana Mill) cv. Hass. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile.
- Gardner, F.P.; R.B, Pearce y R.L, Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. Ames, IO, USA.
- Huggins, D. R.; W.L, Pan. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal 85:898-905 pp.
- Illanes, M.; R, Valdés. 2015. tecnología avanzada en fertilizantes: nitrógenos de lenta entrega. Boletín técnico N° 5. Departamento Técnico ASP Chile S.A.
- INTA. 1997. Guía Práctica para el cultivo de maíz. Buenos Aires. Argentina. 180 pp.
- Jokela, W.E.; G.W, Randall. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. Agron. J. 81: 720-726.

- Jones, C.A.; y Kiniry; B.G, Gengenbach; V.H, Cardweell. 1986. Temperature effects on in vitro kernel development of maize. Crop Science, 21: 761-766.
- Lanfranco Crespo, B.; L, Helguera. 2008. Óptimo técnico y económico Diversificación, costos ocultos y los estímulos para mejorar los procreos en la ganadería nacional. Revista INIA N° 8.
- Margiotta, F.A.; L, Reinoso y R.S. Martínez. 2008. Evaluación de Materiales Comerciales de Maíz. Campaña 2007/2008. 13 pp. EEA INTA Valle Inferior.[enlínea:<http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/valleinferior/info/documentos/vegetal/MaizBeltran.pdf>] [.Acceso: Abril 2012].
- Margiotta, F.A.; L, Reinoso y R.S. Martínez. 2009. Evaluación de materiales comerciales de maíz. Campaña 2008/2009. 25 pp. EEA INTA Valle Inferior. [enlínea:http://www.syngentaenvivo.com.ar/2012/ensayos/Maizgrano/ECR_Maiz_Viedma_Beltran_2008_09.pdf]. [Acceso: Abril 2012].
- Margiotta, F.; L, Reinoso; R.S Martinez. "Tranqueras abiertas para el cultivo de maíz", Diario Río Negro, 13 de diciembre de 2014, http://www.rionegro.com.ar/pulso/tranqueras-abiertas-para-el-cultivo-delmaiz-LTRN_5358880, [13 de mayo de 2016].
- Martínez, R.S.; L. Reinoso.; F.A. Margiotta y R.M. Martinez. 2012. Buscando alcanzar altos rendimientos del cultivo de maíz: experiencias en los valles Norpatagónicos. En: actas de la 3° Reunión Internacional de riego, 30 y 31 de Octubre de 2012. INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.
- Maturano, M.; E, Guevara y S, Mellar. 2002. Efecto del nivel hidrico y nitrogenado en la eficiencia en el uso del agua y el nitrógeno en el cultivo de maíz. Rev. Tec. Agrop. INTA Pergamino. Vol.VII. N° 21.

- Mckean, S.J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías. Documento de trabajo No.129. Laboratorio de servicios analíticos. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil crops system. En: Hauck, R.D. (ed) Nitrogen in Crop Production. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- Mochón Morcillo, F.; V, Beker. 2008. Economía principios y aplicaciones. Cuarta edición. Mc Graw-Hill Interamericana. México, D.F.
- Muchow, R.C.; y T.R, Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. Crop Sci. 34:721-727.
- Nelson, L.A.; R.D, Voss; j, Pesek.1985. Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. In: OP englestad (ed). Fertilizaer technology and use. Pp 53-90. ASA. Madison – Wisconsin – USA.
- Novoa, R.; Villagrán, N.A. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agricultura Técnica. 62(1): 166–17.
- Oyarzun Arrechea, M. 2010. Respuesta productiva de un cultivo de maíz (“Zea mays” L. Var. Dracma) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre lixiviación de nitratos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Pública de Navarra, España.

