

## Trabajo Final de Carrera de Ingeniería Agronómica

(Modalidad dúo)

# **Evaluación de la eficiencia de fertilización nitrogenada con la aplicación de inhibidor de la ureasa (NBPT) sobre el rendimiento en grano de maíz.**

**Alumno:** Portugal, Julián

**Legajo:** 26185/7

**Email:** julian.portugal88@gmail.com

**DNI:** 33935550

**Tel.:** 0221-155030435

**Alumno:** Torres, Fernando

**Legajo:** 26981/8

**Email:** fer\_tor92@hotmail.com

**DNI:** 36906178

**Tel.:** 02262-15591816

**Fecha de Presentación :6/7/2018**

**Director:** Dr. Weber, Christian.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....	14
HIPÓTESIS.....	17
OBJETIVOS.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
RESULTADOS.....	20
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIÓN.....	30
ANEXO.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	37

## 1. Resumen

La urea es la principal fuente de nitrógeno (N) aplicado en la mayoría de los cultivos, pero es susceptible a pérdidas por volatilización del amonio, frente a esto se ha diseñado un inhibidor de la ureasa, n-butyliamidatofosfórica (NBPT), que pueden minimizar ese problema, inhibiendo temporalmente la degradación enzimática de la enzima ureasa, bloqueándola por el término de diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000).

Se comparó el efecto de dos fuentes de nitrógeno 0-46-0 (con y sin inhibidor de ureasa) sobre el rendimiento de 5 híbridos de maíz a igual dosis de N aportada y en diferentes fechas de siembra. Se llevó a cabo una red de ensayos en 3 zonas diferentes (Oeste pcia. de Bs As, Entre Ríos y Región Mar y Sierras), con el objetivo de determinar la mejor opción de fertilización para el productor, evaluando como se dijo anteriormente el efecto sobre el rendimiento en grano del maíz y el impacto económico de ambas fuentes, con el fin de determinar la viabilidad productiva y económica de la utilización de la Urea tratada con NBPT.

Las respuestas a N promedio de fuentes y dosis fueron de 2265 kg/Ha y de 1434 kg/ha para los ensayos de siembra temprana y tardía respectivamente. En ambos grupos de experimentos se observó superioridad de respuesta por el empleo de la fuente con inhibidor de la ureasa (N total) respecto de Urea, se observó una diferencia promedio de 512 kg/ha en los tempranos y de 447 kg/ha en los tardíos a favor de la fuente con inhibidor.

En el análisis económico se observó una diferencia a favor de la Urea con NBPT que determina una reducción en los costos de fertilización para el productor. En los tempranos la diferencia fue de \$314/ha. y en los tardíos de \$139/ha.

## **2. Introducción**

### **2.1 Producción de Maíz**

El maíz es el cereal más producido a nivel mundial, se cultiva en una superficie de 162 millones de hectáreas y anualmente su producción es superior a los 950 millones de toneladas en grano, alcanzando rendimientos promedio de 5.2 t/ha, según la Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Los productores más grandes son los EEUU y China que producen 37 y 21% de la totalidad mundial respectivamente. Los tres exportadores principales son los EEUU, Argentina y Brasil (FAO 2017). La amplia variedad de materiales utilizados, convierten al maíz como materia prima, a los productos de su transformación, a la tecnología para la producción del cereal y sus derivados en elementos centrales en las negociaciones entre países y bloques del mundo.

El rápido crecimiento de la industria de etanol en Estados Unidos, la evolución de los países asiáticos, la industria aviar, y el aumento de la población son algunas de las razones que han llevado a que el consumo mundial de maíz crezca más de un 35% durante la última década según la Asociación Maíz y Sorgo Argentino (MAIZAR 2017).

Estudios realizados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), establecen que en los últimos 10 años el consumo industrial de maíz creció un 52% mientras que el destino del grano como forraje solo aumentó un 15%. De esta forma, el cereal se transformó en el cultivo más producido del mundo superando al trigo y al arroz.

El maíz es el segundo cultivo más importante de la Argentina luego de la soja, con una participación del 24% de la producción total de granos del país, y el 69% en la exportación de cereales. (MAIZAR 2017). Es uno de los cultivos históricos en nuestro país, pero debido a que el costo de producción del maíz es más elevado que el de la soja, se observó durante muchos años una tendencia de reemplazo del área sembrada con maíz por soja, derivando esto en el desplazamiento del cereal hacia zonas consideradas años atrás como marginales. Sin embargo, se viene verificando en el último tiempo una recuperación del área sembrada con maíz, esto se debe a la imposibilidad de su reemplazo como materia prima en diversas industrias, la necesidad de una agricultura sustentable a través de su participación en la rotación de cultivos incorporando carbono al sistema y fundamentalmente al aumento de los precios internacionales. Esta tendencia creciente se reflejará en la campaña 2017-2018 para la cual se estima que habrá un aumento de área de siembra de alrededor del 20%, en tanto así que en 2018 se cosecharían 35 millones de toneladas de maíz

contra 50 millones de toneladas de soja según predicciones establecidas por la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Dada la importancia de la producción de maíz para la economía de la Argentina, desde la década de los noventa se han generado diversas tecnologías que han permitido mejorar su proceso productivo, así como sus rendimientos. Entre los principales cambios tecnológicos generados en el sector maicero argentino se destacan la adopción masiva de la Siembra Directa, materiales genéticamente modificados, la incorporación de agricultura de precisión, así como un fuerte aumento en el uso de insumos, en particular de herbicidas y fertilizantes requeridos por el tipo de labranza. El avance tecnológico sobre la genética del maíz permitió a este cultivo lograr los mayores aumentos de rendimientos promedio en los últimos 30 años, pasando de 3 t/ha. en la década de los ochenta a un record de 7.12 t/ha. en la campaña 2009/10 (MAIZAR 2017).

El cultivo de maíz alcanza su máximo desarrollo en la región pampeana por su gran extensión de tierras fértiles y clima templado. La producción se centra sobre todo en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe que juntas constituyen la “zona núcleo”. Según análisis de MAIZAR esta región concentra el 70% de la superficie total de maíz sembrado en el país y contribuye con el 77% de la producción nacional. El principal destino del maíz argentino es la exportación.

El avance tecnológico sobre la genética del maíz condujo a que sea el cultivo con mayores aumentos de rendimientos en los últimos 30 años. Las prácticas de cultivo van modernizándose y los productores van buscando mayores rendimientos y mayor estabilidad de los mismos, a través del aprovechamiento de la genética que lo permite. Por lo tanto, prácticas culturales como fertilización, control de malezas o el control de plagas son cada vez más necesarias.

## **2.2 Nutrición del cultivo**

El manejo eficiente de la nutrición en el cultivo de maíz es uno de los pilares fundamentales para alcanzar elevados rendimientos, sostenibles y con resultados económicos positivos.

El rendimiento de maíz está determinado principalmente por el número final de granos logrados por unidad de superficie, el cual es función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración (Andrade et al., 1996). Por lo tanto, para alcanzar altos rendimientos, el maíz debe lograr un óptimo estado fisiológico en

floración: cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa.

La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente cinco a seis hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada. Las necesidades nutricionales del cultivo se definen de acuerdo al nivel de rendimiento a alcanzar.

La Tabla 1 muestra el requerimiento (cantidad total de nutriente absorbida por el cultivo) y la extracción en grano de los nutrientes esenciales para producir una tonelada de grano. (Ver Anexo).

En la región pampeana, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) son los nutrientes que más limitan el rendimiento de este cultivo (Ferraris et al., 2002; Díaz-Zorita, 2001; Echeverría et al., 2001; Melgar & Lavandera 1999).

Debido a esto, el consumo de fertilizantes en la producción de maíz por grupo químico se concentró en los productos nitrogenados, fosforados y azufrados, con una participación del 60, 31 y 9% del total del volumen consumido, respectivamente. (Fertilizar, 2016)

A pesar del notable aumento en el consumo de fertilizantes, el desbalance nutricional sigue siendo muy importante debido al deterioro progresivo de la capacidad de abastecimiento de nutrientes de los suelos como resultado de los balances negativos (extracciones muy superiores a las aplicaciones) generó deficiencias de N, P y S que deben ser mitigadas para lograr altos rendimientos en el marco de una agricultura sustentable. Algunos parámetros diagnóstico sirven para ilustrar la situación descrita: el fósforo (P) extractable (P Bray) está disminuyendo a razón de 1 a 2 partes por millón (ppm o  $\text{mg kg}^{-1}$ ) por año; la materia orgánica (MO) del área núcleo pampeana ha sufrido un descenso promedio de 0.5% en las últimas tres décadas, y el contenido de calcio (Ca) ha disminuido alrededor de un 50%. También se está registrando una acidificación creciente de los suelos, que se manifiesta por un descenso del pH entre media y una unidad (Casas, 2006). Se registra una elevada extracción de nutrientes no repuestos en igual magnitud, que provoca un deterioro progresivo en la fertilidad de los suelos poniendo en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000; Martínez, 2002; Cruzate y Casas, 2003 y 2009). La situación descrita indica la existencia de sistemas productivos que no son sostenibles, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementando los procesos de degradación de los suelos y, por ende, limitando el crecimiento de la producción agrícola nacional. (Cruzate y Casas 2012). Esta reposición insuficiente, ha provocado una disminución de los niveles de materia orgánica de los suelos y en

consecuencia de su fertilidad. Por su parte el elevado volumen de rastrojos aportado por el maíz contribuye favorablemente al contenido de materia orgánica del suelo. Además, la elevada relación carbono/nitrógeno permite una mayor perdurabilidad de los residuos. El mantenimiento de una adecuada rotación de cultivos resulta fundamental para asegurar la sustentabilidad de los sistemas en el mediano y largo plazo. Las rotaciones que incluyen maíz implican una mayor sustentabilidad (en sus diferentes dimensiones) en el largo plazo, contribuyendo a la estabilidad de los sistemas de producción, manteniendo la materia orgánica de los suelos. Un escenario como el experimentando en la agricultura actual debe responder a un proceso razonable, apoyado en el conocimiento y manejo tecnológico adecuado de cada componente del sistema de producción. En este contexto, el cultivo de maíz surge como un eslabón que, integrado a otros, contribuye sustancialmente al funcionamiento y mantenimiento de la calidad de los recursos y al potencial productivo de nuestros suelos. (Weber, 2017)

Esto demuestra claramente la necesidad de mejorar la eficiencia de la fertilización no solo para incrementar rendimientos y reducir costos de producción sino también para disminuir los impactos ambientales que esta práctica puede generar. Asimismo, deben cuantificarse los balances de nutrientes de los distintos sistemas de producción para evitar la degradación del recurso suelo por pérdida de fertilidad.

### **2.3 Fertilización Nitrogenada**

Entre los elementos minerales esenciales, el nitrógeno (N) es el que con más frecuencia limita el crecimiento y el rendimiento del maíz. Esta condición ocurre porque las plantas requieren cantidades relativamente grandes de N (de 1.5 a 3.5% de peso seco de la planta) y porque la mayoría de los suelos no tienen suficiente N en forma disponible para mantener los niveles deseados de producción.

