

# **Universidad Nacional de Río Cuarto**

Facultad de Agronomía y Veterinaria

*Trabajo Final Presentado para  
Optar al Grado de Ingeniero Agrónomo*

**“Momento óptimo de fertilización nitrogenada en maíz  
(*Zea mays*), sobre un Haplustol típico del centro de la provincia de  
Córdoba.”**

Alumna

CURA, María de los Angeles

30.710.930

Director

Ing. Agr. Espósito, Gabriel Pablo

Codirector

Ing. Agr. Castillo, Carlos Alberto

*Río Cuarto – Córdoba*

*Octubre de 2008*

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

Facultad de Agronomía y Veterinaria

## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título del Trabajo Final:** “Momento óptimo de fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays*), sobre un Haplustol típico del centro de la provincia de Córdoba.”

**Autor:** María de los Angeles Cura

**DNI:** 30.710.930

**Director:** Ing. Agr. Gabriel Pablo Espósito

**Codirector:** Ing. Agr. Carlos Alberto Castillo

**Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias del Jurado Evaluador:**

Ing. Agr. Bonadeo Elena

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Fernandez Elena

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Gonzalez Sergio

\_\_\_\_\_

**Fecha de presentación:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

**Aprobado por Secretaría Académica:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

---

Med. Vet. JORGE DE LA CRUZ  
*Secretario Académico*  
Facultad de Agronomía y Veterinaria

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por ser el ejemplo a seguir, el apoyo en mi vida y por su inmensa ayuda en este trabajo final.

A mi hermano Pedro.

A mi abuela Pocha.

A Matías.

A Laura Pozzi, mi amiga inseparable y compañera de estudio durante toda la carrera.

A mis amigos, Guillermo Balboa, Juan Manuel Calvo, Luciano Cardozo, Verónica Farías, Valeria Girardi, Cristian Iommi, Eugenio Legarreta, Melania Moreno, Carolina Marchetti, Laura Pierdominici, Jesús Ramirez.

A los Ingenieros Gabriel Espósito, Carlos Alberto Castillo y Ricardo Balboa.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y a todos los profesores que contribuyeron a mi formación profesional.

## ÍNDICE DE TEXTO

I. RESUMEN .....	VII
II. SUMMARY .....	VIII
III. INTRODUCCIÓN .....	1
i. HIPOTESIS .....	5
ii. OBJETIVOS GENERALES .....	5
iii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
i. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO .....	6
1. CLIMA .....	6
2. FISIOGRAFÍA .....	6
3. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO .....	6
3. CONDICIONES EXPERIMENTALES.....	7
ii. DETERMINACIONES REALIZADAS.....	10
iii. ANALISIS DE DATOS.....	13
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	14
i. PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL PERFIL DEL SUELO .....	14
ii. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA EN COMPARACIÓN CON LA SERIE HISTÓRICA 1994-2007.....	18
1. CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO .....	18
2. RÉGIMEN TÉRMICO.....	19
3. RADIACIÓN SOLAR.....	20
iv. INTERCEPCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y RADIACIÓN FOTONSITÉTICAMENTE ACTIVA INTERCEPTADA.....	21
v. RELACIÓN ENTRE MOMENTO DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RENDIMIENTO .....	23
1. COMPONENTES DIRECTOS DEL RENDIMIENTO .....	25
2. COMPONENTES INDIRECTOS DEL RENDIMIENTO .....	27
vi. EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO .....	29
1. RELACIÓN ENTRE EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO Y LA EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO .....	29
VI. CONCLUSIONES .....	32
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	33

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Perfil del suelo del Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).....	(7)
<b>Cuadro 2:</b> Valores de MO, N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , P, pH y PEA en el perfil previos a la siembra del cultivo, en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba). .....	(14)
<b>Cuadro 3:</b> Valores de MO, N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , y humedad en el perfil, en V <sub>5</sub> , en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).....	(15)
<b>Cuadro 4:</b> Valores de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y humedad en el perfil, en V <sub>13</sub> , en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba). .....	(16)
<b>Cuadro 5:</b> Eficiencia de intercepción y radiación fotosintéticamente activa en los distintos tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba. ....	(21)
<b>Cuadro 6:</b> Rendimiento según tratamiento de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.....	(23)
<b>Cuadro 7:</b> Precipitaciones entre siembra y V <sub>6</sub> . .....	(24)
<b>Cuadro 8:</b> Componentes directos del rendimiento: N° de granos m <sup>-2</sup> y peso de 1000 granos, para los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.....	(25)
<b>Cuadro 9:</b> Componentes indirectos del rendimiento: N° espigas m <sup>-2</sup> , N° granos espiga <sup>-1</sup> , Peso de granos espiga <sup>-1</sup> (g), Concentración de N en grano (%); para los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba. ....	(27)
<b>Cuadro 10:</b> Balance Parcial de Nitrógeno, Productividad parcial del factor y eficiencia agronómica, como indicadores de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), para los distintos tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba. ....	(29)
<b>Cuadro 11:</b> Valores promedio de indicadores de EUN para la República Argentina.....	(30)

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> . Valores de Nitrógeno total en $V_{13}$ expresados en kg de N $ha^{-1}$ , en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).....	(17)
<b>Figura 2:</b> Comparación entre precipitaciones normales (serie histórica 94/07) y del 06/07, para el ciclo del cultivo en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).....	(18)
<b>Figura 3:</b> Comparación entre temperaturas máximas, medias y mínimas normales (serie histórica (94/07) y del 06/07, para el ciclo del cultivo. ....	(19)
<b>Figura 4:</b> Radiación solar para el periodo 20-10-2006 al 22-04-2007 (siembra a cosecha).. .	(20)
<b>Figura 5:</b> Relación entre Rendimiento y RFA. ....	(22)
<b>Figura 6:</b> Rendimiento del cultivo de maíz según diferentes momentos de fertilización nitrogenada. ....	(24)
<b>Figura 7:</b> Relación entre rendimiento y número de granos $m^{-2}$ . ....	(26)
<b>Figura 8:</b> Relación entre rendimiento y peso de 1000 granos. ....	(26)
<b>Figura 9:</b> Relación entre EA (eficiencia agronómica) y % de N en grano.....	(31)

## I.RESUMEN

El fertilizante nitrogenado que no es aprovechado por el cultivo representa una pérdida económica, cuando la dosis se encuentra por encima de los requerimientos del cultivo o cuando la oferta y la demanda del cultivo están desfasadas en el tiempo. Estas pérdidas pueden minimizarse optimizando la dosis y el momento de aplicación del fertilizante, mediante métodos de diagnóstico apropiados y realizando la aplicación en el momento más cercano a la máxima demanda del cultivo. El objetivo del trabajo, fue evaluar la eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado en el maíz sobre un Haplustol típico del sur de la provincia de Córdoba en distintos momentos de aplicación. Para ello se estableció un ensayo en el establecimiento “La Herencia”, ubicado 9 kilómetros al este de la localidad de Etruria, provincia de Córdoba, en un suelo Haplustol típico de la Serie Las Isletillas. El diseño experimental utilizado, fue en bloques completos aleatorios con tres repeticiones espaciales por tratamiento. Cada tratamiento representó diferentes momentos de fertilización nitrogenada y distintos métodos de diagnóstico (Testigo, 100% del nitrógeno aplicado en la siembra, 100% del nitrógeno aplicado en V6, nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V6, nitrógeno en V6 con dosis recomendada por el programa NP-Zea). La dosis de N aplicada fue calculada por el método del balance de N previo a la siembra y en V<sub>5</sub> con el modelo NP Zea. En V<sub>13</sub> se midió la intercepción de la radiación mediante el uso del sensor LI-191SA y del LI-1400 data LOGGER de LI-COR Car (Lincoln, NE; EEUU). La cosecha se realizó en forma manual, sobre 9,52 m lineales, en los 4 surcos centrales de cada tratamiento. Se evaluaron los componentes directos e indirectos del rendimiento y la eficiencia en el uso del nitrógeno. Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias y análisis de regresión. Los resultados mostraron que para las condiciones climáticas de la campaña en cuestión, no existió un momento óptimo de fertilización nitrogenada que maximice los rendimientos. La eficiencia en el uso del nitrógeno tampoco presentó diferencias al analizar los distintos momentos de aplicación del fertilizante, pero si fue significativamente superior cuando la dosis de nitrógeno a emplear fue calculada a partir del balance de N en V<sub>5</sub> con el modelo NP Zea, por ser ésta menor a la calculada en presiembr.

**Palabras clave:** *maíz – fertilización – nitrógeno – eficiencia*

## II. SUMMARY

The nitrogen fertilizer that is not exploited for the corn represents an economic loss when the dose is above the requirements of the crop or when supply and demand of the crop are offset in time. These losses can be minimized by optimizing the dose and timing of application of fertilizer, using methods of diagnosis and making the appropriate application at the time closest to the peak of the crop. . The objective of this work was to evaluate the efficiency of the use of nitrogen fertilizer on corn on a Haplustol típico of southern province of Cordoba in various stages of application. On this purpose, a field corn trial was done conducted in establishing "La Herencia", located 9 miles east of the town of Etruria, in the province of Cordoba, in a land of Haplustol típico serie Las Isletillas. The experimental design was randomized complete block with three replicates per treatment space. Each treatment was different times of nitrogen fertilization and different methods of diagnosis (Control, 100% of nitrogen applied at planting, 100% of nitrogen applied in V6, nitrogen divided 50% to 50% in planting and V6, V6 with nitrogen in doses recommended by the NP-Zea) . The dose of N applied was calculated by the balance method of N before planting and V<sub>5</sub> stage with the model NP Zea. V<sub>13</sub> stage was measured in the interception of radiation through the use of sensor LI-191SA and LI-1400 data logger LI-COR Car (Lincoln, NE, USA). The harvest was done by hand, about 9.52 m linear in the 4 rows of each treatment plants. We assessed the direct and indirect components of the performance and efficiency in the use of nitrogen. All results were analyzed by ANOVA, mean separation test and regression analysis. The results showed that the climatic conditions of in-season in question, there was no optimal time for nitrogen fertilizer to maximize yields. The efficient use of nitrogen, no differences in analyzing the various times of fertilizer application , but if it was significantly higher when the dose of nitrogen use was calculated from the N balance in V5 stage with the model NP Zea, by since this is lower than that calculated in preplant.

**Palabras clave:** *corn – fertilitation – nitrogen – efficiency*



### III. INTRODUCCIÓN

La superficie del cultivo de maíz en la última década en Argentina ha oscilado entre 2,5 y 4 millones de hectáreas, con una producción creciente de 11 a 19 millones de toneladas en el mismo periodo. Durante este tiempo, la productividad promedio presentó un mínimo de 3 y un máximo de 5 t ha<sup>-1</sup> lo que dista mucho de lo logrado por los mejores productores. Si bien son numerosos los factores responsables de dicho rango de producción, la inadecuada nutrición del cultivo es uno de los factores más relevantes (Echeverría y Sainz Rosas, 2005b).

Diversos autores han manifestado que una buena disponibilidad nutricional, especialmente desde que los nutrientes son requeridos en elevadas cantidades, asegura: i) un buen crecimiento foliar, lo que permite al cultivo alcanzar rápidamente y mantener la cobertura total del suelo; y; ii) una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa. Esto garantiza un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del rendimiento (Uarth y Andrade, 1995; Andrade *et al.*, 1996b; Carcova *et al.*, 2003a; García, 2001; Ferraris *et al.*, 2007a).

Por otro lado, la disponibilidad de nitrógeno afecta su concentración en el grano, interviniendo así en la determinación del contenido proteico, parámetro principal para definir la calidad comercial del grano cosechado (Pelagagge, 2008). La incidencia del N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción del cultivo, teniendo siempre presente que la respuesta del cultivo a las aplicaciones de N depende de la combinación de factores edáficos, climáticos y de manejo (Quiroga *et al.*, 2003).