- Pagani, A.; H.E, Echeverría; H.R, Sainz Rozas; P.A, Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*. 26(2): 183-193.
- Papadakis, J. 1960. *Clima y ecología. Plan de desarrollo agrícola del Valle de Viedma. Anexo I. Consejo Agrario Nacional. Italconsult. Roma.*
- Pate, J.S. 1973. Uptake, assimilation and transport of nitrogen compounds by plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 5:109-119.
- Pedrol, H.M.; J.M, Castellarín; F, Ferraguti; O, Rosso. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. *Inf. Agron. Cono Sur* 40: 17-20.
- Perdomo, C.H.; O.N, Casanova; V.S, Ciganda. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral del sudoeste del Uruguay. *Agrociencia* V, 1, 10-22.
- Rattalino Edreira, J.I.; M.E, Otegui; 2013 Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: A novel approach for assessing sources of kernel loss in field conditions. *Field Crops Res* 142:58-67.
- Ritchie, S.W.; y J.J, Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Spec. Rep 48. Coop. Ext. Service, Ames, IA.
- Reinoso L.; R.S, Martínez; J, Mercáu; M, Gutierrez; y M.E. Otegui. Estrategias para alcanzar altos rendimientos de maíz en los valles de Norpatagonia. En actas del XXVI congreso de la Asociación Argentina de productores en siembra directa (AAPRESID). Córdoba del 7 al 9 de Agosto de 2018

- Reinoso, L.; R.S, Martínez; F, Margiotta; R.M, Martinez y P, Zalba. 2009. Estudios de frecuencias de riego sobre el rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro. En Congreso Nacional del Agua Ed: Direccion Oficial de Impresiones, Rawson. 318 pp. ISBN: 978-987-25369-0-9.
- Reinoso, L. 2014. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias: "Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada". Universidad Nacional del Sur.
- Sainz Rozas, H.; y H.E, Echeverría. 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, La Plata 103: 37-44.
- Salvagiotti, F.; Pedrol, H; Castellarin, J. 2000. Utilización del método del balance de nitrógeno para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. Informaciones Agronómicas, Instituto del Potasio y el Fósforo.
- Salvagiotti, F.; J, Castellarín; F, Ferraguti; H, Pedrol. 2011. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región pampeana norte. *Ciencia del Suelo* 29 (2): 199-212.
- Salvagiotti, F.; H, Pedrol; J, Castellarín; J, Capurro; J.C, Felizia; A, Gargicevich; O, Gentili; J, Méndez; N, Trentino. 2002. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. Relación entre la respuesta en rendimiento y la disponibilidad de nitrógeno a la siembra. Revista "Para mejorar la producción" EEA Oliveros INTA. Ediciones INTA. Nro. 20.

- Satorre, E.; R, Benech Arnold; G, Slafer; E, De la fuente; D, Miralles; M.E, Otegui; R, Savin. 2004. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad Agronomía UBA. 783 pp.
- Schindler, H. 2013. Historia del Valle Inferior del Río Negro. Nota técnica. Universidad Argentina de la Empresa (UADE).
- Sinclair, T.R. y R.C, Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. Agron. J. 87:632-641 p.
- Temón, L.; S, Cabada; O, Valentinuz; H, Peltzer; G, Díaz. 2005. Rendimiento y características de híbridos de maíz con diferente estabilidad. Revista Científica Agropecuaria 9:7-12.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review 38: 55-94 p.
- Tollenaar, M.; T.B, Daynard y R.B, Hunter. 1979. Effect of temperatura on rate of leaf apparence and flowering date in maize. Crop science, 19:36-366.
- Torres Duggan, M. 2002. Fertilización nitrogenada del cultivo de maíz. EEA Pergamino. INTA Pergamino.
- Torretta Bassi, J.J. 2017. Tesina de grado. "Cálculo de los requerimientos hídricos del maíz y ajuste del Kc mediante el uso de lisímetros de drenaje en el Valle Inferior del río Negro". Universidad Nacional de Río Negro.
- Valentinuz, O.R.; M, Tollenaar. (2004). Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. Crop Sci.

44:827-834.

- Wissemeier, A.; W, Linzmeier; R, Gutser; W, Weigelt; U, Schmidhalter. 2001. The new nitrification inhibitor DMPP (ENTECC®)—Comparisons with DCD in model studies and field applications. In: Plant Nutrition. Springer, pp. 702–703.

- Wu, S.; L, Wu; Q, Shi; Z, Wang; X; Chen; Y, Li. 2007. Effects of a new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrate and potassium leaching in two soils. J. Environ. Sci. 19, 841–847.