En condiciones naturales, el N entra al suelo como resultado de la fijación biológica y/o de la descomposición de residuos animales y vegetales. La mayor parte del N en los suelos está contenida en la materia orgánica (> 90%), en forma relativamente estable que no es directamente disponible para las plantas. Una porción del N en el material orgánico se torna disponible por mineralización promovida por los microorganismos del suelo. Las cantidades liberadas varían y dependen de las prácticas de manejo y de las condiciones ambientales. Sin embargo, la liberación es normalmente muy lenta para satisfacer las necesidades de un cultivo de maíz en crecimiento (solamente 2-3% de N del N total se convierte a formas disponibles cada año). Como resultado, se requiere añadir N a través de fertilizantes para optimizar el crecimiento y el rendimiento del maíz.

La acumulación de N se anticipa al crecimiento, y en condiciones no-limitantes del mismo, la tasa de acumulación de N es máxima en el período que transcurre entre el estadio vegetativo de cinco a seis hojas (V5-6) y los 15-20 días después de la floración, alcanzando valores de 3,8 kg N ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Uhart & Andrade, 1995). En cultivos de muy elevados rendimientos se han reportado tasas de acumulación de 8,4 Kg. Ha.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> entre V5-6 y panojamiento (Karlenet *et al.*, 1988). El N es acumulado en partes vegetativas hasta floración para luego ser removilizado hacia los granos en crecimiento. En híbridos Stay Green (o más correctamente, con senescencia demorada) de maíz, este retardo en la degradación de proteínas tiene una penalidad en la cantidad de proteínas del grano, estos híbridos retrasan menos N a los granos desde las hojas, por lo tanto, dependen más del nitrógeno edáfico al momento del llenado de granos.

En floración, el cultivo puede acumular entre el 60 y el 70% de los requerimientos totales, lo que indica que este nutriente debe estar disponible después del estadio de V5-6. La demanda de N del cultivo de maíz aumenta marcadamente a partir de dicho estado (30-50 días después de la emergencia). Por esta razón, la aplicación en este estado del cultivo o inmediatamente previa ha sido reportada como la de mayor eficiencia de uso de N (Sainz Rozas *et al.*, 1999). La eficiencia de estas aplicaciones tempranas depende de a) la cantidad y frecuencia de precipitaciones entre la aplicación y la absorción de N del cultivo que pueden originar pérdidas por lavado y/o desnitrificación y b) la inmovilización microbiana que depende principalmente de la cantidad de residuos.

El nitrógeno es un elemento móvil, que llega hasta las raíces a través de un proceso denominado flujo masal, es decir es transportado en la propia solución del suelo siguiendo un gradiente de potencial hídrico (por el flujo transpiratorio). La planta absorbe el nitrógeno bajo la forma de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), fundamentalmente bajo la primera de éstas (Andrade y Anderson, 1986).

La absorción de nitratos se produce en contra de un gradiente electroquímico, lo que representa un gasto de energía metabólica para la planta, a diferencia de lo que ocurre con la absorción de amonio que se realiza a través de mecanismos pasivos que no demandan un gasto energético (Luttge y Higinbotham, 1987).

Independientemente de la forma como haya sido absorbido, una vez dentro de la planta, el N inorgánico tiene que ser asimilado (incorporado y reducido) a formas orgánicas, comúnmente aminoácidos. El N se incorpora en numerosos compuestos esenciales a la planta, pero la mayoría (> 90%) está presente en las proteínas. A pesar de lo complejo, el impacto del metabolismo del N en el crecimiento y rendimiento del maíz se puede resumir en dos funciones generales: 1) establecimiento y



mantenimiento de la capacidad fotosintética y 2) desarrollo y crecimiento de los sumideros reproductivos (Below, 1995).

El establecimiento de la capacidad fotosintética se logra asegurando que la provisión de N no limite el funcionamiento del complejo sistema que controla la fotosíntesis (enzimas, pigmentos y otros compuestos). Dentro de ciertos límites, el incremento en la disponibilidad de N aumenta el crecimiento y vigor de la planta. La deficiencia de N afecta la captación solar, en consecuencia, la fotosíntesis y en última estancia el rendimiento de granos. En situaciones de baja disponibilidad de N el crecimiento del cultivo se resiente debido a una menor intercepción de la radiación incidente (eficiencia de intercepción) y la eficiencia con que éste convierte dicha radiación interceptada en materia seca (eficiencia de conversión). La reducción de la eficiencia de intercepción ante deficiencias de N es debida a una menor área foliar y a una menor duración de la misma.

A su vez, la menor área foliar es consecuencia de un menor tamaño de las hojas y no del número de hojas diferenciadas (Uhart & Andrade, 1995), mientras que la menor eficiencia de conversión se explica por la baja tasa fotosintética, producto de un bajo contenido de nitrógeno en la hoja (Novoa & Loomis, 1981)

Las deficiencias de N se reconocen rápidamente en el campo debido a la coloración verde amarillenta del cultivo (clorosis), sin embargo, es mucho más difícil identificar el nivel adecuado y excesivo de N en el cultivo. El amarillamiento y senescencia foliar producido por la escasez de dicho nutriente comienza en las hojas basales que remobilizan el N hacia las más jóvenes. La clorosis avanza desde la punta por la nervadura central hacia la base de las hojas.

Para alcanzar altos rendimientos, se necesita no solamente establecer la capacidad fotosintética de la planta, sino también que la fotosíntesis continúe durante la formación y crecimiento del grano. Esta fase es particularmente importante debido a que la acumulación de materia seca en el grano de maíz depende de la fotosíntesis que ocurra en esta etapa. La mayor parte del N en las hojas de maíz está asociada con las proteínas del cloroplasto (alrededor de 60% del total de N en la hoja). Estas proteínas están sujetas a desdoblamiento y los aminoácidos resultantes se traslocan dentro de la planta. La capacidad fotosintética de las hojas disminuye con la senescencia y con esto también se reduce el suplemento de asimilados de la fotosíntesis y el rendimiento de grano. Cuando existe deficiencia de N esta reducción ocurre más rápidamente y en consecuencia se forman mazorcas más pequeñas con menos granos.

Las deficiencias de nitrógeno reducen el rendimiento en grano afectando tanto el número como el peso de los mismos. Dentro de los componentes del número de

granos, las espigas por planta y los granos logrados por óvulo diferenciado son los más afectados. La mayor parte de la pérdida de granos se debe a fallas en la fertilización y/o incremento del aborto (32-38%) (Uhart & Andrade, 1995). Muchos estudios demuestran que el incremento en el rendimiento inducido por N es fundamentalmente el resultado de más granos por planta (Below, 1995; Uhart y Andrade, 1995).

La pérdida de peso de los granos, por falta de nitrógeno, se debe a que afecta la determinación del número de células endospermáticas y gránulos de almidón en postfloración temprana y/o porque disminuye la fuente de asimilados durante el llenado de granos (Uhart & Andrade, 1995).

Se ha determinado que deficiencias de nitrógeno pueden reducir la tasa de crecimiento del cultivo entre 15 y 59 % y la eficiencia de conversión entre 7% y 51% (Uhart & Andrade, 1995). De aquí se desprende la importancia fundamental que representa la fertilización nitrogenada ya que es el nutriente que en mayor medida limita su desarrollo en suelos con agricultura continuada (Fontanetto et al, 2001.)

La aplicación de fertilizantes nitrogenados debe realizarse en función de estudios diagnóstico de disponibilidad y demanda del nutriente, para esto existen diversas técnicas tales como:

### 2.3. a. Análisis de Plantas

El análisis de nutrientes en plantas es una herramienta interesante para evaluar o monitorear la nutrición del cultivo. La gran ventaja respecto del análisis de suelos es que integra los factores de clima y manejo que afectan al cultivo. Para ello se pueden determinar nutrientes en diferentes etapas fenológicas y en diferentes órganos de la planta (planta entera; hoja de la espiga en floración, etc.) y es posible comparar la concentración de nitrógeno con rangos de suficiencia de nutrientes internacionales o de calibración local. Otras tecnologías utilizadas son la determinación de nitratos en base de tallos, la utilización de índices de verdor (mediante clorofilómetros), etc. Todas las herramientas de diagnóstico deberían ser utilizadas en forma sistémica o integral para evaluar cuál de ellas se ajusta mejor a las necesidades técnicas, operativas y económicas de cada sistema de producción. Profundizaremos en la técnica del análisis de clorofila mediante el clorofilómetro Minolta Spad 502.

Este dispositivo determina la cantidad relativa de clorofila presente mediante la medición de la absorción de la hoja en dos regiones de longitud de onda; en las regiones rojas (645-700 nanómetros) que es la banda que absorbe la clorofila y las regiones cercanas a infrarroja (800 nm. a 2500 nm.), longitud que es utilizada como

forma de normalización ya que la clorofila no absorbe en esa banda. Utilizando estas dos transmisiones el medidor calcula el valor numérico SPAD que es proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja y en consecuencia de Nitrógeno (N).

La presencia de clorofila en las hojas de las plantas está estrechamente relacionada con las condiciones nutricionales de la planta. El contenido de clorofila se incrementa proporcionalmente a la cantidad de nitrógeno.

Un decremento en el valor SPAD indica un decremento en el contenido de clorofila y la concentración de nitrógeno. Este decremento puede ser debido a una carencia de nitrógeno disponible en el suelo.

### 2. 3. b. Criterio de balance de nitrógeno

La oferta de nitrógeno para cubrir las necesidades nitrogenadas proviene de varios componentes:

1-Nitrógeno de nitratos disponible a la siembra ( $N-NO_3^-$  disponibles de 0-60 cm)

2-Nitrógeno mineralizado de la materia orgánica humificada: la cantidad de nitrógeno mineralizado durante el ciclo del cultivo varía según temperatura, humedad y tipo de suelo. A modo orientativo, se puede considerar alrededor del 2.5% del Nt (nitrógeno total del suelo) determinado en el estrato de 0-30 cm.

3-Nitrógeno del fertilizante: en el caso de que el nitrógeno inicial medido por análisis de suelos a la siembra (nitratos) y el nitrógeno mineralizado desde la materia orgánica humificada sean inferiores al requerido por el cultivo se deberá fertilizar la diferencia para mantener el balance en equilibrio (oferta de nitrógeno=demanda de nitrógeno). La cantidad de fertilizante inferida a partir de este procedimiento denominado "criterio de balance" deberá ser ajustado por la eficiencia de fertilización. La magnitud de la misma depende del tipo de fertilizante y del manejo del mismo (fuente, tecnología de aplicación, momento de fertilización, etc.)

### 2. 3. c. Nitratos en el suelo (0-30 cm) en V6-7:

La disponibilidad de nitratos en el suelo (0-30 cm) medidos cuando el cultivo tiene 6-7 hojas completamente expandidas (V6-7) es un mejor predictor del rendimiento que los nitratos a la siembra ya que incorpora el nitrógeno residual más el proveniente de la mineralización del humus hasta ese momento. La máxima productividad de maíz se lograría con niveles de  $N-NO_3^-$  entre 18-20 ppm.