El nitrógeno es el nutriente que más afecta los rendimientos, obteniéndose entre 20 y 40 kg de maíz por cada kg de nitrógeno aplicado. A la vez, las necesidades de éste elemento son de difícil diagnóstico, ya que su potencial de aprovechamiento es variable pues presenta varios procesos de pérdida significativos (lixiviación, volatilización, desnitrificación, etc.) que se vinculan estrechamente con la ocurrencia y magnitud de las lluvias (Melgar, 1997).

El análisis del balance de nitrógeno en el sistema suelo-planta es el criterio conceptual para tener una primera aproximación de las necesidades de fertilización nitrogenada del cultivo de maíz. De los componentes de éste esquema de diagnóstico de la fertilización, el nitrógeno mineralizado y la magnitud de las pérdidas de nitrógeno son los parámetros más variables y más difíciles de cuantificar. Para ello, es muy importante tener en cuenta la información local proveniente de la experimentación efectuada por universidades, asociaciones e institutos de

investigación para basar las decisiones de fertilización en bases técnicas que permitan optimizar el aprovechamiento del nitrógeno agregado (Torres Duggan, 2002).

El fertilizante que no es aprovechado por el cultivo representa una pérdida económica para el productor agropecuario cuando la dosis se encuentra por encima de los requerimientos del cultivo o cuando la oferta de nitratos y la demanda del cultivo están desfasadas en el tiempo. Desde el punto de vista tecnológico estas pérdidas se pueden minimizar optimizando la dosis y el momento de aplicación del fertilizante. Esto se logra mediante métodos de diagnóstico apropiados para calcular las necesidades y realizando la aplicación en el momento más cercano a la máxima demanda del cultivo (Rimski-Korsakov *et al.*, 2005).

Entre siembra y el estado ontogénico de V<sub>5-6</sub> (cinco a seis hojas completamente desplegadas) (Ritchie y Hanway, 1982), la absorción de nitrógeno es baja y las temperaturas aumentan, generando un pulso de liberación de N desde la fracción orgánica. A partir de de V<sub>6-8</sub> (30 a 50 días después de la emergencia) aumenta significativamente la demanda de nitrógeno por el cultivo. Por estas razones, la aplicación, en este estado fenológico o inmediatamente previo al mismo, ha sido reportada como la más eficiente en el uso del nitrógeno (García, 2005). El mismo comportamiento fue observado por Rillo y Richmond (2005), debido a que en este estadio se aplican menores dosis de N comparadas con aquellas aplicadas a la siembra del cultivo, debido a que el suelo acumula una mayor cantidad de nitrógeno por mineralización en dicho período.

El contenido de nitratos, en V<sub>5-6</sub>, representa el balance neto entre la producción (mineralización de la materia orgánica del suelo, abonos y fertilizantes) y pérdida (lixiviación, denitrificación, e inmovilización) ya que la absorción previa es reducida. Además, el contenido en postemergencia puede utilizarse como herramienta para evaluar las aplicaciones de N realizadas al momento de la siembra e indicar si es necesario el agregado de N adicional al estadio de 5 o 6 hojas (Binford y Blackmer, 1992; Sainz Rozas *et al.*, 2000).

Además, es importante destacar que el análisis de suelo en V<sub>5-6</sub> es una herramienta útil para discriminar entre ambientes con distinta probabilidad de respuesta al agregado de nitrógeno y determinar la dosis de fertilizante a utilizar (Barraco y Diaz-Zorita, 2006).

En el sur de Córdoba, Espósito *et al.* (2006) encontraron correlación entre la respuesta a la fertilización y la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en los primeros 40 cm, en V<sub>5</sub>, dependiendo del contenido de humedad del suelo.

Ferrari (2006), indicó que en suelos Hapludoles, la decisión de aplicar el fertilizante nitrogenado a la siembra implica un riesgo de pérdida de la eficiencia en el uso del N, mientras que las aplicaciones demoradas ofrecerían una mayor seguridad, especialmente si se utilizan dosis elevadas. El monitoreo *in situ* de la dinámica del N en el suelo durante el período S-V<sub>5-6</sub>

permitiría confirmar la hipótesis del lixiviado de nitratos como mecanismo responsable de los menores rendimientos de grano asociados a las aplicaciones tempranas de N que fueron registrados en esos suelos.

Así mismo, Barraco y Diaz Zorita (2005), indicaron que aplicaciones en  $V_{5-6}$  resultan generalmente en mayores eficiencias de uso de N que las realizadas a la siembra debido a la alta frecuencia de precipitaciones entre siembra y  $V_{5-6}$ . Sin embargo, en situaciones de precipitaciones inferiores a 150-200 mm en dicho periodo, no se observaron diferencias entre momentos de aplicación.

Por otro lado, en un ensayo realizado en tres localidades del norte de la provincia de Buenos Aires, Ferraris *et al.* (2007 b), determinaron que los rendimientos de maíz según el momento de aplicación del fertilizante, reflejaron amplias variaciones entre sitios. Dichas diferencias fueron más influenciadas por la textura del suelo que por las precipitaciones ocurridas entre siembra y  $V_6$ . Al respecto, Portela *et al.* (2005) afirman que el cultivo de maíz y la materia orgánica del suelo son buenos “capturadores” del N aplicado como fertilizante en un sistema bajo siembra directa, atenuando las pérdidas del mismo. Esta capacidad buffer de la MO es más importante en suelos franco limosos que en franco arenosos.

Binder *et al.* (2000), afirman que existe interacción entre la época de aplicación del nitrógeno y la deficiencia nutricional que el cultivo presenta, por lo tanto, mientras mayor sea el déficit, mayor será su intolerancia al retraso de la aplicación.

Las experiencias de fertilización que proponen aplicar el fertilizante nitrogenado alrededor del estadio de  $V_6$  se sustentan en que en ese momento se inicia la etapa de rápido crecimiento del cultivo. Sin embargo si se utilizan métodos de diagnóstico de N basados en mediciones del dosel, sería conveniente realizar aplicaciones aun más postergadas, donde el cultivo demuestre de manera más evidente las deficiencias de N (Melchiori *et al.*, 2005). Al respecto, Scharf *et al.* (2002) trabajando en Missouri (USA), encontraron que aplicaciones tardías hasta  $V_{11}$  no redujeron el rendimiento de maíz en comparación con las aplicaciones más tempranas sobre un total de 28 experimentos, más aun, el rendimiento sólo se redujo un 3% cuando las aplicaciones de N se retrasaron hasta  $V_{12-16}$ .

Los resultados obtenidos en la evaluación de momentos de refertilización ponen en evidencia la posibilidad de ampliar significativamente la ventana de aplicación de nitrógeno hasta estadios lo suficientemente tardíos, que permitirían, mediante el uso de sensores remotos u otras herramientas, captar cambios en la biomasa acumulada, el área foliar expandida y la coloración del dosel por influencia de deficiencias nitrogenadas (Melchiori *et al.*, 2007).

Por otro lado, Melgar y Torres Duggan (2004), afirman que serían más recomendables las aplicaciones fraccionadas, donde se garantice una gran parte de la necesidad total de nitrógeno a la siembra, regulando luego la cantidad de nitrógeno restante en función de la evolución de la campaña y de las posibilidades ofrecidas por las condiciones climáticas, ya que muchas veces, al coincidir las precipitaciones con ese periodo, se pierde la oportunidad y el desarrollo del cultivo impide una fácil circulación entre líneas, agravada por la tendencia creciente a sembrar con espaciamiento de 52 cm.

De esta manera, las estrategias de fertilización podrían resumirse en tres posibilidades: i) fertilizar únicamente a la siembra, ii) fertilizar sólo en  $V_{6.8}$  o aun en estadíos más tardíos, iii) fraccionar la dosis entre la siembra y  $V_{6.8}$  en dos aplicaciones. De estas alternativas, la aplicación a la siembra integra globalmente ventajas en los aspectos operativos y económicos, aunque mayores riesgos (Echeverría y Sainz Rozas, 2005b), y las aplicaciones tardías pueden ser interesantes para: i) distribuir la aplicación fuera del período de implantación; ii) aumentar la precisión del diagnóstico de necesidades; iii) reducir las pérdidas por lixiviación del nitrógeno durante las etapas iniciales del crecimiento (Scharf *et al.*, 2002).

El gasto de una adecuada fertilización en maíz representa una importante proporción de los costos directos en sistemas de alta productividad, más aun en el contexto actual, con relaciones precio grano/fertilizantes poco favorables. El reto de lograr la sincronía entre la oferta y la demanda de nitrógeno (correcta elección del momento de aplicación), sin exceso o deficiencia es la clave para la optimización de las soluciones de compromiso entre el rendimiento, lucro, y la protección del medio ambiente. Esto requiere de la comprensión cuantitativa de los niveles actuales de eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN), de las pérdidas existentes en los sistemas de producción actuales, y la rentabilidad económica de la adopción de mejores prácticas de manejo y gestión para mejorar la eficiencia del uso de dicho insumo (Kenneth *et al.*, 2002; Sainz Rosas *et al.*, 2004).

### **III. i. HIPÓTESIS**

Existe un momento óptimo de fertilización nitrogenada en maíz sobre un Haplustol típico del centro de la provincia de Córdoba, determinado por las condiciones hídricas previas y posteriores a la aplicación del nutriente.

### **III. ii. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el momento óptimo de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz sobre un Haplustol típico del centro de la provincia de Córdoba.

### **III. iii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el contenido de nitrógeno en el suelo durante el ciclo del cultivo.
- Evaluar la intercepción de la radiación durante la etapa crítica del cultivo en diferentes estadios fenológicos.
- Evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada, realizada en diferentes momentos del ciclo del cultivo, sobre el rendimiento y los componentes directos del mismo.
- Evaluar el balance parcial de nitrógeno, la productividad parcial del factor nitrógeno y la eficiencia agronómica del nitrógeno como indicadores de la eficiencia en el uso del fertilizante, para la producción de maíz.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **IV. i. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO**

#### **IV. i. 1. CLIMA**

La región de Etruria, provincia de Córdoba, presenta un clima templado sub húmedo.

La precipitación media anual normal es de 800 mm con una distribución estacional de tipo monzónico.

El régimen térmico es mesotermal, caracterizado por una temperatura media de 17°C, la temperatura media del mes más cálido (enero) es de 23°C con una máxima absoluta de 39,5°C. La temperatura media del mes más frío (julio) es de 9,1°C con una mínima absoluta de - 11,5°C. La amplitud térmica media anual es de 14°C. El período libre de heladas es de 257 días. (Boletín Informativo RIAP, INTA 2007).

#### **IV. i. 2. FISIOGRAFÍA**

La zona se caracteriza por presentar suelos de planos extendidos, denominada pampa loésica plana. El relieve es normal.

#### **IV. i. 3. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO**

La zonificación de los suelos realizada por el Gobierno de Córdoba en “Recursos naturales de la Provincia de Córdoba” (2006), con un nivel de reconocimiento de 1:50000, define al suelo sobre el cual se desarrolló el ensayo como un Haplustol típico que posee las siguientes características:

El suelo se caracteriza por ser profundo, bien drenado, desarrollado a partir de materiales loésicos franco limosos. Franco limoso en superficie y en subsuelo. Bien provisto de materia orgánica. Ocupa lomas muy extendidas, casi planas.

Es un suelo agrícola, con una aptitud de uso clase III.

Posee una moderada limitación climática derivada del régimen de precipitaciones bajo el cual se encuentra. No presenta otro impedimento que condicione el rendimiento de las plantas.

- Datos analíticos del perfil:

**Cuadro 1.** Perfil del suelo del Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).

<b>Horizonte</b>	<b>Ap</b>	<b>B</b>	<b>C1</b>	<b>C2ca</b>
<i>Profundidad de la muestra, cm</i>	0-23	23-48	48-95	95 a +
<i>Materia orgánica %</i>	2,2	1,7		
<i>Arcilla, %</i>	20,2	21,5	15,2	14,6
<i>Limo, %</i>	59,1	54,0	54,0	59,9
<i>Arena, %</i>	19,9	22,4	22,4	26,0
<i>Equivalente de humedad, %</i>	22,1	24,4	19,9	19,1
<i>pH en pasta</i>	5,6	6,0	6,6	7,9
<i>pH en agua 1:2,5</i>	6,0	6,3	7,1	8,1

- Descripción del perfil:

**Ap (0-23 cm):** Pardo grisáceo oscuro en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares, medios moderados; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; límite inferior abrupto y suave.

**B (23-48 cm):** Pardo oscuro en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares medios, moderados; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; barnices humico-arcillosos escasos y finos; límite inferior gradual.

**C1 (48-95 cm):** Pardo a pardo oscuro en húmedo; franco limoso; masivo; muy friable en húmedo; no adhesivo; no plástico; límite inferior abrupto.

**C2ca (95 cm a +):** Pardo en húmedo; franco limoso; masivo; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; abundante calcáreo pulverulento en la masa del suelo.

#### **IV. i. 4. CONDICIONES EXPERIMENTALES**

El ensayo se realizó en el establecimiento “La Herencia”, ubicado 9 kilómetros al este de la localidad de Etruria, provincia de Córdoba, (32° 56’ 29.41” Latitud Sur, 63° 14’ 49.99” Longitud Oeste,) en un suelo Haplustol típico de la Serie Las Isletillas, sembrado bajo la técnica de siembra directa.

La siembra se realizó en el 22 de octubre de 2006, utilizando el híbrido AX 892 CL de Nidera, en hileras a 52,5 cm, a una densidad 80000 semillas ha<sup>-1</sup> con una sembradora Agrometal TX mega de 16 surcos, neumática con doble fertilización.

Los tratamientos evaluados fueron:

- T1: Testigo sin fertilización.
- T2: Fertilización con el 100% del nitrógeno aplicado en la siembra.
- T3: Fertilización con el 100% del nitrógeno aplicado en V<sub>6</sub>.
- T4: Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>.
- T5: Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por el programa NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

La fertilización nitrogenada se realizó con urea (46-0-0), la cual fue incorporada al suelo según el tratamiento en cuestión.

#### ***Cálculo del balance de nitrógeno a la siembra***

Las dosis utilizadas en los tratamientos T2, T3 y T4 fue la misma y calculada a partir de la oferta de nitrógeno del suelo al momento de la siembra, mediante balance de N, según la siguiente metodología:

Datos requeridos: N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm de 0-20 cm y 20-40cm), MO (% de 0-20 cm y 20-40cm), PEA (g cm<sup>-3</sup> de 0-20 cm y 20-40 cm).

$$Dosis = (Rto * 22) - (OfertaMO + OfertaNNO_3) \quad \text{[ecuación 1.1]}$$

Siendo,

$$OfertaMO = 1000 * \left( \left( MO_{[0-20cm]} * PEA_{[0-20cm]} * FM \right) + \frac{\left( MO_{[20-40cm]} * PEA_{[20-40cm]} * FM \right)}{2} \right) \quad \text{[ecuación 1.2]}$$

$$OfertaNNO_3 = \left( NNO_{3[0-20cm]} * 2 * PEA_{[0-20cm]} \right) + \left( NNO_{3[20-40cm]} * PEA_{[20-40cm]} \right) \quad \text{[ecuación 1.3]}$$



Donde,

Dosis, es dosis de nitrógeno a aplicar (kg N ha<sup>-1</sup>)

Rto, rendimiento objetivo del maíz en (tn ha<sup>-1</sup>)

22, requerimiento de nitrógeno para producir una tonelada de grano de maíz

MO, contenido de materia orgánica (%)

PEA, densidad aparente del suelo (g cm<sup>-3</sup>)

FM, factor de mineralización estimado en 2,5 %

NNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, contenido de Nitrógeno de nitratos (ppm)

2, factor de conversión de ppm a kg ha<sup>-1</sup>

*Cálculo del balance de nitrógeno en V<sub>5</sub>, según modelo NP-Zea (Gesumaría et al., 2000)*

A partir de los datos obtenidos en los análisis de suelo de la parcela correspondiente al T5 (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, humedad y materia orgánica), en V<sub>5</sub> se calculó la dosis de N a aplicar en V<sub>6</sub>, con el programa NP-Zea, utilizando la siguiente ecuación.

$$Dosis = (Rto * 22) - (OfertaMO + OfertaNNO_3) \quad \text{[ecuación 2.1]}$$

Siendo,

$$OfertaMO = 1000 * \left( (MO_{[0-20cm]} * PEA_{[0-20cm]} * FM) + \frac{(MO_{[20-40cm]} * PEA_{[20-40cm]} * FM)}{2} \right) \quad \text{[e}$$

cuación 2.2]

$$OfertaNNO_3 = (NNO_3_{[0-20cm]} * 2 * PEA_{[0-20cm]}) + (NNO_3_{[20-40cm]} * PEA_{[20-40cm]})$$

[ecuación 2.3]

Donde,

Dosis, es dosis de nitrógeno a aplicar (kg N ha<sup>-1</sup>)

Rto, rendimiento objetivo del maíz en (tn ha<sup>-1</sup>)

22, requerimiento de nitrógeno para producir una tonelada de grano de maíz

MO, contenido de materia orgánica (%)

PEA, densidad aparente del suelo (g cm<sup>-3</sup>)

FM, factor de mineralización estimado en 2,5 %

$\text{NNO}_3^-$ , contenido de Nitrógeno de nitratos (ppm)  
2, factor de conversión de ppm a  $\text{kg ha}^{-1}$

FM, factor de mineralización estimado por

$$FM = -0,00000282 * AU^2 + 0,000602 * AU + 0,005006 \quad \text{[ecuación 2.4]}$$

Siendo,

$$AU = \left( \sum_{i=1}^n HG_i * PEA_i * E_i \right) - \left( \sum_{i=1}^n HG15_i * PEA_i * E_i \right) \quad \text{[ecuación 2.5]}$$

Donde,

AU, agua disponible en el primer metro de suelo (mm).

HG, contenido gravimétrico total de humedad del suelo en  $V_6$  ( $\text{g g}^{-1}$ ).

HG15, contenido gravimétrico a -1500 kPa de succión ( $\text{g g}^{-1}$ ).

PEA, peso específico aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

E, espesor de cada horizonte de suelo (mm)

n, número total de horizontes o capas en el primer metro de suelo.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorios con tres repeticiones espaciales por tratamiento. El ancho de cada parcela fue de 8,4 m y el largo de 150 m, haciendo una superficie de  $1260 \text{ m}^2$  (0,126 ha).

En todas las parcelas se aplicaron 80 kg de superfosfato triple (SFT), para aislar posibles deficiencias de P que interfieran en los resultados.

#### IV. ii. DETERMINACIONES REALIZADAS

- **En el clima:**

- ❖ Precipitaciones registradas en el sitio experimental durante el ciclo del cultivo.

- **En el cultivo:**

*Durante el ciclo del cultivo:*

- ❖ Intercepción de la radiación en  $V_{13}$ . Se determinó la intercepción de la radiación, mediante el uso del sensor de radiación lineal LI-191SA y del LI-

1400 data LOGGER de LI-COR Car (Lincoln, NE; EEUU). Para realizar la medición primero se efectuó una lectura sobre el dosel del cultivo en dirección perpendicular a la dirección de los surcos, y luego dos mediciones sobre la superficie del suelo y por debajo del cultivo en la misma dirección. Mediante la ecuación 1 se obtuvo el resultado de la intercepción de la radiación:

$$IR(\%) = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) * 100 \quad \text{[ecuación 3.1]}$$

Donde,

I: intercepción de la radiación tomada en el interior del cultivo

I<sub>0</sub>: intercepción de la radiación tomada fuera de la canopia del cultivo.

#### A cosecha:

- ❖ Rendimiento en grano y componentes directos (número de granos m<sup>2</sup> y peso de 1000 granos) e indirectos del rendimiento (Nº de espigas m<sup>2</sup>, Nº de granos espiga<sup>-1</sup> y contenido de N en granos): el rendimiento fue evaluado mediante la cosecha manual de 9,52 m lineales que equivalen a 5 m<sup>2</sup>, de los 4 surcos centrales de cada tratamiento, en los tres bloques; el peso de 1000 granos se evaluó por 5 muestras de 100 granos cada una en cada tratamiento, expresando luego los resultados en peso de 1000 granos; el número de granos por superficie, al igual que el número de espigas m<sup>2</sup> y el número de granos por espiga, fue obtenido al cosechar y contar la totalidad de granos presentes en las espigas tomadas en tres muestreos de 1 m<sup>2</sup> cada uno. Finalmente, el contenido de N en granos, se determinó a través del método Kjeldahl (Malavolta *et al.*, 1989).
- ❖ Eficiencia en el uso del fertilizante, a través de los indicadores recomendados por García y Ciampitti (2008) indicados a continuación:

#### ***Balance parcial de N (BP<sub>N</sub>):***

$$BP_N = NA / NE \quad \text{[ecuación 3.1]}$$

Donde,

NA, es el N aplicado (kg ha<sup>-1</sup>).

NE, N extraído (rendimiento \* %N en grano)

***Productividad parcial del factor (PPF):***

$$PPF = R_{to} / NA \quad \text{[ecuación 3.2]}$$

Donde,

R<sub>to</sub>, es rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

***Eficiencia Agronómica (EA):***

$$EA = KgIR / NA \quad \text{[ecuación 3.3]}$$

Donde,

KgIR, es kg de incremento de rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

- **En el suelo:**

*Antes de la siembra:*

- ❖ Análisis de suelo en laboratorio con muestras extraídas hasta los 60 cm de profundidad (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm), para evaluar contenido de materia orgánica a través del método Walkley-Black (Page *et al.*, 1982); pH por Potenciometría 1/2,5 (Page *et al.*, 1982); P por el método Kurtz y Bray I (Page *et al.*, 1982); N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> realizando reducción por Cadmio (Page *et al.*, 1982) y PEA (peso específico aparente). Las muestras de suelo a analizar se tomaron con barreno, a través de un muestreo sistemático al azar para tener mayor representatividad de los resultados. Se evitó tomar muestras en cercanías a alambrados, caminos, bebidas y situaciones localizadas como hormigueros, cuevas, etc. Se recolectaron 20 submuestras simples que se mezclaron para conformar una muestra compuesta. Para que no se alteren los resultados se conservaron las muestras refrigeradas en heladera hasta la determinación en laboratorio.

*Durante el ciclo del cultivo:*

- ❖ En el estadio fenológico de V<sub>5</sub>, se determinó el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm de profundidad, además se cuantificó el contenido de humedad gravimétrica (Klute, 1986) en el perfil, con muestras extraídas hasta los 100 cm de profundidad (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm). Las mismas fueron tomadas en las parcelas correspondientes al tratamiento T5. Se recolectaron con barreno, 20 submuestras simples que se mezclaron para conformar una muestra compuesta y tener mayor exactitud en

los resultados. Cada dos muestras en el entresurco se extrajo una en el surco, evitando los surcos de los bordes de las parcelas de dichos tratamientos. El resto de las consideraciones para la toma de muestras, fueron las mismas que antes de la siembra.

- ❖ En el estadio de V<sub>13</sub>, se evaluó el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Las muestras fueron tomadas hasta los 60 cm de profundidad (0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm), siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior, pero en todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5).

#### **IV. iii. ANÁLISIS DE DATOS**

Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, análisis de regresión y comparación de medias con el LSD al 5% de probabilidad mediante el uso del programa de computación InfoStat, versión 2002.

Para los análisis de regresión se emplearon los promedios de los muestreos de cada tratamiento por bloque.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### V.i. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL PERFIL DEL SUELO

A continuación se detallan, los resultados obtenidos de los análisis de suelo realizados en el lote donde se implantó el ensayo y el cálculo de la dosis de nitrógeno a aplicar:

- *Análisis de suelo realizados previos a la siembra:*

**Cuadro 2.** Valores de MO, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, pH y PEA en el perfil previos a la siembra del cultivo, en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).

	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
MO (%)	2,27	1,5	0,95
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	13,2	12,1	9,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	61,7	58,5	41,1
P (ppm)	20,1	16,4	14
pH	6,2	6,5	6,42
PEA (tn m <sup>-3</sup> )	1,3	1,35	1,35

MO: materia orgánica. N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrógeno de nitratos. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos. P: fósforo disponible. PEA: peso específico aparente.