A su vez existen numerosas fuentes de fertilización nitrogenada (Tabla 2, Ver Anexo), sujetas a variaciones en su eficiencia de uso, así como a sus formas de aplicación y costo. Los fertilizantes pueden ser tanto sólidos como líquidos, siendo más generalizado el uso de los primeros, aunque en los últimos años ha ido creciendo

el empleo de aplicaciones líquidas. Los fertilizantes sólidos pueden ser aplicados al voleo en superficie o en bandas con incorporación en el suelo, por su parte los fertilizantes líquidos son pulverizados tanto en cobertura total como en aplicaciones en banda mediante la utilización de caños de bajada. Los fertilizantes incorporados al suelo son menos susceptibles a pérdidas por volatilización y presentan menor variabilidad en su eficiencia de uso. Es de fundamental importancia maximizar la eficiencia del uso de los fertilizantes ya que el nitrógeno que no es aprovechado produce, además del perjuicio económico, daño ambiental por pérdida del nutriente a capas inferiores del perfil del suelo. Las pérdidas excesivas de fertilizante nitrogenado de los cultivos pueden contaminar las aguas profundas con nitrato (Carpenter et al., 1998; Burkart and James, 1999).

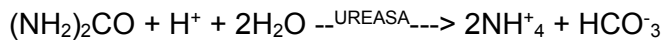
El manejo del fertilizante debería contemplar qué pérdidas de nitrógeno se pueden presentar y diseñan la estrategia de fertilización que minimice la incidencia global de las mismas.

En función de lo antes dicho, la fertilización nitrogenada es una práctica generalizada, pero constituye uno de los costos de producción más importantes. El nitrógeno una vez aplicado al suelo está sujeto a un gran número de procesos de pérdidas: volatilización del nitrógeno amoniacal, desnitrificación, inmovilización biológica, fijación por minerales arcillosos, lixiviación y escorrentía; esto explica la baja eficiencia que resulta de su utilización por la mayoría de los cultivos. A partir de esto se fueron adaptando tecnologías que permitieron mejorar considerablemente el manejo de nutrientes en cuanto a dosis, fuente, momento y forma de aplicación, tales como los lectores de índice verde, el manejo de dosis variables, la creación de híbridos con características genéticas tales que los hagan más eficientes en el uso de nitrógeno, aplicación de fertilizantes sintéticos con mayores aptitudes, etc. las cuales ayudan a reducir tanto los costos productivos como los riesgos de contaminación.

#### **2.4 Inhibidores de la amonificación.**

La urea es la principal fuente de nitrógeno (N) aplicada en la mayoría de los cultivos, pero es susceptible a pérdidas por volatilización del amonio. Se trata de un proceso en el que en primera instancia la urea es hidrolizada por la enzima ureasa formándose carbamato de amonio, lo que provoca una elevación temporaria del pH en el sitio de la hidrólisis (pH 8.5). Simultáneamente se produce un equilibrio entre el amonio adsorbido a los coloides y el de la solución del suelo, con el amoníaco en la solución y en la atmósfera. La ureasa es una enzima ampliamente difundida en los suelos y de origen microbiano, en general la actividad ureásica se relaciona con el contenido de materia orgánica, el contenido de arcilla y la capacidad de intercambio

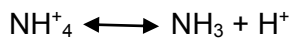
catiónico del suelo. Durante este proceso, el incremento de pH produce un aumento en la producción de amoníaco (NH<sub>3</sub>), el cual es perdido a la atmósfera. Las pérdidas por volatilización son más elevadas cuando las temperaturas se incrementan (mayores a 15-18°C), cuando el contenido de humedad del suelo disminuye, dado que el secado del suelo aumenta la concentración de NH<sub>3</sub> en la solución (Adaptado de Darwich, 2005 y Echeverría y García, 2005). El proceso puede ser resumido en las siguientes ecuaciones



Urea

Amonio

Esta reacción genera áreas de alto pH en el sitio de la hidrólisis. El Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) formado entra en una reacción de equilibrio con el amoníaco (NH<sub>3</sub>) de la solución del suelo.



Amonio

Amoníaco (gas)

Bajo siembra directa, las pérdidas por volatilización son mayores que bajo Labranza Convencional debido principalmente a la mayor actividad ureásica de los residuos, por ello la aplicación de urea incrementaría la tasa de pérdida de nitrógeno por esta vía, siempre que el ambiente sea predisponente. (Sainz Rosas H, *et al.* 1997) En resumen, dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores del ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (Ferraris *et al.*, 2009).

Una vez incorporado el fertilizante (ya sea por un implemento agrícola o por las lluvias y/o riego) la magnitud de la pérdida se reduce significativamente, debido a que se incrementa la superficie de contacto suelo/fertilizante, aumentando la capacidad del suelo para regular los cambios de pH que ocurre alrededor del granulo de fertilizante. De todos modos, los factores que regulan las pérdidas por volatilización y la interacción entre los mismos hacen que estos procesos sean de difícil predicción y que presente una elevada variabilidad debido al manejo del suelo, del fertilizante y a las características edáficas y climáticas de zona.

Frente a esto se ha diseñado un inhibidor de la ureasa, n-butyltiamidatofosfórica (NBPT), que puede reducir ese problema, bloqueando temporalmente la degradación catalizada por la enzima ureasa, por el término de diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). Lo que daría tiempo para que el fertilizante sea incorporado por una lluvia.

El retraso en la hidrólisis reduce la concentración de  $\text{NH}_3$  presente cerca de la superficie del suelo, lo que disminuye el potencial de volatilización y mejora la oportunidad de que la lluvia arrastre la urea más profundamente al suelo. De modo que el inhibidor puede servir como alternativa de manejo ambientalmente racional para incrementar la tasa de fertilización con urea, siempre y cuando su uso sea económico. Catherine *et al.* (1990)

El presente trabajo pretende clarificar algunos aspectos de la volatilización del amoníaco analizada en investigaciones previas mediante la evaluación del efecto inhibidor NBPT sobre la enzima ureasa con el fin de observar si el cultivo de maíz lograr un aprovechamiento más eficiente del N en la conversión en rendimiento, con la finalidad de destacar la utilidad de esta tecnología como una herramienta viable para reducir las pérdidas de este nutriente esencial en la producción agrícola.

### **3. Revisión de antecedentes.**

Tal y como demuestra en su investigación L. L. Hendrickson (1992) el NBPT proporciona una alternativa efectiva frente a las tasas excesivas de urea que se aplican en superficie para asegurar que N no limite los rendimientos de grano. El inhibidor de la ureasa, la triamida N- (n-butil) tiofosfórica (NBPT) se evaluó aplicando NBPT y con UAN (fertilizante líquido Urea – Nitrato de amonio) Cuando se promedió sobre las tasas de N y NBPT para todos los lugares y años del estudio, los tratamientos con NBPT mostraron aumentos de rendimientos de grano cuando se aplicó con tanto con urea como con UAN.

Las respuestas medias a NBPT fueron más altas en sitios que pudieron responder a N conservado por NBPT. Las respuestas medias a NBPT fueron también mayores en los sitios donde los tratamientos de NV (N) no volátil dieron rendimientos más altos que la urea no enmendada. Los resultados de los ensayos que emplearon múltiples dosis de N mostraron que los rendimientos máximos de grano podrían obtenerse utilizando menos Kg/Ha de N cuando se incluye NBPT con urea aplicada superficialmente.

Por su parte, Rawluket *al* (2001) en su investigación observaron que el efecto inhibitorio de la NBPT fue menos pronunciado y persistente cuando se presentaron temperaturas cálidas del suelo que habrían inducido una rápida disolución granular, una elevada actividad ureasa y un movimiento ascendente de urea y  $\text{NH}_3$  a la superficie del suelo en la corriente de evaporación. Del mismo modo comparando texturas de suelos, observaron que las pérdidas de amoníaco fueron mayores para suelos arenosos, que se caracterizan por una menor capacidad de retención de  $\text{NH}_4^+$ .

Así mismo, aseguran que el inhibidor de la ureasa no puede reducir significativamente las pérdidas de  $\text{NH}_3$  de la urea cada año, ya que las condiciones de volatilización varían, por lo tanto, la obtención o no de un beneficio depende de las propiedades iniciales del suelo en el momento de la fertilización y de las condiciones meteorológicas posteriores a la aplicación.

En su trabajo Sanz Cobena *et al* (2011), sugieren que la eficacia de NBPT en la reducción de las pérdidas de N de la urea aplicada está influenciada por las prácticas de manejo, como el riego, y condiciones climáticas. El uso de la urea se ha asociado con grandes pérdidas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), especialmente cuando se aplica en condiciones menos que óptimas tales como baja humedad y alta temperatura del suelo, esto reduce la eficacia del fertilizante aplicado y también plantea problemas de salud asociados con procesos de acidificación, enriquecimiento en nitrógeno de los ecosistemas naturales y la formación de partículas finas, respectivamente. En su estudio mencionan que, en tierras de cultivo, la eficacia de NBPT en la mitigación de pérdidas de  $\text{NH}_3$  fue evaluado por Dinget al. (2011), quienes observaron un efecto mitigador del 37,7% para NBPT en un cultivo de maíz fertilizado con urea.

Estos investigadores planteaban que concentraciones menores de  $\text{NH}_4^+$  en suelos como consecuencia de la aplicación de un inhibidor de ureasa podría disminuir la tasa de nitrificación afectando tanto la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  como de  $\text{NO}$ , que son muy dependientes sobre este mecanismo en suelos fertilizados con urea (Sánchez-Martín *et al.*, 2010). Afirman que la eficiencia de los inhibidores de la nitrificación y de la ureasa en los suelos es muy dependiente del espacio de poros lleno de agua del suelo durante el período posterior a la aplicación (Zaman *et al.*, 2009). En los sistemas bajo riego, la adición de agua puede favorecer condiciones del suelo que podrían afectar la capacidad de NBPT para mitigar las pérdidas de nitrógeno de la fertilización de la urea. En este sentido, el riego controlado durante los días siguientes a la aplicación de urea, podría probablemente aumentar la eficiencia de este inhibidor para mitigar las emisiones. Encontraron por lo tanto que el uso del inhibidor de la ureasa fue efectivo en la reducción de las pérdidas de N de un cultivo de maíz fertilizado con urea. Sin embargo, la efectividad de este compuesto fue significativamente influenciada por las prácticas de manejo y su impacto en las condiciones del suelo, y especialmente la humedad del suelo.

Fox y Piekiele (1993) encontraron que la modificación de la urea con NBPT al 0,5% también aumentó significativamente la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados en aplicaciones de urea no incorporada y en bandas.

En base a los conceptos anteriormente expuestos, se plantea la siguiente hipótesis y objetivo.

#### 4. Hipótesis

La utilización de urea tratada con NBPT para fertilizar maíz permite un aprovechamiento más eficiente del nitrógeno, lo que redundará en mejores resultados productivos y económicos frente a la fertilización con urea tradicional.