- *Cálculo de la dosis de nitrógeno a aplicar para los tratamientos T2, T3 y T4:*

Para el mismo, se utilizaron las ecuaciones 1.1; 1.2 y 1.3

$$OfertaMO = 1000 * \left( (2,27_{[0-20cm]} * 1,3_{[0-20cm]} * 0,025) + \frac{(1,5_{[20-40cm]} * 1,35_{[20-40cm]} * 0,025)}{2} \right)$$

$$OfertaNNO_3 = (13,2_{[0-20cm]} * 2 * 1,3_{[0-20cm]}) + (12,1_{[20-40cm]} * 1,35_{[20-40cm]})$$

$$Dosis = (11 * 22) - (99,08 + 50,66)$$

$$Dosis = 92,25KgN$$

- *Análisis de suelo realizados en V<sub>5</sub> (sobre las parcelas correspondientes a T5)*

**Cuadro 3.** Valores de MO, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y humedad en el perfil, en V<sub>5</sub>, en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).

	<i>0-20 cm</i>	<i>20-40 cm</i>	<i>40-60 cm</i>	<i>60-80 cm</i>	<i>80-100 cm</i>
<i>MO (%)</i>	2,2	1,8			
<i>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm)</i>	15,2	14,1			
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm)</i>	74,3	66,2			
<i>Humedad (%)</i>	20,1	21	19,4	18,6	18,9

MO: materia orgánica. N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrógeno de nitratos. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos

- *Cálculo de la dosis de nitrógeno a aplicar en V<sub>6</sub> para T5:*

Para ésto se utilizaron las ecuaciones 2.1; 2.2; 2.3; 2.4 y 2.5.

$$OfertaMO = 1000 * \left( (2,2_{[0-20cm]} * 1,3_{[0-20cm]} * 0,03600213) + \frac{(1,8_{[20-40cm]} * 1,35_{[20-40cm]} * 0,03600213)}{2} \right)$$

$$OfertaNNO_3 = (15,2_{[0-20cm]} * 2 * 1,3_{[0-20cm]}) + (14,1_{[20-40cm]} * 1,35_{[20-40cm]})$$

$$Dosis = (13 * 22) - (146,7 + 58,55)$$

$$Dosis = 80,75 \text{ KgN}$$

Como se puede observar, la dosis calculada a partir del NP-Zea, es menor que la determinada previo a la siembra (80,75 vs 92,25 KgN ha<sup>-1</sup>), debido a que en el cálculo se incluyen los resultados obtenidos a partir del test de nitratos en el estadio de 5 hojas desplegadas (V<sub>5</sub>) y el factor de mineralización empleado (ecuación 2.4), también difiere del utilizado en presiembra; mientras éste último es un valor estimado, en V<sub>6</sub>, se calcula a partir de la humedad disponible en el suelo. Estos dos aspectos definen la menor dosis de nitrógeno aplicada, debida a una mayor oferta de N.

- *Análisis de suelo realizados en V<sub>13</sub>. (Teniendo en cuenta todos los tratamientos):*

**Cuadro 4.** Valores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y humedad en el perfil, en V<sub>13</sub>, en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).

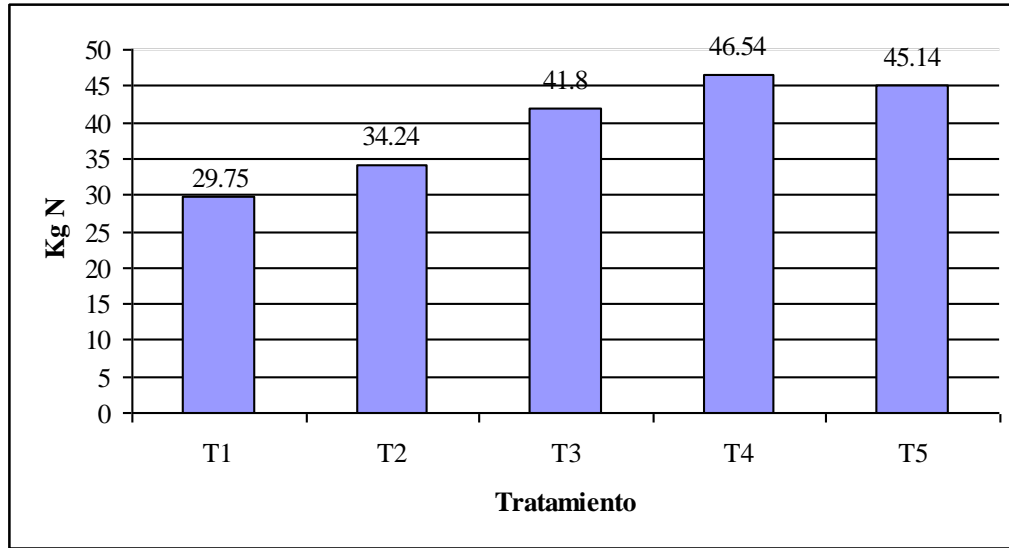
	<i>Profundidad</i>	<i>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm)</i>	<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm)</i>	<i>Humedad (%)</i>
<b>T1</b>	0-20 cm.	5,2	23,04	24,4
	20-40 cm.	3,7	16,39	22,7
	40-60 cm.	2,4	10,63	21,5
<b>T2</b>	0-20 cm.	4,7	20,82	24,8
	20-40 cm.	4,4	19,49	23,7
	40-60 cm.	3,9	17,28	22
<b>T3</b>	0-20 cm.	5,5	24,37	26
	20-40 cm.	4,6	20,38	22,4
	40-60 cm.	5,8	25,69	22
<b>T4</b>	0-20 cm.	6,1	27,02	26
	20-40 cm.	5,2	23,04	23,2
	40-60 cm.	6,4	28,35	22,7
<b>T5</b>	0-20 cm.	7,7	34,11	24,5
	20-40 cm.	4,2	18,61	23
	40-60 cm.	5,3	23,48	21,5

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrógeno de nitratos. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos T1, testigo sin fertilización. T2, Fertilización con el 100% de N aplicado a la siembra. T3, Fertilización con el 100% de N aplicado en V<sub>6</sub>. T4, Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>. T5, Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

Los datos anteriormente presentados, no fueron analizados estadísticamente debido a que por una cuestión de costos de los análisis, fue realizada una determinación por tratamiento sobre una muestra compuesta de los tres bloques. No obstante, con estos datos se puede observar una tendencia de lo que ocurrió con la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al inicio del período crítico para la determinación del rendimiento del maíz y con ello verificar la eficacia de los tratamientos de fertilización.

La transformación de los niveles de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a kg de N ha<sup>-1</sup> en el estadio V<sub>13</sub>, arrojó valores entre 29,75 y 46,54 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 1). El valor más bajo (29,75 kg N ha<sup>-1</sup>) fue encontrado en el testigo, que no fue fertilizado. Los valores superiores en cambio, son aquellos que recibieron la totalidad (T3 y T5) o una parte (T4) de la dosis de N en V<sub>6</sub>, siendo 41,8; 45,14 y 46,54 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El tratamiento que recibió la totalidad de la dosis a la siembra presentó valores intermedios de N (34,24 kg N ha<sup>-1</sup>).



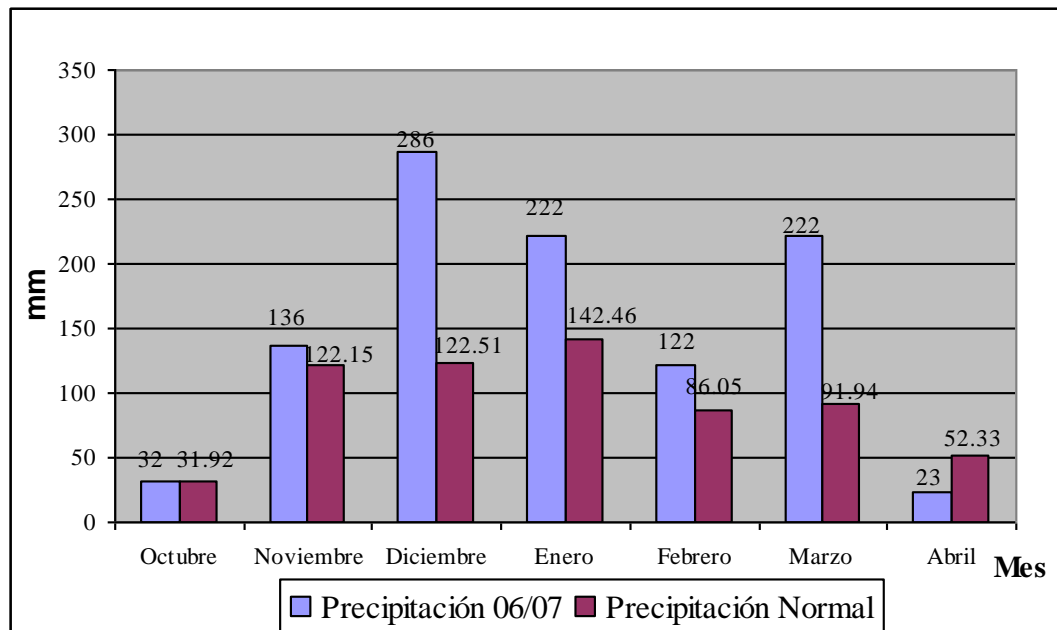


**Figura 1.** Valores de Nitrógeno total en  $V_{13}$  expresados en  $\text{kg de N ha}^{-1}$ , en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).

## V.ii. DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN CLIMÁTICA DURANTE EL DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA EN COMPARACIÓN CON LA SERIE HISTÓRICA 1994-2007

### V.ii.1. CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO

En la Figura 2, se puede observar la distribución de las precipitaciones para el ciclo del cultivo desde la fecha de siembra (22 de octubre) hasta la cosecha (22 de abril).



**Figura 2.** Comparación entre precipitaciones normales (serie histórica 94/07) y del 06/07, para el ciclo del cultivo en el Establecimiento La Herencia, Etruria (Córdoba).

La precipitación media normal en el ciclo del cultivo (octubre – abril) es de 651,3 mm mientras que en el mismo período de la campaña 2006 – 2007 el registro ascendió a 1043mm. Este excedente de casi 392 mm durante el ciclo del cultivo juega un rol muy importante en la definición del rendimiento, siendo que el maíz es una de las especies que tienen mayores requerimientos hídricos, alcanzando consumos de 400 a 700 mm durante el ciclo dependiendo de las condiciones ecológicas (Andrade *et al.*, 1996a.)

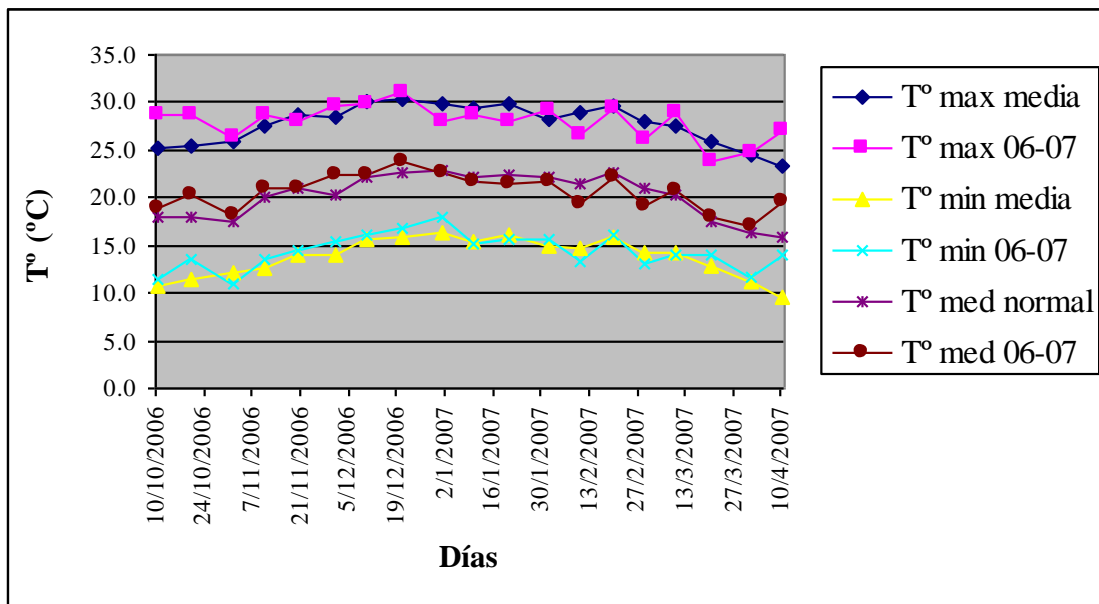
Las precipitaciones entre siembra y  $V_6$ , sumaron 186 mm.