#### 5. Objetivo

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de dos fuentes de nitrógeno 0-46-0 (con y sin inhibidor de ureasa) sobre el rendimiento de 5 híbridos de maíz a igual dosis de N aportada con la finalidad de clarificar aspectos relacionados al proceso de volatilización del amoníaco y determinar la mejor opción de fertilización para el productor, evaluando el efecto sobre el rendimiento en grano del maíz y costo de producción para ambas fuentes.

#### 6. Materiales y métodos

El trabajo fue realizado como parte de una red de ensayos dirigidos por la comisión de Agricultura CREA bajo la supervisión de los Ing. Agr. Jorge González Montaner y Marcelo Di Napoli. Se llevó a cabo una red de ensayos en 3 zonas diferentes (Oeste pcia. de Bs As, Entre Ríos y Región mar y sierras) (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Zonas y localidades en las que se emplazaron los ensayos a campo.

Zona	Localidad	Campo	Híbrido	Siembra	Fecha Siembra	N-NO3 (kg/ha)	Cob. Rast%
Oeste Bs.As.	Los Toldos	Bajo Hondo	DM 2738	Temprana	03-oct	54,8	70
	Gral. Pinto	San Fermín	DK 7210	Tardía	1-dic	71.7	80
Entre Ríos	Gdor. Mansilla	La Nueva Trinidad	M 510 PW	Temprana	09-sep	49,3	90
				Tardía	23-dic	67.0	70
Mar y Sierras	Pieres	Los Nogales con Riego	Sursem 566	Tardía	25-nov	106.5	85
	Tandil-Azul	San Rufino	Illinois 550	Segunda	26-dic	51.1	96



Cuadro 2. Zonas y ensayos realizados

<b>Zona</b>	<b>Condición</b>	<b>Ensayos</b>
Oeste Buenos Aires	Secano	1 Temprano + 1 Tardío
Entre Ríos	Secano	1 Temprano + 1 Tardío
Mar y Sierras	Riego complementario	1 Tardío
	Secano	1 Segunda Siembra

En cuanto a los híbridos de maíz utilizados fueron: Don Mario 2738, Dekalb 7210, Sursem 566, Illinois 550, y Dow AgroSciences M510 pw. Para mayor información sobre los híbridos empleados ver Anexo.

En todos los casos se empleó una densidad de 60.000 pl/ha. y un distanciamiento de 70 cm entre hileras.

Los fertilizantes utilizados para los ensayos son UREA y UREA tratada con inhibidor NBPT (eNeTotal de Profertil), aplicado al voleo. En todos los casos, la fertilización fosforada a la siembra se realizó con 80 kg PDA/ha. (18-46-0).

Los tratamientos utilizados se realizaron en post emergencia, en un diseño en bloques anidados con 4 repeticiones según se detalla en el cuadro 3.

Cuadro 3: Tratamientos realizados

Nro.	Fuente N	Dosis N (kg/ha)		
		Siembra Temprana	Siembra Tardía y de 2da	Siembra Tardía bajo riego
1	Testigo	0	0	0
2	UREA	80	30	80
3	UREA	110	60	110
4	UREA	140	90	140
5	N Total	80	30	80
6	N Total	110	60	110
7	N Total	140	90	140

Cada parcela poseía una dimensión de 4.2 metros de ancho (6 surcos) y una longitud de 5 metros.

### Mediciones

Al estado R1 del cultivo (emergencia de estigmas) se evaluó el Índice de Verdor como estimador de la concentración de clorofila foliar (SPAD Minolta) como un sensor indirecto de la concentración de N foliar, muestreándose al menos 15 plantas por repetición de tratamiento sobre la hoja de la espiga. El contenido de clorofila está relacionado con la condición nutricional de la planta, más específicamente con la disponibilidad de nitrógeno, y por lo tanto se puede utilizar para determinar cuándo es necesario el fertilizante adicional. Por otro lado, el contenido de clorofila está

estrechamente asociado a la ontogenia de la hoja y se observa una interacción entre senescencia y la disponibilidad de N, donde aquellas plantas deficientes en N presentan una senescencia prematura generalmente. Estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de realizar estimaciones de fertilización.

De todos modos, hay que tener en cuenta algunos aspectos como los que encontraron en su investigación Bullock & Anderson (1998) quienes observaron en sus ensayos que la correlación de las lecturas de SPAD con la tasa de fertilizante nitrogenado fue baja pero fue una herramienta útil al proporcionar una medida del verdor relativo de las hojas en un momento específico en el tiempo. Por tanto, las lecturas de clorofila pueden ser útiles para detectar deficiencias de N en cultivos en crecimiento, pero no debería usarse como única herramienta para hacer predicciones precisas de cuánto fertilizante nitrogenado será necesario para el cultivo, es decir que el medidor SPAD será más útil como ayuda diagnóstica que como una guía para la gestión de la fertilización nitrogenada en maíz tal y como concluyen en su investigación. Sin embargo, este tipo de tecnologías, que pretenden medir concentraciones de clorofila y su relación con la nutrición nitrogenada, no serían capaces de predecir confiablemente el exceso de N, ya que no todo el N es convertido en clorofila cuando la disponibilidad de éste es elevada y a su vez presenta el inconveniente que el SPAD satura a valores altos de clorofila (Scheppers et al., 1992; Weber 2009). Sin embargo, los valores de fertilización utilizados en este trabajo no pretendieron llevar la disponibilidad de nitrógeno a niveles de "consumo de lujo" de los diferentes híbridos utilizados.

A cosecha se evaluó el rendimiento en grano muestreando espigas de 4 metros lineales de surcos adyacentes en cada repetición. Los muestreos se hicieron sobre dos surcos centrales de cada parcela donde además la densidad de plantas responda a la modal de cada ensayo.

## 7. Resultados:

### 7.1-Lecturas de SPAD:

En los dos ensayos de siembras tempranas el déficit de N, evaluado vía lectura de SPAD fue relativamente bajo en los testigos de ambos sitios, 8% en Bajo Hondo y 6 % en La Nueva Trinidad (0.92 y 0.94, valores de Índice de Estrés, respectivamente). Esto se posiblemente se debió a que los suelos estaban bien provistos de nitrógeno. Sin embargo, las diferencias de lecturas entre urea convencional y tratada, a la misma dosis de N, muestra ventajas a favor de esta última, con valores promedio 2% superiores. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Lecturas de SPAD por tratamiento, diferencias con y sin inhibidor a igual N aplicado e Índice de Estrés (\*) de Testigos en cada ensayo en Siembras Tempranas.

Zona	Localidad	Campo	Dosis N	N-NO <sub>3</sub> + N aplicado	SPAD en R1				Índice Estrés
					Urea	N Total	Dif. Ntotal- Urea	Ntotal/ Urea	
Oeste Bs.As.	Los Toldos	Bajo Hondo	0	50,5	<b>50,4</b>	<b>50,4</b>			0,92
			80	130,5	<b>54,7</b>	<b>55,9</b>	1,14	1,02	
			110	160,5	<b>53,4</b>	<b>55,7</b>	2,27	1,04	
			140	190,5	<b>55,5</b>	<b>56,8</b>	1,30	1,02	
Entre Ríos	Gdor. Mansilla	La Nueva Trinidad	0	49,3	<b>53,4</b>	<b>53,4</b>			0,94
			80	129,3	<b>56,2</b>	<b>57,5</b>	1,30	1,02	
			110	159,3	<b>57</b>	<b>57</b>	0,00	1,00	
			140	189,3	<b>56,6</b>	<b>58</b>	1,40	1,02	
		Promedio	0	49,9	51,9	51,9			<b>0,93</b>
			<b>80</b>	<b>130</b>	<b>55</b>	<b>57</b>	<b>1,22</b>	<b>1,02</b>	
			<b>110</b>	<b>160</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>1,14</b>	<b>1,02</b>	
			<b>140</b>	<b>190</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>1,35</b>	<b>1,02</b>	

(\*) Índice de Estrés sin Inhibidor = SPAD Testigo/Promedio SPAD (110-140N)

En los ensayos de siembras tardías o de 2da, el déficit de N se presumía inferior debido a una mayor provisión del nutriente en el suelo (ver Cuadro 1), con un índice de estrés de 5% solo en el ensayo del Oeste (San Fermín) y en el resto de los sitios sin problemas aparentes de déficit de N, incluso en el ensayo de Entre Ríos se verifican valores de nitrógeno superiores a las necesidades del cultivo (4% por encima).

No obstante, a la dosis media y alta de N, se observaron valores de SPAD consistentemente superiores por el empleo de N Total en relación a Urea, promediando entre 3 y 4 %. (Cuadro 5)

Cuadro 5. Lecturas de SPAD por tratamiento, diferencias con y sin inhibidor a igual N aplicado e Índice de Estrés (\*) de Testigos en cada ensayo en Siembras Tardías o de 2da.

Zona	Localidad	Campo	Dosis N	N-NO3 + Naplicado	SPAD en R1				Índice Estrés
					Urea	N Total	Dif. Ntotal-Urea	Ntotal/Urea	
Oeste Bs. As.	Gral. Pinto	San Fermín	0	71,7	52,4	52,4			0,95
			30	102	55,0	55,6	0,57	1,01	
			60	132	54,6	55,9	1,30	1,02	
			90	162	54,1	56,7	2,53	1,05	
Entre Ríos	Gdor. Mansilla	La Nueva Trinidad	0	67	55,5	55,5			1,04
			30	97	55,1	52,0	-3,08	0,94	
			60	127	53,1	55,0	1,88	1,04	
			90	157	53,9	55,6	1,67	1,03	
Mar y Sierras	Pieres	Los Nogales	0	107	58,7	58,7			1,0
			80	187	60,3	59,2	-1,1	0,98	
			110	217	59,7	60,4	0,7	1,01	
			140	247	61	58,8	-2,2	0,96	

	Arroyo Huesos	San Rufino	0	51	<b>54</b>	<b>54</b>	0		1,0
			30	137	<b>53</b>	<b>53</b>	0,0	1,00	
			60	167	<b>51,5</b>	<b>54</b>	2,5	1,05	
			90	197	<b>53,4</b>	<b>56,1</b>	2,7	1,05	
		<b>Promedio</b>	0	69,4	54,0	54,0			0,99
			<b>43</b>	<b>130</b>	<b>55,0</b>	<b>53,8</b>	<b>-1,3</b>	<b>0,98</b>	
			<b>73</b>	<b>160</b>	<b>53,9</b>	<b>55,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,03</b>	
			<b>103</b>	<b>190</b>	<b>54,0</b>	<b>56,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,04</b>	

Estas concentraciones mayores de Nitrógeno detectadas en las lecturas realizadas en los tratamientos con NBPT pueden ser atribuidos a una mayor absorción de este nutriente debido a una disminución de las pérdidas por amonificación.

## 7.2 Rendimiento en Grano:

En los dos ensayos de siembra temprana se lograron elevados rendimientos sin agregado de N, de 11097 kg/ha en La Nueva Trinidad y de 13829 kg/ha en Bajo Hondo, lo que demuestra que la disponibilidad del nutriente en el suelo era adecuada. Las respuestas a Nitrógeno (promedio de Urea y Urea c/ NBPT) fueron altamente significativas en ambos sitios alcanzándose 2438 kg/ha en Mansilla y 2094 en Los Toldos.