Como se puede observar, en la mayoría de los meses, principalmente en aquellos claves para la definición del rendimiento (enero y febrero), las precipitaciones superaron ampliamente a la precipitación promedio del lugar en estudio. Esto se relaciona con lo expresado por Montoya y

Domínguez (2004) cuando afirman que en cultivos de secano sin limitaciones de nutrientes, la cantidad y distribución de las precipitaciones, en particular las ocurridas en enero, fijan los rendimientos máximos alcanzables.

### V.ii.2. RÉGIMEN TÉRMICO

En la Figura 3, se puede observar la comparación entre las temperaturas máximas, medias y mínimas normales, correspondientes a la serie histórica (1994/2007) con aquellas que se presentaron durante la campaña en estudio (2006/2007), teniendo en cuenta para ambos casos los valores registrados durante el ciclo del cultivo, desde siembra a cosecha:



**Figura 3.** Comparación entre temperaturas máximas, medias y mínimas normales (serie histórica (94/07) y del 06/07, para el ciclo del cultivo.

El período en estudio (2006/07), presentó temperaturas ambientales similares a los valores históricos del área.

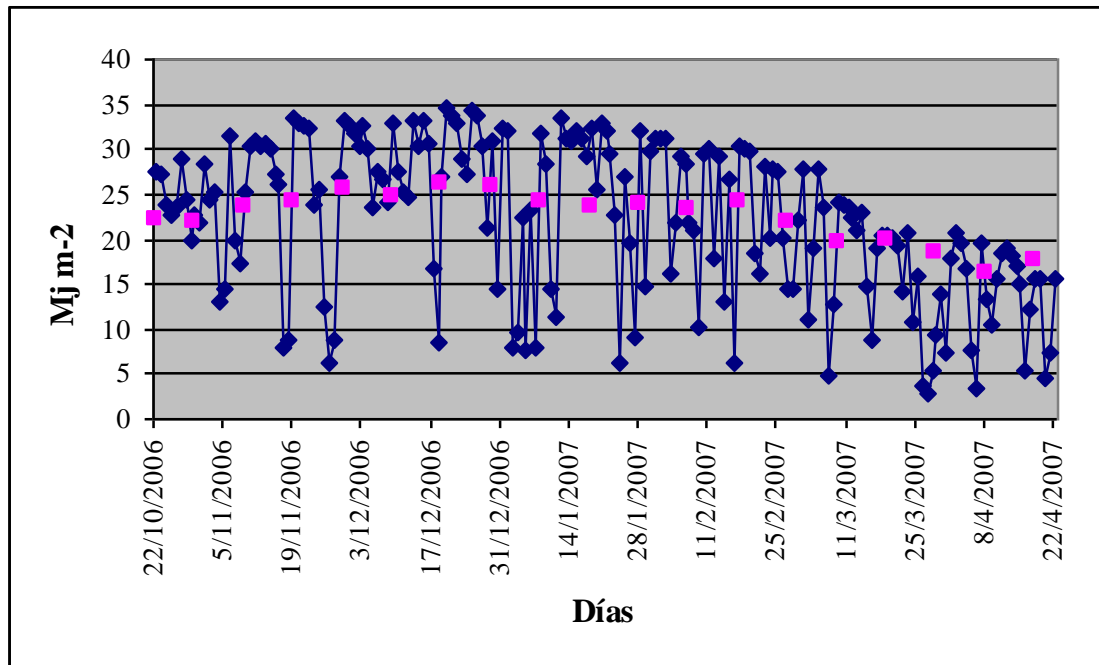
La temperatura máxima promedio para el ciclo del cultivo fue de 27,9°C, la mínima de 14,3°C y la media de 20,6. La amplitud térmica para el mismo período fue de 13,6.

Es importante que los valores de temperatura se hallan encontrado dentro de los normales de la zona y no por debajo, por considerarse la misma, como el principal factor en la regulación de la mineralización. Según lo expuesto por Alvarez *et al.* (2002), en la Pampa Ondulada, es de importancia principalmente para los cultivos de verano como el maíz, convirtiéndolo en un

cultivo muy sensible a la fertilidad edáfica, al existir una relación significativa entre el contenido de materia orgánica y la cantidad de nitrógeno mineral del suelo, en V<sub>4-6</sub>.

### V.ii.3 RADIACIÓN SOLAR

La radiación presente durante el ciclo del cultivo se presenta en la Figura 4.



**Figura 4.** Radiación solar para el periodo 20-10-2006 al 22-04-2007 (siembra a cosecha). La línea azul representa la radiación solar para la campaña analizada (2006-2007); la rosa, la radiación solar media para el período 1994-2007.

La radiación solar acumulada durante el ciclo del cultivo de maíz fue alrededor de 4030,2  $\text{Mj m}^{-2}$ , este valor, se encuentran alrededor de la media histórica (Figura 4). El valor de radiación diaria promedio fue de 23  $\text{Mj m}^{-2}$ . Si se considera el período comprendido entre siembra y V<sub>13</sub> (momento en que se realizó la medición de intercepción y la estimación de la RFA), la radiación solar acumulada, fue de 1939,19  $\text{Mj/m}^2$ .

Según Andrade *et al.*, (1996b) la radiación, la temperatura media y la amplitud térmica explican gran parte de los rendimientos máximos de maíces, cultivados sin restricciones hídricas ni nutricionales en diversas localidades del mundo, sin tener en cuenta los efectos genéticos del ciclo del cultivo. Para obtener un rendimiento mínimo de 10  $\text{tn ha}^{-1}$ , la radiación solar diaria

incidente promedio debe ser a partir de 19 Mj m<sup>-2</sup> la temperatura media diaria debe ser de 24°C y la amplitud térmica presentar valores superiores a los 12°C.

Por lo dicho para el caso de la experiencia con valores dentro de estos rangos, sumados a inexistencia de déficits hídricos, las diferencias de rendimientos entre tratamientos estarían principalmente explicadas por las variaciones nutricionales y no por las condiciones meteorológicas del período en estudio.

### V. iii. INTERCEPCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA INTERCEPTADA

Los datos de la eficiencia de intercepción y de la radiación fotosintéticamente activa, para los distintos tratamientos, se resumen en el Cuadro 5.

**Cuadro 5:** Eficiencia de intercepción y radiación fotosintéticamente activa en los distintos tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.

Tratamiento	Intercepción de la Radiación (%)	Radiación fotosintéticamente activa interceptada (mj m <sup>-2</sup> )
T5	95,69a	445,36a
T2	95,65a	445,17a
T4	94,85a	441,48a
T3	94,41a	439,40a
T1	90,05 b	419,10 b
DMS	1,44	6,72
Valor p	0,0001	0,0001
CV (%)	0,84	0,84
R <sup>2</sup>	0,88	0,88

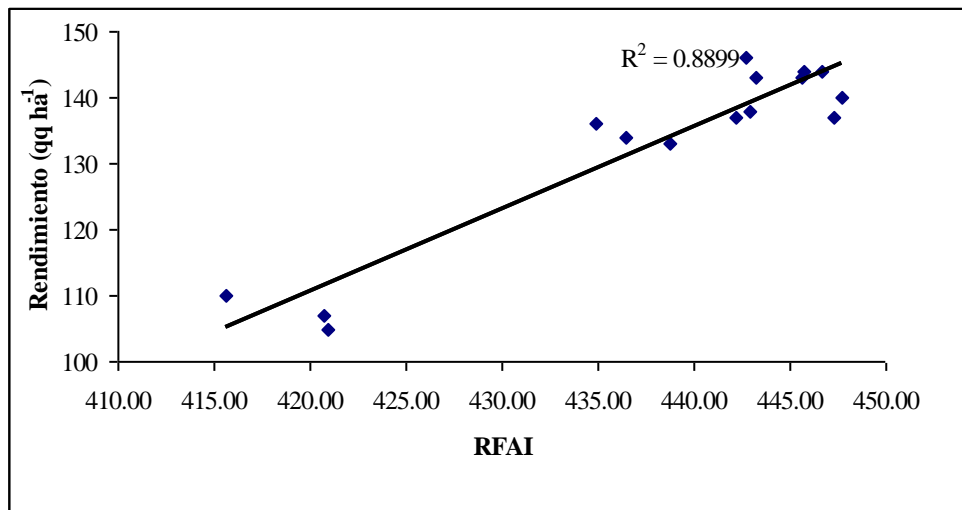
En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2002). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación. Intercepción de la radiación en (porcentaje). Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAl) en (mj m<sup>-2</sup>). T1, testigo sin fertilización. T2, Fertilización con el 100% de N aplicado a la siembra. T3, Fertilización con el 100% de N aplicado en V<sub>6</sub>. T4, Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>. T5, Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas indican que existió diferencia de medias entre tratamientos, para las mediciones de intercepción de la radiación, y también en la radiación fotosintéticamente activa interceptada, siendo los valores de p de 0,0001 para ambos parámetros.

La respuesta resulta significativa ante el agregado del fertilizante nitrogenado, pero los valores son similares si se comparan los diferentes momentos de aplicación del mismo.

La diferencia de intercepción de la radiación podría haber sido aun mayor entre el tratamiento testigo y los fertilizados pero probablemente por las características del lote y del año en cuestión (adecuada disponibilidad de agua y nutrientes), las diferencias fueron menores. La campaña presentó condiciones hídricas excepcionales para el desarrollo del cultivo. El haber utilizado una densidad relativamente alta (80000 semillas ha<sup>-1</sup>), a una distancia entre líneas de 52,5 cm., tiene relación directa con el área foliar y por ende con la intercepción de la radiación, mientras que la eficiencia con que el cultivo transforma la radiación interceptada en materia seca se relaciona con el estado nutricional del cultivo (Cárcova *et al.*, 2003.b)

Estos altos valores de intercepción de la radiación, tuvieron una relación estrecha y positiva sobre el crecimiento y por lo tanto sobre el rendimiento ( $r^2=0,88$ ), como se observa en la Figura 5. Esto concuerda con lo expresado por Andrade *et al.* (1996.b), quienes afirman además que cuando disminuye la radiación incidente, por medio del sombreado del cultivo, durante un período de 30 días alrededor de la floración (momento en el que se fija el número de granos), se produce una disminución de los granos fijados por unidad de superficie.



**Figura 5:** Relación entre Rendimiento y RFAI.

#### V.iv. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RENDIMIENTO

Los datos de rendimiento para el ensayo según el tratamiento se resumen en el Cuadro 6.