En ambos sitios, las diferencias de respuesta entre fuentes, a promedio de dosis, fueron relevantes, de 401 kg/ha en Mansilla y de 623 kg/ha en Los Toldos a favor de la Urea con NBPT. (Cuadro 6)

Cuadro 6. Rendimientos testigo, respuestas promedio por fuente y diferencias de rendimiento, en los ensayos de siembra temprana.

Zona	Oeste		Entre Ríos	
Localidad	Los Toldos		Gdor. Mansilla	
Ensayo	Bajo Hondo		La Nueva Trinidad	
<i>Rinde Testigo</i>	13829		11097	
<i>Respuesta Urea</i>	1782		2237	
<i>Respuesta N Total</i>	2405		2638	
<i>Diferencia Ntot-Urea</i>	623		401	
CV%	4,51		7,55	
	p<		p<	
<i>Fuente</i>	0,1283		0,4398	
<i>Dosis N</i>	0,0001		0,0002	
<i>DosisxFuente</i>	0,2152		0,9586	
	<i>MDS 5%</i>	<i>MDS 10%</i>	<i>MDS 5%</i>	<i>MDS 10%</i>
<i>Fuente</i>	617	508	795	656
<i>Dosis N</i>	873	719	1134	936
<i>DosisxFuente</i>	1235	1017	1603	1653

La interacción entre fuentes de N y dosis empleada no fue significativa, aunque en Los Toldos pareciera insinuarse una tendencia a mayor ventaja de la urea tratada a bajas dosis de fertilizante, con un rendimiento 10% superior. (Ver cuadro 7, columna “Con inhibidor/Sin inhibidor”). Y en promedio en ambas localidades el rendimiento fue 6% superior para la dosis menor en favor de la urea con NBPT.

Cuadro 7. Rendimientos y respuestas de cada fuente por dosis de N empleada en los ensayos de siembra temprana

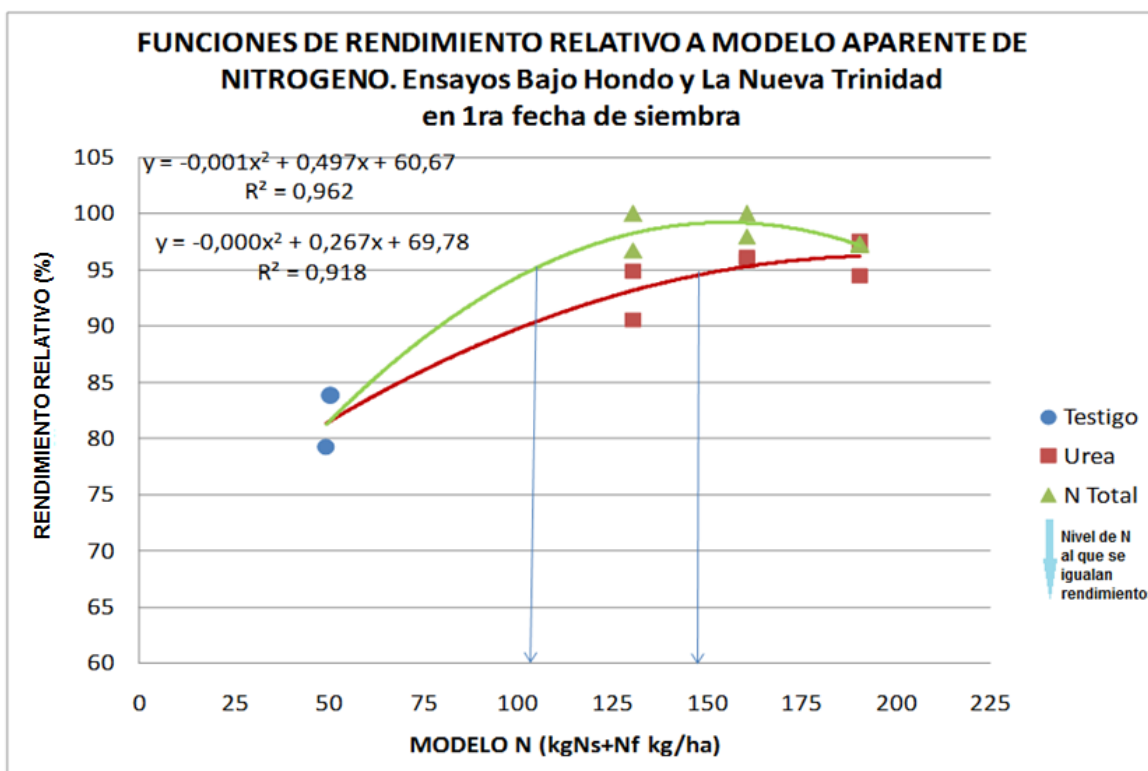
Zona	Localidad	Campo	Dosis N	N-NO3 + N aplicado	Rendimientos			
					Urea	N Total	Diferencia Con-Sin inhibidor	Rendimiento Con Inhibidor/ Rendimiento Sin inhibidor
Oeste Bs. As	Los Toldos	Bajo Hondo	0	50,5	13829	13829		
			80	130,5	14940	16498	1558	1,10
			110	160,5	15802	16167	365	1,02
			140	190,5	16093	16038	-55	1,00
Entre Ríos	Gdor. Mansilla	La Nueva Trinidad	0	49,3	11097	11097		
			80	129,3	13291	13553	262	1,02
			110	159,3	13470	14009	539	1,04
			140	189,3	13239	13644	405	1,03
		Promedio	0	49,9	12463	12463		
			<b>80</b>	<b>131</b>	14116	15025	910	1,06
			<b>110</b>	<b>161</b>	14636	15088	452	1,03



			140	191	14666	14841	175	1,01
--	--	--	-----	-----	-------	-------	-----	------

En términos cuantitativos, la comparación del rendimiento relativo al máximo de cada sitio con el modelo N ( $N-NO_3$  inicial + N aplicado), sugiere el logro de igual rendimiento con una reducción de dosis aplicada del orden de 45 a 50 kgN/ha ante el empleo de Urea tratada respecto de Urea convencional. Valores que indican una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno a partir del fertilizante tratado.

Figura 2. Funciones de Rendimiento relativo a modelo aparente de nitrógeno.



En el gráfico se ejemplifica que con una disponibilidad de 100 Kg/ Ha ( $NO_3$  del suelo + Urea NBPT) se alcanza un rendimiento similar al que se logra con una disponibilidad de 150 Kg/Ha ( $NO_3$  suelo+ Urea convencional), objetivado al 95% del máximo relativo. Estos datos refuerzan la idea que el cultivo de maíz realizaría un aprovechamiento más eficiente del nitrógeno cuando este es tratado con el inhibidor, a partir de la disminución de las pérdidas del nutriente. La necesidad de menores dosis de fertilización implicaría una

reducción en los costos de producción, así como la disminución de efectos de contaminación.

El conjunto de ensayos de siembra tardía y de 2da mostró un rango de rendimientos sin aplicación de fertilizante que va entre 7379 kg/ha en Mansilla hasta 11928 en Gral. Pinto, mientras que las respuestas a N (promedio de dosis y fuentes) variaron desde 801 kg/ha en Gral. Pinto hasta 2324 kg/ha en Pieres con riego.

En ese contexto, las diferencias de respuesta entre fuentes fueron significativas en 3 de los 4 ensayos, variando desde 218 kg/ha en Gral. Pinto hasta 748 kg/ha en Pieres y en todos los casos a favor de N total.

Cuadro 8. Rendimientos testigo, respuestas promedio por fuente y diferencias de rendimiento, en los ensayos de siembra tardía y de 2da.

Zona	Entre Ríos	Centro-Sur de Bs As	Sudeste de Bs As	Oeste
Localidad	Gdor. Mansilla	Arroyo de los Huesos	Pieres	Gral. Pinto
Ensayo	La Nueva Trinidad	San Rufino 2da	Los Nogales Riego	San Fermín
<i>Rinde Test</i>	7369	8909	11213	11928
<i>Rta. Urea</i>	1124	1075	1950	692
<i>Rta. N Total</i>	1481	1537	2699	911
<i>Ntot.-Urea</i>	357	463	748	218
CV%	16,2	6,83	3,11	9,54
	p<	p<	p<	p<
<i>Fuente</i>	0,1226	0,1593	0,0006	0,6532
<i>Dosis N</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,5355

<i>DosisxFuente</i>	0,002		0,0037		<0,0001		0,7857	
	<i>MDS</i> 5%	<i>MDS</i> 10%	<i>MDS</i> 5%	<i>MDS</i> 10%	<i>MDS</i> 5%	<i>MDS</i> 10%	<i>MDS</i> 5%	<i>MDS</i> 10%
<i>Fuente</i>	316	265	493	409	294	244	1032	850
<i>Dosis N</i>	481	403	697	578	416	344	1460	1202
<i>DosisxFuente</i>	681	571	986	817	589	488	2064	1700

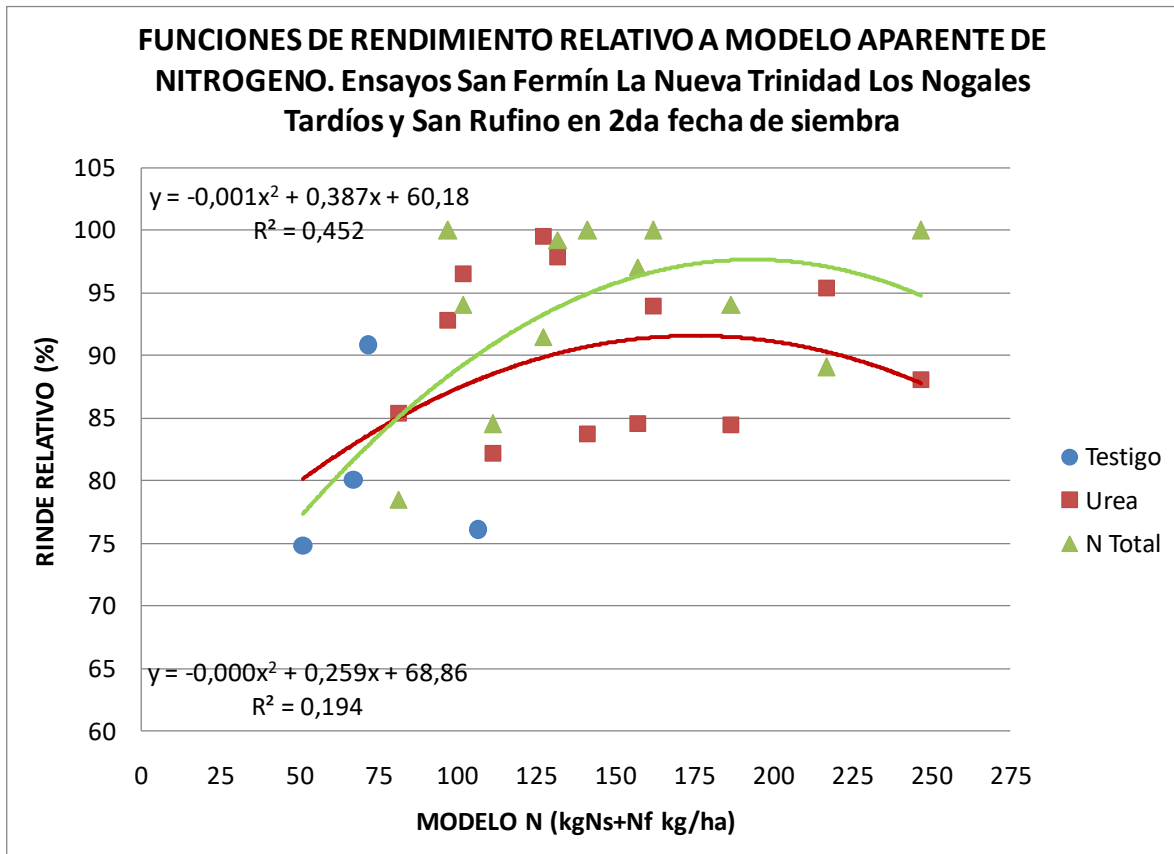
Cuadro 9. Rendimientos y respuestas de cada fuente por dosis de N empleada en los ensayos de siembra tardía y de 2da.

Zona	Localidad	Campo	Dosis N	N-NO3 + N aplicado.	Rendimientos			
					Urea	N Total	Diferencia Con Inhibidor-Sin inhibidor	Con Inhibidor/Sin inhibidor
Oeste Bs. As.	Gral. Pinto	San Fermín	0	71,7	11928	11928		
			30	102	12674	12352	-322,0	0,97
			60	132	12855	13032	176,7	1,01
			90	162	12331	13131	799,7	1,06
EntreRíos	Gdor. Mansilla	La Nueva Trinidad	0	67	7369	7369		
			30	97	8538	9202	664,5	1,08
			60	127	9158	8418	-740,2	0,92
			90	157	7783	8931	1147,5	1,15
Mar y	Pierres	Los	0	107	11213	11213		

Sierras	Nogales	80	187	12456	13864	1408,0	1,11	
		110	217	14057	13130	-926,8	0,93	
		140	247	12978	14741	1763,4	1,14	
	Arroyo Huesos	San Rufino	0	51	8909	8909		
			30	81	10175	9351	-823,7	0,92
			60	111	9798	10072	274,0	1,03
			90	141	9979	11917	1937,5	1,19
	Promedio	0	69,4	9855	9855			
		<b>43</b>	<b>130</b>	<b>10961</b>	<b>11192</b>	<b>231,7</b>	<b>1,02</b>	
		<b>73</b>	<b>160</b>	<b>11467</b>	<b>11163</b>	<b>-304,1</b>	<b>0,97</b>	
		<b>103</b>	<b>190</b>	<b>10768</b>	<b>12180</b>	<b>1412,0</b>	<b>1,14</b>	

La interacción entre fuentes de N y dosis empleada fue significativa en todos los ensayos excepto Gral. Pinto, aunque la tendencia en todos los casos es a mayor diferencia entre fuentes a la más alta dosis de N empleada en cada caso. En promedio de la dosis máxima de cada sitio, N total superó a Urea en 1412 kg/ha, equivalente a un 14 %.

Figura 3. Funciones de rendimiento relativo a modelo aparente de nitrógeno



Obsérvese que en este caso la mayor cantidad de localidades y por consiguiente de ambientes edáficos y condiciones climáticas determinan una mayor dispersión de datos y el modelo utilizado solo explica un 19 y un 45% de la variación del rendimiento respectivamente, esto se debe a que el rendimiento es una función multivariable la cual no puede ser explicada en su totalidad solamente por la disponibilidad de nitrógeno, pero a los fines prácticos del trabajo y para simplificar el análisis se optó por este modelo.

Las tendencias generales para ambas fuentes expresarían una diferencia a favor de la urea con NBPT del orden de los 25 a 30 kg N/ha. De modo de alcanzar rendimientos similares con menores dosis de fertilizante aplicado, tal y como se observó en los ensayos de siembras tempranas.

### 7.3 Análisis económico:

Cotización maíz \$ 3415/Tn 23/03/2018\*

Precio Urea \$ 7927.15/ Tn 26/03/2018\*

Precio Urea con NBPT \$8750/ Tn 26/03/2018\*

\*Fuente: Agrogenerales Servicios Agropecuarios (Necochea).

En función de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados se desarrolla a continuación un análisis económico enfocado en la reducción de costos de fertilización que implica la utilización de Urea + NBPT por sobre Urea tradicional.

En planteos de Siembra temprana:

Aplicando Urea + NBPT se alcanzarían iguales rendimientos de maíz con una reducción en la dosis de fertilización de aproximadamente 50Kg/Ha frente a la aplicación de Urea tradicional.

Suponiendo un planteo de 150 Kg/ Ha de Urea y 100 Kg/Ha NBPT

Costo fertilización con Urea:

$$0.15 * 7927.15 = \$ 1189/\text{Ha}$$

Costo fertilización con Urea + NBPT

$$0.1 * 8750 = \$ 875/\text{Ha}$$

Diferencia a favor del NBPT: \$ 314/ Ha

En planteos de siembra tardía:

Se observó que podrían alcanzarse iguales rendimientos con una reducción del orden de 30 Kg/Ha de fertilizante aplicado.

De modo tal que con una fertilización de 150 Kg/Ha de Urea y 120 Kg/Ha urea + NBPT los resultados serían los siguientes:

Costo fertilización con Urea:

$$0.15 * 7927.15 = \$ 1189/\text{Ha}$$

Costo fertilización con Urea + NBPT

$0.12 * 8750 = \$1050 / \text{Ha}$

Diferencia a favor del NBPT: \$ 139/ Ha

De modo tal que la utilización de Urea tratada con NBPT determina una reducción de costos para el productor debido a la disminución de dosis para alcanzar iguales rendimientos en grano, lo cual supondría un mejor aprovechamiento del nutriente por parte del cultivo ya que a menor cantidad de fertilizante aportado el rendimiento se mantendría igual.

## **8. Discusión**

Tanto en los ensayos realizados sobre cultivos de siembra temprana como tardía se observó una tendencia a la superioridad de respuesta por el empleo de la fuente con NBPT respecto de Urea convencional. La diferencia promedio fue de 512 kg/ha en los tempranos y de 447 kg/ha en los tardíos.

Las relaciones cuantitativas entre el rendimiento relativo al máximo de cada sitio con el modelo N (N-NO<sub>3</sub> inicial + N aplicado) manifiesta dos características a favor de Urea + NBPT: Mayores rendimientos a igual disponibilidad de N y una menor dispersión de resultados, sugiriendo un aprovechamiento más constante del N ofertado hacia los procesos de absorción y conversión en rendimiento.

Se observó una respuesta más consistente por efecto dosis a través de los ensayos con la fuente Urea + NBPT, particularmente en siembras atrasadas.

En función de los resultados obtenidos en este ensayo y de la revisión de antecedentes previos, podríamos inferir que esta práctica es recomendable para lotes con alto contenido de rastrojo en los cuales las pérdidas de nitrógeno por actividad de la enzima ureasa son mayores.

Del mismo modo se observa que la fertilización del cultivo de maíz con urea tratada con NBPT determinaría una reducción de costos de fertilización para el productor.

Lo antes dicho sugiere que esta es una herramienta útil tanto desde el punto de vista económico por incrementar la eficiencia del fertilizante aplicado por los productores como así también desde el punto de vista ecológico al disminuir los riesgos de contaminación por pérdidas de nitratos, aspecto fundamental en la búsqueda de una producción sustentable.

## **9. Conclusión**

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis planteada por lo que el tratamiento de la urea con NBPT, permite un aprovechamiento más eficiente del nitrógeno por el cultivo de maíz, alcanzando así mejores resultados productivos y económicos para el productor frente a la fertilización con urea tradicional. Tal afirmación, de todos modos, estaría supeditada a las condiciones ambientales y tecnológicas en las que se realice la práctica de fertilización, así como también a las variaciones de los precios de insumos. Estos resultados sugieren la necesidad de la continuidad de la experimentación con el objetivo de reforzar el análisis de la alternativa en una gama más amplia de ambientes edáficos, climáticos y de manejo.

## **10. Consideraciones adicionales.**

Debido a que el presente informe se desarrolló a partir de una red de ensayos dirigida por una asociación externa a la facultad, fue necesario adaptarnos a la modalidad de trabajo propuesta por los coordinadores de la red. De modo tal que tuvimos ciertas limitaciones a la hora de planificar mediciones, muestreos y el diseño propio de los ensayos. De todos modos, queremos agradecer a la comisión de agricultura CREA por permitir nuestra participación en su trabajo ya que consideramos que fue una experiencia enriquecedora y de gran aprendizaje.



## 11. Anexo

Tabla 1. Requerimientos nutricionales (kg de nutriente para producir una tonelada de grano), extracción (kg de nutriente en una tonelada de grano) e índice de cosecha de nutriente (proporción del total de nutriente absorbido que está presente en el grano) para el cultivo de maíz. (Berardo & Reussi Calvo, 2009).

<b>Nutriente</b>	<b>Requerimiento (kg.t<sup>-1</sup>)</b>	<b>Índice de Cosecha</b>	<b>Extracción (kg.t<sup>-1</sup>)</b>
<b>Nitrógeno</b>	22	0,66	14,5
<b>Fósforo</b>	4	0,75	3
<b>Potasio</b>	19	0,21	4
<b>Calcio</b>	3	0,07	0,2
<b>Magnesio</b>	3	0,28	0,8
<b>Azufre</b>	4	0,45	1,8
	g,t <sup>-1</sup>		g,t <sup>-1</sup>
<b>Boro</b>	20	0,25	5
<b>Cloro</b>	444	0,06	27
<b>Cobre</b>	13	0,29	4
<b>Hierro</b>	125	0,36	45
<b>Manganeso</b>	189	0,17	32
<b>Molibdeno</b>	1	0,63	1
<b>Zinc</b>	53	0,5	27

Figura 1 Acumulación de Nitrógeno en la biomasa aérea de maíz bajo Siembra Directa (SD) y labranza convencional (LC). Adaptado de Echeverría y Sainz Rosas (2001)