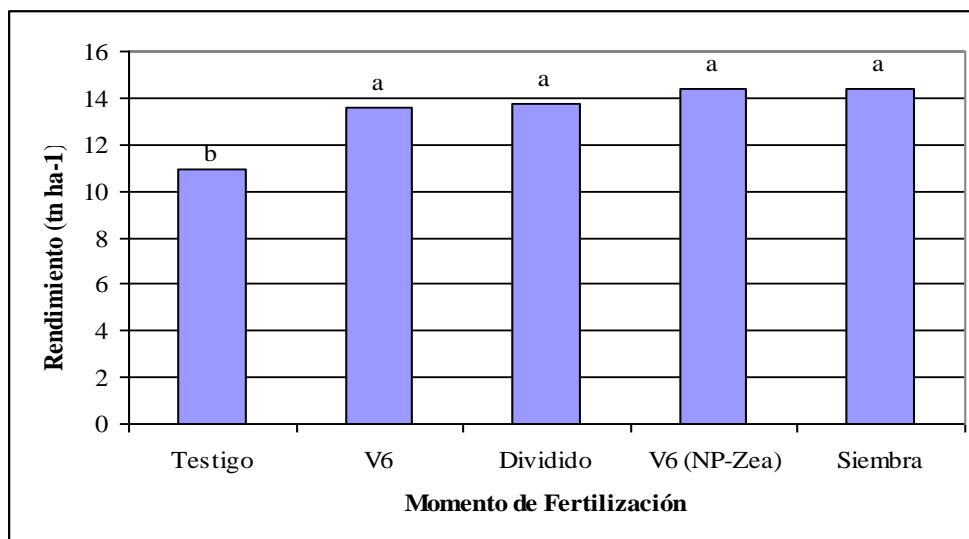
**Cuadro 6:** Rendimiento según tratamiento de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.

Tratamiento	Rendimiento (tn/ha <sup>-1</sup> )
T2	14,39a
T5	14,38a
T4	13,72a
T3	13,61a
T1	10,96 b
DMS	0,814

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2002). DMS, diferencia mínima significativa. T1, testigo sin fertilización. T2, Fertilización con el 100% de N aplicado a la siembra. T3, Fertilización con el 100% de N aplicado en V<sub>6</sub>. T4, Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>. T5, Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

El resultado de la prueba estadística realizada, indica que existió diferencia significativa de medias para el rendimiento entre tratamientos ( $p < 0,0001$ ). Estas diferencias tienen que ver con la respuesta a la fertilización nitrogenada y no con los diferentes momentos de aplicación del fertilizante, como se indica en la Figura 6. En ningún caso hubo diferencias en el rendimiento, entre los momentos de aplicación, si se consideran únicamente los tratamientos fertilizados ( $p < 0,08$ ).

Si comparamos el testigo (T1) y el resto de los tratamientos, pueden observarse aumentos entre 19 y 24% por efecto de la fertilización nitrogenada, lo que significó incrementos en el rendimiento superiores a 2 toneladas de granos según tratamiento, cuando estos fueron fertilizados, independientemente del momento. Estos resultados difieren de los encontrados por Ferrari *et al.* (2001) en suelos Hapludoles en los que las aplicaciones en V<sub>6</sub> resultaron en mayores rendimientos que las realizadas en el momento de la siembra.



**Figura 6.** Rendimiento del cultivo de maíz según diferentes momentos de fertilización nitrogenada. Letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2002).

La aplicación de N realizada a la siembra fue el 22 de octubre de 2006 y la aplicación en V<sub>6</sub> el 1° de diciembre, es decir, pasaron 39 días entre momentos de aplicación. En ese período se registraron 168 mm de precipitación, distribuidos de la siguiente manera:

**Cuadro 7:** Precipitaciones entre siembra y V<sub>6</sub>.

Fecha	mm
29-Oct	32
3-Nov	14
16-Nov	4
17-Nov	38
24-Nov	80

Debido a que los nitratos son solubles en agua, ante la ocurrencia de una lluvia se mueven masivamente a través del perfil. El agua que ingresa a un horizonte puede permanecer retenida en él, si el contenido del mismo se encuentra por debajo de capacidad de campo. Al superar dicho contenido, drena por los poros del suelo arrastrando una porción de nitratos hacia el estrato inferior, que se suma a los ya existentes, según la capacidad de retención hídrica y el contenido hídrico de cada horizonte; en este proceso también debe contemplarse la profundidad de enraizamiento del cultivo (Maddoni *et al.*, 2003a).



La cantidad de mm precipitados y su distribución podrían considerarse como no suficientes para producir pérdidas por lixiviado, y por ende, esto podría explicar que no hallan existido diferencias de rendimiento al comparar la fertilización en la siembra y en V<sub>6</sub>. Esto mismo fue encontrado por Gudelj *et al.* (2004) en ensayos realizados en el EEA INTA Marcos Juárez. Barraco y Diaz Zorita (2005), determinaron que precipitaciones inferiores a 150-200 mm no produjeron pérdidas por lavado suficientes para que disminuyan los rendimientos cuando la totalidad del fertilizante fue aplicado a la siembra.

#### V.iv.1. COMPONENTES DIRECTOS DEL RENDIMIENTO

El rendimiento en granos del cultivo de maíz puede expresarse como el producto de sus componentes numéricos directos; el número por unidad de superficie y el peso de los granos.

El resumen de los componentes directos del rendimiento puede observarse en el Cuadro 8:

**Cuadro 8:** Componentes directos del rendimiento: N° de granos m<sup>-2</sup> y peso de 1000 granos, para los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.

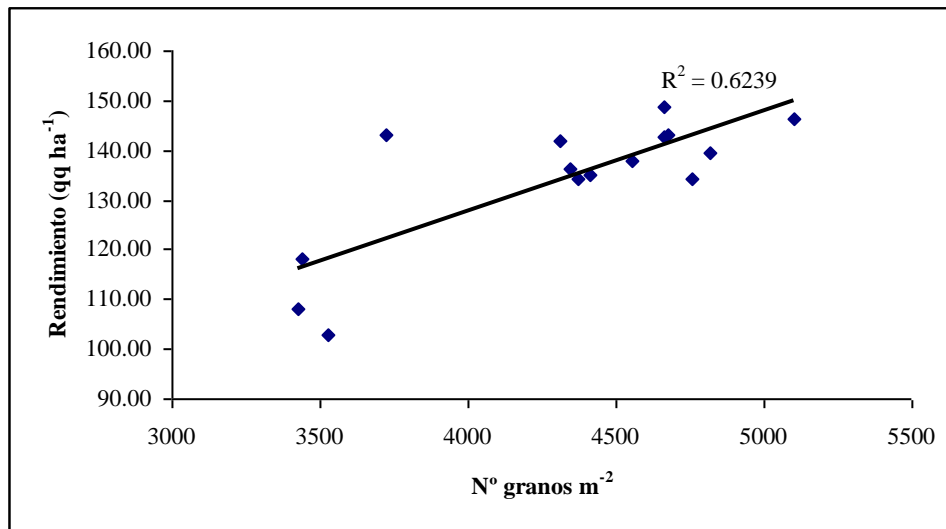
Tratamientos	N° de granos m <sup>-2</sup>	Peso de 1000 granos
T5	4716,7 <sup>a</sup>	372,67 <sup>a</sup>
T2	4494,8 <sup>a</sup>	373,29 <sup>a</sup>
T4	4494,9 <sup>a</sup>	361,76 <sup>a</sup>
T3	4421,9 <sup>a</sup>	375,92 <sup>a</sup>
T1	3462,8 <sup>b</sup>	300,42 <sup>b</sup>
DMS	398,10	18,63
Valor p	0,0001	0,0001
CV (%)	17,28	6,27
R <sup>2</sup>	0,50	0,69

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2002). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación. Peso de 1000 granos en gramos. T1, testigo sin fertilización. T2, Fertilización con el 100% de N aplicado a la siembra. T3, Fertilización con el 100% de N aplicado en V<sub>6</sub>. T4, Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>. T5, Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por NP-Zea (Gesumaria *et al.*, 2000).

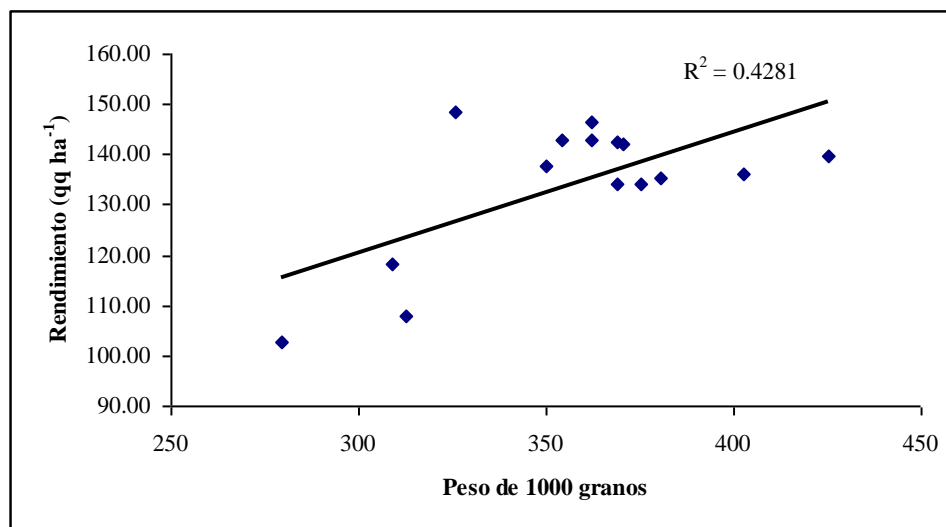
Como se observa, tanto el número como el peso de 1000 granos fueron afectados significativamente (p 0,0001) por efecto del agregado de nitrógeno independientemente del momento de la aplicación práctica del fertilizante (siembra, V<sub>6</sub>, fraccionado). Esto concuerda con los resultados obtenidos en experimentos de fertilización por Muchow (1994), que indican incrementos en el rendimiento por efecto de la fertilización nitrogenada tanto en el número como

en el peso de los granos. Por otro lado Otegui *et al.* (1995), consideran al número como el principal componente del rendimiento y el peso como un componente poco afectado por las fuentes de variación experimental.

En este caso, el rendimiento del cultivo, para el conjunto de observaciones se relacionó en forma estrecha con el número de granos por unidad de superficie ( $r^2=0,62$ ;  $p 0,0005$ ), (Figura 7) y también se asoció en forma menos estrecha, pero significativa con el peso del grano ( $r^2=0,43$ ;  $p 0,008$ ) (Figura 8). El rendimiento se incrementó al aumentar el número de granos y el peso de los mismos, aunque con diferente grado de ajuste (62 y 43% respectivamente).



**Figura 7.** Relación entre rendimiento y número de granos m<sup>-2</sup>.



**Figura 8.** Relación entre rendimiento y peso de 1000 granos.

El N° de granos por unidad de superficie (Cuadro 8) presentó variaciones de un 27 al 36% entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados; por otro lado el peso de los granos también presentó diferencias en menor medida pero en forma consistente del 20 al 25%, lo que indica que una fracción algo menor de la variación del rendimiento pudo ser atribuida a éste último componente. La mayor intercepción de la radiación para los tratamientos fertilizados (Cuadro 5) explican los mayores rendimientos y el mayor peso de los granos, al aumentar el área fotosintética y con esto los fotoasimilados disponibles para particionar a los granos.

Al respecto, Melchiori *et al.* (2004) reportan variaciones en el número de granos por unidad de superficie entre 20 y 78% y de 11 a 33 % en el peso de los granos respecto a los máximos obtenidos, más aún, Lemcoff y Loomis (1986) encontraron rangos de incrementos simultáneos para el número de granos que van desde 25 hasta 250% mientras que para el peso de los granos, van desde 13 hasta 46% frente a incrementos en el suministro de nitrógeno.

#### V.iv.2. COMPONENTES INDIRECTOS DEL RENDIMIENTO

Los componentes indirectos del rendimiento pueden observar en el Cuadro 9.

**Cuadro 9:** Componentes indirectos del rendimiento: N° espigas m<sup>-2</sup>, N° granos espiga<sup>-1</sup>, Peso de granos espiga<sup>-1</sup> (g), Concentración de N en grano (%); para los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.