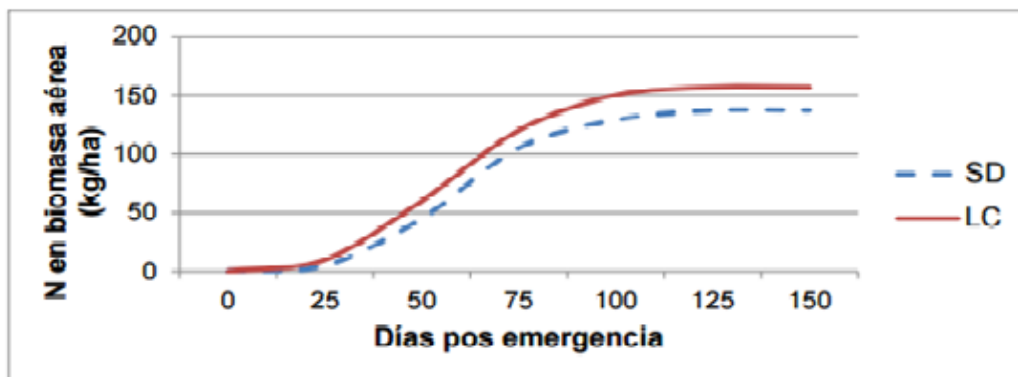


Tabla 2: Fuentes de Fertilizantes Nitrogenados

Fuente de N	Fórmula Química	N %
Amoníaco anhidro	NH <sub>3</sub>	82
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33,5
Sulfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21
Fosfato diamónico	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18-21
Fosfato monoamónico	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	11
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	13
Nitrato de sodio	NaNO <sub>3</sub>	16
Urea	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	46
Urea-Amonio nitrato (UAN)	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	32

---

**Datos Híbridos de Maíz utilizados:**(Información extraída de los catálogos de cada semillero)

- **Don Mario 2738 MG RR2:** Tecnología MaizGardRoundupReady2®

VARIABLES	RESULTADOS
Ciclo y Cruzamiento	Intermedio y Simple
Tipo de Grano	Semi-dentado Anaranjado
Peso de 1000 Granos (g)	300
Madurez Relativa	119
Días a Floración	78 (a) 64 (b)
Altura de Planta (cm)	238 (a)
Inserción de Espiga (cm)	97 (a)
Vuelco (*)	2
Roya (*)	2
Tizón (*)	4
Mal de Rio IV (*)	3

Según el semillero, especialmente recomendado para los planteos de media y baja productividad: Bs. As., centro y sur de Santa Fe, centro y sur de Córdoba, La Pampa y Entre Ríos. Destacado comportamiento en siembras tardías o de segunda en pcia. de Bs. As. y sur de Santa Fe. a) Datos del norte de Bs. As. en fechas tempranas. b) Datos del norte de Bs. As. en fechas tardías. (\*) Escala de 1 a 5. 1= tolerante y 5= susceptible.

- **Dekalb 7210**Tecnología VT TRIPLE PRO®.

VARIABLES	RESULTADOS
Mal de Rio IV (*)	2
Tizón (*)	3

Roya (*)	3
Enfermedades de la espiga (*)	2

(\*) Escala 1 a 9. Valores más bajos determinan tolerancia y los más altos susceptibilidad.

Según Dekalb, es indicado para ambientes de medio a alto potencial ,con muy buena adaptabilidad en siembras tempranas y tardías. Es la mejor alternativa dentro de los híbridos Dekalb en ambientes productivos medios a altos donde expresa las mayores diferencias competitivas, no así en ambientes de inferior calidad donde es superado por otros híbridos Dekalb.

- **Sursem 566** TecnologíaMG / MGRR2 VT TRIPLE PRO®.

VARIABLES	RESULTADOS
Cruzamiento	Simple
Ciclo	Largo
Madurez relativa	125
Días a floración 1	76
Tipo y color de grano	Semidentado anaranjado
Altura de planta en mt.	2,2
Número de hileras	18 / 20
Tolerancia a Mal de Río IV (*)	4
Tolerancia Roya (*)	4
Tolerancia a enfermedades de espiga (*)	5
Tolerancia a Tizón (*)	4

(\*): Escala 1 a 5. Valores más altos indican mayor tolerancia.

\* Illinios 550 Tecnología RR2/ MGRR2/ VT3P®.

CARACTERISTICAS	RESULTADOS
Ciclo	Precoz
Madurez Relativa (días)	102
Días a Floración	68
Altura (m)	2,12
Altura Espiga	Baja
Chalas	Abierta
Posición Espiga a Cosecha	Caída
Color Grano	Amarillo
Dureza	Dentado
Peso 1000 granos (gr)	327
Peso Hectolítrico	78
Longitud espiga (cm)	22
Forma espiga	Cilíndrica
Nro. Hileras	16/18
Granos por hilera	43
Diámetro Marlo	2.19
Rel. Gr/Marlo	84% / 16%
Comportamiento frente MRCV	6
Comportamiento frente a Roya	4.5

- **Dow AgroSciences M510 pw:**Tecnología POWERCORE®.

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
Cruzamiento	Simple
Ciclo	Intermedio/Largo
Días a Madurez Relativa	123
Días a Madurez Fisiológica	125
Días a Floración	70-72
Altura (m)	2,20
Altura Espiga	1,10
Chalas	Media Abierta
Posición Espiga a Cosecha	Caída
Color Grano	Anaranjado
Textura	Semidentado
Comportamiento a Vuelco	Bueno
Comportamiento a Quebrado	Muy Bueno
Comportamiento frente MRCV	Medianamente Tolerante
Comportamiento frente a Roya	Medianamente Tolerante
Comportamiento frente hongos en espiga	Medianamente Tolerante
Comportamiento frente a Tizón	Bueno

(\*) Híbrido para planteos de alto potencial de rendimiento en siembras tempranas y tardías.

## 12. Bibliografía

**Alvarez, R., Steinbach, H., Alvarez C., Grigera S.** (2003). Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Publicado en Informaciones agronómicas del Cono Sur N°18, Junio de 2003.

[http://www.nanc.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/D13DD9F48537542F03256D6B006C74CB/\\$file/Alvarez+N+trigo+y+maiz.pdf](http://www.nanc.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/D13DD9F48537542F03256D6B006C74CB/$file/Alvarez+N+trigo+y+maiz.pdf)

**Andrade, F.H.; Cirilo A.; Uhart S. y Otegui M.E.** (1996): Ecofisiología del cultivo de maíz. La barrosa (ed). Dekalbpress. INTA, FCA UNMP.

**Argenta G., Ferreira da Silva R. P., Sangoi L.** (2004) Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.5, p.1379-1387.

**Barbieri, P.A., Echeverría, H.E., Sainz Rozas, H.R.** (2003). Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. EEA INTA Balcarce, FCA UNMP.

**Barbieri, P.A., Echeverría, H.E., Sainz Rozas, H.R.** (2005). Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en el cultivo de maíz en función de la fuente, dosis y métodos de colocación del fertilizante. Convenio INTA Balcarce - Profertil, 2004/05.

**Below, F.** (1995). Nitrogen metabolism and crop productivity. In: Pressarakli, M. (ed.) *Handbook of Plant and Crop Physiology*. New York: Marcel Dekkar, Inc.

[http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo\\_thumb/Handbook-of-Plant---Crop-Physiology-Revised---Expanded-by-Mohammad-Pessaraki-2001-.pdf](http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Handbook-of-Plant---Crop-Physiology-Revised---Expanded-by-Mohammad-Pessaraki-2001-.pdf)

**Below, F.** (2002). Fisiologia, Nutricao e abubaco nitrogenada do milho. *Informaçõ es Agronômicas*.

<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v35n1/a07v35n1>

**Bullock D. G. & Anderson D. S.** (1998). Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition* Volume 21.

**Catherine J., Watson R., Stevens J., Laughli R. J.** (1990) Effectiveness of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) thiophosphorictriamide) for improving the efficiency of urea for ryegrass production. Fertilizer Research Volume 24, Issue 1, pp 11–15.

**Chen Lijun, Shi Yi, Li Ronghua,** (1995). Synergistic effect of urease inhibitor and nitrification inhibitor on urea-N transformation and N<sub>2</sub>O emission. FAO.

<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CN9611623>

**ChevallierBoutell S., y Toribio M.** (2006) INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. VOLATILIZACIÓN DEL AMONÍACO Realización Departamento de Investigación y Desarrollo – PROFERTIL S.A. INFORMACION TECNICA DE TRIGO CAMPAÑA 2006 Publicación Miscelánea N° 105

**CIAFA.** 2016. Informes: Mercado- Consumo fertilizantes 2015.

<http://www.ciafa.org.ar/informes/Mercado/Consumo-fertilizantes-2015.pdf>

**Ciampitti I.A. y GarcíaF.O.** (2007). Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

[https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/05CF8009E74668240325780000738249/\\$file/14.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/05CF8009E74668240325780000738249/$file/14.pdf)

**Correndo, A.A., y García.F.O.** (2014). Bases de la nutrición del cultivo de maíz. Cap. 6. En: Maíz: Técnicas probadas para una producción rentable. 1ra Ed. AACREA. Buenos Aires: 37-44.

[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/251e0b2ce526f8b1032580360060025a/\\$FILE/Bases%20para%20la%20nutricion%20de%20maiz%20-%20CREA%202014.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/251e0b2ce526f8b1032580360060025a/$FILE/Bases%20para%20la%20nutricion%20de%20maiz%20-%20CREA%202014.pdf)

**Creason, G. L., Schmitt, M. R., Douglass, E. A. and Hendrickson, L. L.** (1990). Urease inhibitory activity associated with N-(n-butyl) thiophosphorictriamide is due to formation of its oxon analog. Soil Biol. Biochem



**Christianson, C. B., Byrnes, B. H. and Carmona, G.**(1990).A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization.Fert. Res.

**Cruzate G. A. y Casas R.**(2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina

<http://www.desertificacion.gob.ar/wp-content/uploads/2013/02/Nutrientes.pdf>

**Cruzate, G.A., y Casas, R.** (2003). Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA Año 8 Número Especial "Sostenibilidad" ISSN 1666-8812 .pp. 7-13

**Cruzate, G.A., y Casas, R.** (2009). Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, IPNI. 44:21-26

**Darwich, N.** (2005). Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. Editorial Gráfica Arnedinho. 2º Edición.

**Dekalb Argentina- Maíz.** (2017). Guía Técnica.

<http://www.dekalb.com.ar/docs/GuiaTecnica.pdf>

**Ding, W.X., Yu, H.Y., Zucong, C.C.,**(2011). Impact of urease and nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions from fluvo-aquic soil in the North China Plain.Biol. Fertil. Soils

**Díaz-Zorita, M. y Duarte,G. A.** (2001).Fertilización nitrogenada de maíz en el oeste bonaerense.Jornada de Actualización Técnica. 5. Villa General Belgrano. AR.

**Don Mario Semillas.**(2017). Catalogo híbridos, ficha técnica DM2738 MG RR2.

<http://donmario.wpengine.com/catalogo/maiz/dm-2738-mgrr2>

**Dow AgroSciences.**(2017). TecnologiaPowerCore.

<http://www.dowagro.com/es-ar/argentina/powercore>

**Dow Semillas.**(2013). Catalogo de Productos

<http://www.daseragro.com.ar/imagenProductos/Catalogo%20Semillas%202013.pdf>

**Echeverría, H.E y García, F.O** (2005). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA.

**Eyhérbide G. H.**(2012)Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz Compilador y editor: INTA PERGAMINO.

[http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_bases\\_para\\_el\\_manejo\\_de\\_maiz\\_reglon\\_100-2\\_2.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bases_para_el_manejo_de_maiz_reglon_100-2_2.pdf)

**FAO**, (2004). Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de las Plantas Dirección de Fomento de Tierras y Aguas.

[ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuseargent\\_s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuseargent_s.pdf)

**FAO**,(2017). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales.

<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

**Ferraris, G. N.** (2016). Nutrición. La Cosecha que se lleva el Carretón del Lote. INTA EEA Pergamino.

<http://www.fertilizando.com/articulos/Nutricion%20-%20La%20Cosecha%20que%20se%20lleva%20el%20Carreton%20del%20Lote.asp>

**Ferraris G. N., Couretot L. A. y Toribio M.**, (2009). Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores: Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino - Investigación & Desarrollo Profertil SA.

[https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/C8F050AB6A89293F032576350069A9A5/\\$file/19.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/C8F050AB6A89293F032576350069A9A5/$file/19.pdf)

**Ferraris G. N., Couretot L. A.**(2010) Efecto sobre el Rendimiento del Maíz del Inhibidor NBPT como acompañante de Urea en Fertilizaciones al Voleo bajo tres Escenarios Productivos. Proyecto regional agrícola, CRBAN .Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.

**FERTILIZAR**, (2016). Consumo de fertilizantes- Campaña 2014/2015 Total País.

<http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Detalle%20de%20Consumo%20de%20Fertilizantes%20Extensivos/Consumo%20Fertilizantes%20Campa%C3%B1a%202014-2015.pdf>

**Fontanetto H. y Keller O.** (2006). Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.

**Fontanetto, H., Vivas, H., Keller, O.** (2001). Eficiencia del uso del nitrógeno en maíz con siembra directa. Efecto de la densidad de siembra. INTA EEA Rafaela.

**Fox, R. H. And Piekiele, W. P.** (1993). Management and Urease Inhibitor Effects on Nitrogen Use Efficiency in No-Till Corn. doi:10.2134/jpa1993.0195. Journal of Production Agriculture Vol. 6 No. 2, p. 195-200

**García F. O.** (1996). El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. Área Agronomía EEA INTA-FCA. UNMDP. Balcarce.

<http://www.econoagro.com/images/stories/pdf/agricultura/CicloNitrogeno.pdf>

**García F. O.** (2010) Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz .Aproximaciones zonales. *INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur*.

**Illinois Semillas.** (2017). Maiz I-550 RR2 / MGRR2 / VT3P

<http://semillasillinois.com.ar/productos/i-550-mg-rr-mgrr2-vt3pro/>

**INTA.**(2016). Nutrición de los suelos, una decisión sustentable.

<http://intainforma.inta.gov.ar/?p=35186>

**INTA.** (2016). Cartas de Suelo de la República Argentina- Provincia de Buenos Aires.

<http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/>

**Karlen, D.L., Flannery R.L. and E.J. Sadler.** (1988). Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. Agron. J. 80:232–242.

**Kolodziej, A. F.** (1994). The chemistry of nickel-containing enzymes. *Progr. Inorg. Chem*

**Hendrickson L.L.**(1992) Corn Yield Response to the Urease Inhibitor NBPT: Five-Year Summary. doi:10.2134/jpa1992.0131 Journal of Production Agriculture Vol. 5 No. 1, p. 131-137

**Luttge y Higinbotham, (1987)**

[http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19327/mod\\_resource/content/1/Fertilidad%20y%20Cuestionario.pdf](http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19327/mod_resource/content/1/Fertilidad%20y%20Cuestionario.pdf)

**L. Zhang<sup>1,2</sup>, Z. Wu<sup>1</sup>, Y. Jiang<sup>1</sup>, L. Chen<sup>1</sup>, Y. Song<sup>1</sup>, L. Wang<sup>3</sup>, J. Xie<sup>3</sup>, X. (2006)** Ma<sup>4</sup>  
1Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, P.R. China  
2Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, P.R. China  
3Agricultural Environment and Resources Research Center, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, P.R. China  
4Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, P.R. China. Fate of applied urea 15N in a soil-maize system as affected by urease inhibitor and nitrification inhibitor

<http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/14881.pdf>

**MAIZAR, (2015).** La cadena del maíz y las oportunidades para desarrollo en la argentina.

<http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=425>

**Marozzi, D. G. - Debortoli, G. D. - Méndez, M. - Currie, H. (2005).** Determinación de algunos indicadores de rendimiento en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de riego. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.

<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-036.pdf>

**Martínez, F. (2002).** La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II No. 3

**McCarty, G. W., Bremner, J. M. and Chai, H. S. (1989).** Effect of N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on hydrolysis of urea by plant, microbial, and soil urease. *Biol Fertil. Soils*

**McCarty GW, Krogmeier MJ, and Bremner JM (1989)** Potential phytotoxicity associated with the use of soil urease inhibitors phenylphosphorodiamidate/N-(n-butyl) thiophosphoric triamide. *Proc Nat Acad Sci USA* 86: 1110–1112

**MELGAR, R.; LAVANDERA, J.** (1999). Resultados de los ensayos de fertilización en soja. Campaña 1998/1999. En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilización de Soja 1999». INPOFOS Cono Sur, pp. 30-35

**Ministerio de Agroindustria,** (2016) Información técnica del sudeste bonaerense. Último ingreso: 22/11/16.

<http://buenosairesforestal.blogspot.com.ar/p/informacion-tecnica-del-sudeste-de.html>

**Molbey, H. L. T. and Hausinger, R. P.**(1989). Microbial ureases: Significance, regulation and molecular characterization. Microbiol. Rev

**Nommik H.** (1973). The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant Soil. 39:309-318.

**Novoa, R. and Loomis, R.S.** (1981) Nitrogen and Plant Production. Plant and Soil, 58,177-204.

<https://doi.org/10.1007/BF02180053>

**Pedrol, H. M.,CastellarínJ. M., Ferraguti, F. y Rosso, O.** (2008)Grupo de Trabajo Manejo y Ecofisiología de los Cultivos INTA EEA Oliveros. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico.

[http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/b90c050eb56abb178525750b005d52fd/\\$file/5.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/b90c050eb56abb178525750b005d52fd/$file/5.pdf)

**Producción mundial de maíz,** (2017)

[www.produccionmundialmaiz.com](http://www.produccionmundialmaiz.com)

**Rawluk<sup>1</sup>C. D. L., Grant<sup>1</sup>C. A., and Racz<sup>2</sup>G. J.**(2001).Can. J. Soil. Sci. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. Can J Soil Science. <sup>1</sup>Agriculture and Agri-Food Canada, Brandon Research Centre, P.O. Box 1000A, RR#3, Brandon, Manitoba, Canada R7A 5Y3; <sup>2</sup>Department of Soil Science, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2N2.

<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/S00-052#.WYoRfUNEnIU>

**RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. & BENSON, G.O. (1993)**How a corn plant develops. Ames, Iowa State University of Science and Technology.26p. (Special Report, 48).

**Salvagiotti, F.,CastellarínJ., FerragutiF.,Dignani, D. Y Pedrol, D. (2010)** INTA Oliveros. Umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz y Dosis Óptimas Económicas según potencial de producción.

<http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-umbrales-de-respuesta-a-la-fertilizacin-nitrogenada.pdf>

**Salvagiotti F.(2005).** Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros. Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2004/05

**Sainz Rosas H<sup>1</sup>, Echeverria H. E<sup>2,3</sup>, Studdert G. A<sup>3</sup>, Andrade F.H<sup>2,3</sup>.**(1997). Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. <sup>1</sup>Faculta de Agronomía-UNCPBA, <sup>2</sup>EEA INTA Balcarce, <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrarias UNMP Unidad Integrada E: E: A: INTA Balcarce-FCA UNMP. CC 276, 7620 Balcarce, Argentina

[https://www.suelos.org.ar/publicaciones/Vol\\_15n1/Rozas2.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/Vol_15n1/Rozas2.pdf)

**SainzRozas H., EcheverríaH., Studdert G., y AndradeF. (1999).** No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. Agron. J. 91:950-955.

**Sánchez-Martín, L., Dick, J.L., Bocary, K., Vallejo, A., Skiba, U.M.,(2010).** Residual effect of organic carbon as a tool for mitigating nitrogen oxides emissions in semi-arid climate.PlantSoil 326, 137–145

**Sanz Cobena, A., Sánchez Martín, L., García Torres, L., Vallejo, A.(2011).** Gaseous emissions of N<sub>2</sub>O and NO and NO<sub>3</sub>– leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitors to a maize (Zea mays) crop. ETSI Agrónomos, Technical University of Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain.

**Sanz-Cobena, A., Misselbrook, T., Camp, V., Vallejo, A.** (2011) Effect of water addition and the urease inhibitor NBPT on the abatement of ammonia emission from surface applied urea. *Atmospheric Environment* 45 (2011).

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=23897865>

**Satorre, E.** (1996). Producción de Maíz: AACREA

**Schepers J. S., Francis D. D. , Vigil M. & Below F. E.** (1992) Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis* Volume 23, 1992 - Issue 17-20

**Schepers, J., Blackmer, T., Francis, D.** (1992). Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In B. Bock y K. Kelly (ed). *Predicting fertilizer needs for corn in humid regions*. NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. pp. 105 – 114. **SENASA**, (2016) Cadena vegetal, cereales: informes y estadísticas Exportaciones 2015 Cereales/Oleaginosas/Subproductos por mes.

<http://www.senasa.gov.ar/cadena-vegetal/cereales/informacion/informes-y-estadisticas>

**Sursem Semillas.** (2017). Catálogo de Productos

<http://www.sursem.com/productos>

**Trenkel M.E.** (1997). Improving Fertilizer Use Efficiency. *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*. 151 p

**Turner, D.A., Edis, R.B., Chen, D., Freney, J.R., Denmead, O.T., Christie, R.,** (2010). Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N-(n-butyl)thiophosphoric triamide. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137, 261–266

**Uhart, S.A. y Andrade, F.H.** (1995): Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *CropSci.* 35:1376-1383.

**Videla, C.C.** (1994). La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. *EEA Balcarce INTA Bol. Tec.* 131, 16 p.

**Villar, J., Pecorari, C., Ramunno, J., Rostagno, J., Peirone, N., Albretch, R., i Ing.Agr. y Calcha, F.** (1998). Fertilización nitrogenada en maíz: Efecto de la oferta de nitrógeno edáfico y del estado nutricional de las plantas sobre los rendimientos de grano.

[http://rafaela.inta.gov.ar/productores97\\_98/p146.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/productores97_98/p146.htm)

**Watson C.J.** (2000). Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p

**Weber Christian.** (2009). Reflectancia espectral en trigo (*Triticumaestivum*L.): Su utilización en la detección del estatus nitrogenado. Tesis doctoral FCAYF.

**Weber, Christian.** (2017). Material de circulación interna. Maíz: Fertilización y Rotaciones. Curso de Cerealicultura. FCAYF UNLP.

**Zaman, M., Saggar, S., Blennerhassett, J.D., Singh, J.,** (2009). Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. Soil Biol. Biochem. 41, 1270–1280.