Tratamientos	N° espigas m <sup>-2</sup>	N° granos espiga <sup>-1</sup>	Peso de granos espiga <sup>-1</sup>	Concentración de N en grano
T5	7,33 a	644,55a	238,33a	1,10a
T4	7,12 a	648,53a	235,45a	1,18a
T2	7,08 a	640,57a	241,84a	1,18a
T3	7,02 a	630,77a	244,09a	1,24a
T1	6,93 a	578,13 b	186,96 b	0,95 b
DMS	0,32	46,1	29,09	0,15
Valor p	0,158	0,0366	0,015	0,007
CV (%)	2,53	4,03	6,85	8,41

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2002). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación. T1, testigo sin fertilización. T2, Fertilización con el 100% de N aplicado a la siembra. T3, Fertilización con el 100% de N aplicado en V<sub>6</sub>. T4, Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>. T5, Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

Como se puede observar no existió diferencia significativa entre medias para el número de espigas por  $m^{-2}$  ( $p$  0,158), para los tratamientos evaluados. Esto puede ser explicado por no haberse encontrado aborto de espigas ni doble espigas, indicando que este componente no fue influenciado por la fertilización nitrogenada.

Por el contrario, existieron diferencias significativas en el N° granos espiga<sup>-1</sup> y peso de granos espiga<sup>-1</sup>. Esto concuerda con lo visto anteriormente en el N° de granos  $m^{-2}$  y peso de 1000 granos (componentes directos del rendimiento), dado que estos últimos son definidos por los componentes indirectos.

Por otro lado, la concentración de nitrógeno en grano presentó diferencia significativa ( $p$  0,007), siendo el testigo el que presentó menor valor. Según Abbate y Andrade (2005), en condiciones de deficiencias de nutrientes, la cantidad absorbida por el cultivo y disponible para removilizar es baja, por lo que el contenido y concentraron de N en grano disminuye.

Al analizar la concentración de nitrógeno en grano en relación al rendimiento, se encontró que el valor en T1 fue de  $9,5 \text{ g kg}^{-1}$  (0,95 % de N en grano), mientras que en el resto de los tratamientos superaban los  $11 \text{ g kg}^{-1}$  (1,15% de N en grano). Valores similares fueron encontrados en Balcarce por Uhart y Andrade (1995), quienes definieron un valor umbral de  $13 \text{ g de N kg de grano}^{-1}$ , por encima del cual no cabría esperar cambios en el rendimiento ante un aumento de la provisión del nutriente.

## V.v. EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO

### V.v.1. RELACIÓN ENTRE EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO Y LA EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO

Los indicadores de eficiencia de uso de N evaluados, se presentan a continuación:

**Cuadro 10.** Balance Parcial de Nitrógeno, Productividad parcial del factor y eficiencia agronómica, como indicadores de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), para los distintos tratamientos de fertilización nitrogenada en maíz cultivado en un Haplustol típico del Sur de Córdoba.

Tratamiento	Eficiencia Agronómica	Productividad Parcial del Factor N	Balance Parcial de N
T5	48,25a	177,47a	0,52 b
T2	35,29 b	156,43 b	0,56a
T4	32,76 b	149,05 b	0,56a
T3	31,74 b	147,89 b	0,56a
DMS	10,928	10,928	0,03052
Valor p	0,0137	0,0001	0,0196
CV (%)	35,89	6,83	6,8

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2007). DMS, diferencia mínima significativa. CV, Coeficiente de variación. T2, Fertilización con el 100% de N aplicado a la siembra. T3, Fertilización con el 100% de N aplicado en V<sub>6</sub>. T4, Fertilización con nitrógeno dividido 50% a la siembra y 50% en V<sub>6</sub>. T5, Fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub> con dosis recomendada por NP-Zea (Gesumaría *et al.*, 2000).

Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas indican que existieron diferencias de medias entre las distintas formas de evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno: Productividad Parcial del Factor nitrógeno (PPF); Eficiencia Agronómica (EA) y Balance Parcial de nitrógeno (BPN); según los tratamientos, con valores p de 0,0001; 0,0137 y 0,0196, respectivamente.

El tratamiento de fertilización con nitrógeno en V<sub>6</sub>, con dosis recomendada por el programa NP-Zea (T5), fue el que presentó diferencias con el resto. El valor de PPF, fue significativamente superior, indicando una mayor producción de grano por cantidad de nutriente aplicado; de igual manera y para un análisis más detallado el valor de EA fue superior al resto, indicando un mayor incremento de rendimiento por kg de N aplicado.

Lo anterior se debe a que la dosis de N aplicada en T5 fue 11,5 kg más baja que la utilizada en el resto de los tratamientos, por ser calculada a partir del balance de nitrógeno en V<sub>6</sub>, según el modelo NP-Zea utilizando un factor de mineralización diferente al utilizado a la siembra. Esto puede explicarse a través de la determinación de nitrógeno mineral (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en post-emergencia representa el balance neto entre la producción y pérdida de N, ya que la

absorción previa es reducida, permitiendo realizar en este momento un diagnóstico más preciso. Al respecto, Maddonni *et al.* (2003b), Sainz Rosas *et al.* (2000), encontraron una buena correlación entre el rendimiento de maíz y el contenido de nitratos en el horizonte superficial cuando las plantas se encontraban en V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub>, reflejando adecuadamente la disponibilidad de nitrógeno.

Por otro lado, T5, presentó el menor valor de BPN, lo cual indica bajos valores de N aplicados por cada unidad de nitrógeno extraído, en comparación con el resto de los tratamientos que recibieron mayor dosis de N. El análisis de la EUN en términos de balance, explica que a pesar de haber sido T5 el más eficiente en cuanto al uso del fertilizante, fue el más extractivo en cuanto a la fertilidad del suelo. No obstante, todos los tratamientos presentaron valores que distan del valor óptimo de balance igual a 1.

Resultados similares fueron encontrados por Muchow (1998); donde la EUN disminuyó con el incremento de la disponibilidad de N, debido a que la absorción de este nutriente superó la necesaria para lograr la máxima tasa de crecimiento. Esto último, tiene especial importancia en el cultivo de maíz, el que posee un umbral muy bajo de N foliar para alcanzar la máxima fotosíntesis (Sinclair y Horie, 1989).

Los mismos indicadores de EUN fueron establecidos en Argentina por García y Ciampitti (2008):

**Cuadro 11:** Valores promedio de indicadores de EUN para la República Argentina

EA	PPF	BPN
10-40	117-127	0,6-0,65

García y Ciampitti (2008). BPN: Balance parcial de nitrógeno. PPF: Productividad parcial de nitrógeno. EA: Eficiencia agronómica

En éste ensayo, los valores encontrados fueron cercanos al promedio de los valores encontrados en Argentina, donde no se repone el total de N extraído por el cultivo. Aún algo más acentuado para el ensayo, puede verse claramente que los altos rendimientos alcanzados con la siembra directa y la fertilización en base a criterios económicos, inducen mayores extracciones que no son compensadas. Observando las actuales tendencias de fertilización, Galarza *et al.* (2006) afirman que la fertilización balanceada del sistema, programada a mediano-largo plazo permitiría revertir el deterioro de los suelos y no la fertilización con criterio económico a corto plazo.

Tanto los valores de PPF como de EA resultaron más altos que aquellos encontrados en el país, pero hay que tener en cuenta las adecuadas condiciones climáticas (oferta hídrica) del año en

cuestión, que contribuyeron a obtener mayores rendimientos. Al respecto, Maddonni *et al.* (2003a), afirman que existe una relación lineal entre la evapotranspiración y la tasa de crecimiento de un cultivo, impactando sobre la absorción de nutrientes. En situaciones de mayor disponibilidad de agua, como las encontradas en esta experiencia, las eficiencias de respuesta a la fertilización resultan mayores que en condiciones limitantes.

A partir de esto, y realizando una comparación macro de los resultados, se puede afirmar que a mayor PPF menor fue el BPN, lo cual dista de valores medios para ambos que darían lugar a una mayor sostenibilidad. A un nivel más detallado, los valores de EA mayores, permitirían reducir los costos de fertilización nitrogenada, mejorando el resultado económico final.

Esto refleja la importancia de complementar diferentes indicadores de la EUN lo que permite analizarlos desde diferentes puntos de vista. Un análisis individual de cada uno de ellos sería por lo tanto, menos preciso y objetivo.

Por otro lado, si se observa el Cuadro 9, se puede interpretar que a mayor nivel de EUN fueron menores los valores de N en grano de los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada. La relación entre EA y el porcentaje de N en grano (Figura 9) presentó un  $r^2$  de 0,55. En relación a esto, Caviglia *et al.* (2005) establecieron que el índice de cosecha y el índice de cosecha de N resultan indicadores más valiosos de la EUN que la concentración de N en grano.

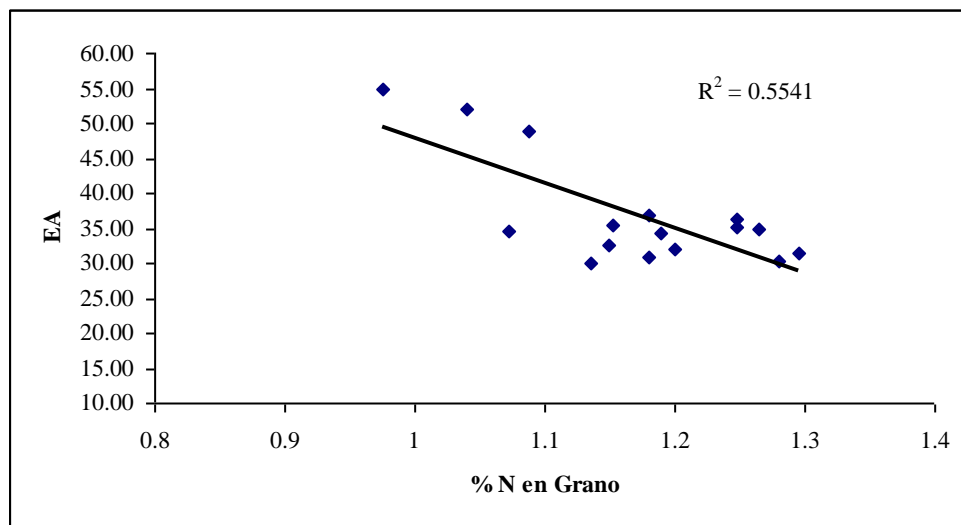


Figura 9. Relación entre EA (eficiencia agronómica) y % de N en grano

## VI. CONCLUSIONES

No se pudo establecer un momento de aplicación óptimo que maximice los rendimientos, debido que las situaciones evaluadas (fertilización a la siembra, en  $V_6$  y fraccionada) presentaron resultados similares.

La eficiencia en el uso del nitrógeno, tampoco presentó diferencias al analizar los distintos momentos de aplicación del fertilizante.

Entre los dos métodos de diagnóstico de nitrógeno, el modelo NP-Zea fue el que generó la mejor eficiencia en el uso del nitrógeno según todos los indicadores testeados.

En futuros ensayos convendría agregar franjas con dosis crecientes para comprobar dosis insuficientes o excesivas, mediante análisis de suelo en  $V_{5-6}$ , o aun más tarde por medio de mediciones en el dosel.

Además sería oportuno repetir el ensayo en diferentes lugares, en varios años sucesivos, ya que los resultados presentan alta variación con el tipo de suelo y las condiciones meteorológicas del año; para que los resultados puedan analizarse y compararse de una manera más correcta.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE, P.E. y F. ANDRADE. 2005. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos. **En:** Echeverría, H. y F. García (editores). **Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.** Ediciones INTA Balcarce. p: 43-65.
- ANDRADE, F.; A. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI. 1996a. Requerimientos hídricos. Capítulo 5. **En: Ecofisiología del cultivo de maíz.** Ed. La Barrosa-Dekalb Press. Balcarce. Argentina. Cap: 9. p. 255 – 267.
- ANDRADE, F.; A. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI. 1996b. Maíz en sistemas de alta producción. Capítulo 9. **En: Ecofisiología del cultivo de maíz.** Ed. La Barrosa-Dekalb Press. Balcarce. Argentina. Cap: 9. p. 255 – 267.
- ALVAREZ, R.; C.R. ALVAREZ; H.S. STEINBACH; J.M. SALAS y S. GRIGERA. 2002. Materia orgánica y fertilidad de los suelos en la pampa ondulada. **INPOFOS Informaciones Agronómicas.** 14: 11-14.
- BARRACO, M. y M. DÍAZ ZORITA. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. **Ciencia de suelo,** 23 (2): 197-203.
- BARRACO, M. y M. DÍAZ ZORITA. 2006. Fertilización postergada de nitrógeno en maíz en la región de la pampa arenosa. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Salta y Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006.
- BINDER, D.; D. SANDER y D. WALTERS. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal,** 92: 1228-1236.
- BINFORD, G. D. y A. M. BLACKMER. 1992. Relationships between Corn Yields and Soil Nitrate in Late Spring. **Agronomy Journal,** 84:53-59.
- BOLETÍN INFORMATIVO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. Red de información de la región pampeana. RIAP. Boletín año I, N° I. **En:** [www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/riap/riapcba.pdf](http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/riap/riapcba.pdf). Consultado: 15/07/08.
- CARCOVA, J.; L. BORRAS y M. OTEGUI. 2003a. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del maíz. **En:** Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Cap:8. p. 135-157.
- CARCOVA, J.; L.G. ABELEDO y M. LÓPEZ PEREIRA. 2003b. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. **En:** Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin.

- (autores). **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Cap: 6. p. 75-98.
- CAVIGLIA, O.; RJ. MELCHIORI y F. PAPAROTTI. 2005. Eficiencia de utilización del nitrógeno de dos híbridos de maíz en fechas de siembra contrastantes. **VIII Congreso Nacional de Maíz.** Bolsa de comercio de Rosario. p: 190-193.
- ECHEVERRÍA, E. y H. SAINZ ROZAS. 2005a. Nitrógeno. **En:** Echeverría, H. y F. García (editores). **Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.** Ediciones INTA Balcarce. p: 69-97.
- ECHEVERRÍA, E. y H. SAINZ ROZAS. 2005b. Maíz. **En:** Echeverría, H. y F. García (editores). **Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.** Ediciones INTA Balcarce. p: 255-280.
- ESPOSITO, G.; C. CASTILLO; R. BALBOA. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina. Diciembre 2006. INTA, Argentina. RIA 35 (3):45-63.
- FERRARI, M; J. OSTOJIC; GN. FERRARIS; L. VENTIMIGLIA; H. CARTA Y SN. RILLO. 2001. Momento de aplicación de fertilizante nitrogenado en maíz de siembra directa. **VII Congreso Nacional de Maíz.** Pergamino 7 al 9 de noviembre de 2001.
- FERRARI, M. 2006. Tecnología de fertilización nitrogenada en maíz en siembra directa. **Jornada de actualización técnica de maíz.** CREA sur de Santa Fe. Argentina. p: 7-16.
- FERRARIS, G.; L. COURETOT; F. MOUSEGNE; M. LÓPEZ DE SABANDO; R. PONTONI; R. SOLÁ. 2007a. Evaluación de diferentes estrategias de fertilización en maíz, comparando fuentes tradicionales y nuevas formulaciones. **En:** [www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext07/Fertiliz\\_Ma%C3%ADz\\_Nc\\_Act2007.pdf](http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext07/Fertiliz_Ma%C3%ADz_Nc_Act2007.pdf). Consultado: 20/9/2008.
- FERRARIS, G; L. COURETOT; M. TORIBIO y R. FALCONI. 2007b. Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento de maíz y el balance de nutrientes en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07. **INPOFOS Informaciones Agronómicas**, 37: 20-22.
- GALARZA, C., V. GUDELJ, P. VALLONE. 2006. Nuevas tendencias de fertilización de sistemas agrícolas: Balances de nutrientes y su impacto en los contenidos de Materia Orgánica Area Suelos y Producción Vegetal. Inta Marcos Juerez. **En:** [www.engormix.com/nuevas\\_tendencias\\_fertilizacion\\_sistemas\\_s\\_articulos\\_1065\\_AGR.htm](http://www.engormix.com/nuevas_tendencias_fertilizacion_sistemas_s_articulos_1065_AGR.htm). Consultado: 15/9/2008.

- GARCIA, F. 2001. Fertilización de maíz en la región pampeana. En: [www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/article=962DC80203256AB5006F987E06AED26C](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/article=962DC80203256AB5006F987E06AED26C). Consultado: 29/8/08.
- GARCIA, F. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. **Jornada Maíz**. Córdoba. Argentina.
- GARCÍA, F y I. CIAMPITTI. 2008. El nitrógeno en la agricultura argentina: presente y ¿futuro?. **XVI Congreso de Aapresid**. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina. p: 141-148.
- GESUMARÍA, J.; C. CASTILLO; G. ESPÓSITO y R. BALBOA. 2000. Software de aplicación para el cálculo de dosis de Nitrógeno y Fósforo en maíz. NP-Zea. Inscripto en la Dirección Nacional de Derecho de Autor. Exp. N° 97476 el 13/11/2000.
- GUDELJ, V.; P. VALLONE; C. GALARZA; O. GUDELJ; C. LORENZON; y B. MASIERO. 2004. Ensayos de fertilización en maíz EEA INTA Marcos Juárez. Resultados del ciclo 2003/2004. Informe para extensión N° 88 de la EEA INTA Marcos Juárez. **En:** [www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/5b0c057c74a093ca03256ee6005c5e91/\\$FILE/Gudelj-Maiz%20NPS%202003-04.doc](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/5b0c057c74a093ca03256ee6005c5e91/$FILE/Gudelj-Maiz%20NPS%202003-04.doc). Consultado: 20/9/08.
- INFOSTAT. 2002. InfoStat versión 1.1. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- KENNETH, G; A. DOBERMANN y D. WALTERS. 2002. Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**. 31: 132-140. En: [www.ambio.allenpress.com/perlserv/?request=get-abstract&doi=10.1639%2F0044-7447\(2002\)031%5B0132%3AANUEAN%5D2.0.CO%3B2](http://www.ambio.allenpress.com/perlserv/?request=get-abstract&doi=10.1639%2F0044-7447(2002)031%5B0132%3AANUEAN%5D2.0.CO%3B2)
- KLUTE, A. 1986 "Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods". Part 1, second edition.
- LEMCOFF, J.H. y R.S. LOOMIS. 1986. Nitrogen influences on yield components in maize postsilking growth and kernel weight. **Field crops research**, 56: 257.264.
- MADDONNI, G; P. VILARINO e I. GARCIA de SALOMONE. 2003.a. Dinámica de nutrientes en el sistema suelo planta. **En:** Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo**. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, Cap.16. p. 443-474.
- MADDONNI, G; R.A. RUIZ; P. VILARINO e I. GARCIA de SALOMONE. 2003.b. Fertilización en los cultivos para grano. **En:** Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). **Producción**

- de granos. Bases funcionales para su manejo.** Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, Cap.16. p. 501-557.
- MALAVOLTA, E.; G.C. VITTI y S.A de OLIVRA. 1989. Avaliação do Estado nutricional das plantas, Principios e Aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fósforo. p: 201.
- MELCHIORI, R.J.; OP. CAVIGLIA y A. KEMERER. 2004. Fertilización nitrogenada y componentes del rendimiento en maíz en el centro-oeste de Entre Ríos. Actualización técnica. Maíz, girasol y Sorgo. Serie Extensión n° 44. p. 53-58.
- MELCHIORI, R.J.; OP. CAVIGLIA y A. BIANCHINI. 2005. Momentos de fertilización nitrogenada en maíz en el centro-oeste de Entre Ríos. **VIII Congreso Nacional de Maíz.** Bolsa de comercio de Rosario. p:214-217.
- MELCHIORI, R.J.; OP. CAVIGLIA; N. FACCENDINI, A. BIANCHINI; W. RAUN. 2007. Evaluación de refertilización nitrogenada basada en la utilización de un sensor óptico. Actualización Técnica cultivos de Invierno. Estación experimental Agropecuaria Paraná. Serie extensión N° 42 P: 27-31. INTA Entre Ríos. Proyecto Regional agrícola. [www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/lino/otros\\_documentos/Serie%20Exten%20N42.pdf#page=26](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/lino/otros_documentos/Serie%20Exten%20N42.pdf#page=26). Consultado:15/9/2008.
- MELGAR, R. 1997. Maíz. **En:** Melgar, R. y M. Diaz-Zorita (coordinadores). **La fertilización de cultivos y pasturas.** Editorial Hemisferio Sur S.A., Buenos Aires. p: 93-104.
- MELGAR, R. y M. TORRES DUGGAN. 2004. Manejo de la fertilización en maíz. **En:** [www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/maizo6.pdf](http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/maizo6.pdf) Consultado: 24-09-2006.
- MONTOYA, J.C. y G.F. DOMÍNGUEZ. 2004. Efecto de los factores meteorológicos sobre el rendimiento de maíz. Boletín de divulgación técnica n° 81, abril 2004. EEA Anguil. [www.inta.gov.ar/Anguil/info/boletines/pdf/bol81.pdf](http://www.inta.gov.ar/Anguil/info/boletines/pdf/bol81.pdf)
- MUCHOW, R.C. 1994. Effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and subtropical environments. *Field Crops Research*. 38: 1-13.
- MUCHOW, R.C. 1998. Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. **Field crops research**, 56: 209-216.
- OTEGUI, M.E.; M.G. NICOLINI; R.A. RUIZ y P.A. DODDS. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. **Agronomy Journal**, 87: 29-33.
- PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. 1982. "Methods of soil analysis. Chemical and Microbiological properties". Part 2, second edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA.

- PELAGAGGE, 2008. Evaluación de la respuesta a nitrógeno en maíz. **XVI Congreso de Aapresid**. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina. p: 383-387.
- PORTELA, S. A.; A. ANDRIULO; M.C. SASAL; B. P. MARY. 2005. Destinos del nitrógeno del fertilizante en maíz bajo siembra directa en dos suelos de la región pampeana: aplicación de  $^{15}\text{N}$  en lisímetros. **VIII Congreso Nacional de Maíz**. Bolsa de comercio de Rosario p: 205-210.
- QUIROGA, A; D. FUNARO; O. ORMEÑO; A. BONO y C. SCIANCA. 2003. Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Cultivos de Cosecha Gruesa. Actualización 2003. Boletín de Divulgación Técnica N° 77. EEA INTA Anguil. p: 264.
- RECURSOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. 2006. Los Suelos. Nivel de reconocimiento 1:500.000. Gobierno de Córdoba. Agencia Córdoba Ambiente, Área Subcoordinación Suelos e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Manfredi.
- RILLO, S. y P. RICHMOND. 2005. Evaluación de tres criterios de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, en siembra directa, en un suelo hapludol. **En:** [www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/82d620bfc4cdb289032570a4004fcb20/\\$FILE/Rillo-Criterios%20Fertiliz%20N%20en%20ma%20C3%ADz%20.pdf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/82d620bfc4cdb289032570a4004fcb20/$FILE/Rillo-Criterios%20Fertiliz%20N%20en%20ma%20C3%ADz%20.pdf). Consultado: 22/9/2008.
- RIMSKI-KORSAKOV, H.; C. ALVAREZ; M. B. RODRIGUEZ y R. LAVADO. 2005. Predicción de nitratos a cosecha de maíz en suelos de la región pampeana. **INPOFOS Informaciones Agronómicas**, 27: 14-17.
- RITCHIE, S.W. y J.J. HANWAY. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University. Special Report 48.
- SAINZ ROZAS, H., H. ECHEVERRÍA, G.A. STUDDERT y G. DOMINGUEZ. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrógeno test for no-tillage maize fertilizad at planning. **Agronomy Journal**, 92:1176-1183.
- SAINZ ROZAS, H., H. ECHEVERRÍA y P. BARBIERI. 2004. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. **Agronomy Journal**, 96:1622-1631.
- SCHARF, C.; W. WIEBOLD y J. LORY 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. **Agronomy Journal**, 92: 435-441.

- SINCLAIR, T.R. y T HORIE. 1989. Leaf Nitrogen, Photosynthesis, and Crop Radiation Use Efficiency: A Review. **Crop Sci**, 29:90-98.
- TORRES DUGGAN, M. 2002. Fertilización Nitrogenada del Cultivo de Maíz. **En:** [www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.asp](http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.asp). Consultado: 23/9/2008.
- UARTH, S. A. y F. ANDRADE. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. **Crop Sci** 35:1376-1383.