



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo”

**IMPACTO DE LA APLICACION VARIABLE DE
NITROGENO EN MAIZ A LA SIEMBRA REALIZANDO
EL AJUSTE DE DOSIS SEGUN SITIOS ESPECIFICOS**

Eduardo Cravero

DNI: 27.570.813

Director: MSc Marcos Bongiovanni

Codirector: Ing. Agr. Carlos Castillo

Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Julio / 2007

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Impacto de la aplicación variable de nitrógeno en maíz a la siembra realizando el ajuste de dosis según sitios específicos”

Autor: Eduardo Cravero
DNI: 27.570.813

Director: MSc Marcos Bongiovanni
Co-Director: Ing. Agr. Carlos Castiillo

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador: (Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

INDICE GENERAL

Resumen.....	I
Summary.....	II
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	2
Antecedentes preliminares de Manejo Sitio Específico del lote en estudio.....	5
Identificación de la variabilidad.....	5
Caracterización de ambientes.....	8
HIPOTESIS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	9
MATERIALES Y METODOS.....	10
Ubicación y caracterización ambiental.....	10
NP-Zea y prescripción.....	12
Siembra.....	15
Diseño del ensayo.....	15
Medición de la humedad del suelo.....	16
Cosecha y mapa de rendimiento.....	16
Cálculo economico.....	17
Análisis estadístico de datos.....	17
RESULTADO Y DISCUSION.....	19
Análisis ambiental.....	19
Disponibilidad de nutrientes por ambiente.....	19
Agua del suelo.....	21
Análisis de la variabilidad.....	22
Variabilidad física del rendimiento.....	23
Variabilidad económica.....	24
Influencia de las propiedades del suelo en la variabilidad.....	24
Ajuste del modelo NP-Zea.....	25
Impacto productivo y económico del manejo sitio específico de Nitrógeno.....	23
Comparación de rendimiento.....	29
Comparación económica.....	29
CONCLUSIONES.....	32
APENDICE.....	33
Anexo 1.....	33

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Plano altimétrico del lote.....</i>	5
<i>Figura 2. Imagen satelital Landsat 752, 30/03/01.....</i>	6
<i>Figura 3. Mapa rendimiento soja 2000/01.....</i>	6
<i>Figura 4. Fotografía aérea del lote, maíz 2001/02.....</i>	7
<i>Figura 5. Mapa rendimiento maíz 2001/02.....</i>	7
<i>Figura 6. Ubicación y superficie de los 4 sitios.....</i>	8
<i>Figura 7. Foto satelital de ubicación del lote en estudio.....</i>	10
<i>Figura 8. Estaciones de muestreo.....</i>	12
<i>Figura 9. Modelo NP-Zea.....</i>	14
<i>Figura 10. Agrometal TX Mega Inteligente.....</i>	15

INDICE DE GRAFICOS

<i>Gráfico 1. Precipitaciones decádicas campaña 2003/04 u promedio (1974-93).....</i>	11
<i>Gráfico 2: Contenido de materia orgánica de 0 a 40 cm (%).....</i>	19
<i>Gráfico 3: Contenido de N- NO₃⁻ de 0 a 40 cm (Kg/Ha).....</i>	20
<i>Gráfico 4: Contenido de fósforo de 0 a 20 cm (ppm).....</i>	21
<i>Grafico 5: Agua disponible del suelo en agosto, R1, grano lechoso, punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo expresado en lámina (mm/m).....</i>	21
<i>Grafico 6: Comparación de valores relativos de sitios entre Rendimiento DF, AD del suelo en agosto calculada como (lámina hasta 1 mts), AD del suelo en R1 calc. como (lámina hasta 1 mts), N-NO₃⁻ calc. como (Kg de 0-40 cm), Fósforo calc. como (ppm de 0-20 cm), MO calc. como (% promedio de 0-40).....</i>	24
<i>Gráfico 7: Rendimiento de dosis variable de N versus Rto. estimado por sitio</i>	25
<i>Grafico 8: Rendimiento de dosis fija y dosis variable de N por sitio.....</i>	29

INTRODUCCION

La Región Pampeana es la principal productora de granos del país. La misma se caracteriza por expresar en sus suelos cultivados una *deficiencia de nitrógeno*, principal nutriente requerido en sistemas de alta producción (García, 2002a).

Esta deficiencia en el suelo, provoca en plantas de maíz, clorosis en hojas jóvenes y severas reducciones en el crecimiento de cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reduce la captación de radiación fotosintéticamente activa (Menguel and Kirkby, 2000). En síntesis, las deficiencias de nitrógeno reducen el número de granos y el peso de los mismos a través de la merma en la materia seca total y su índice de cosecha, provocando como consecuencia una disminución en los rendimientos (Uhart, 1995).

Por otro lado, debido a los altos requerimientos de este nutriente, 22 kg/tn (García, 2002a), la fertilización nitrogenada de maíz es señalada según Satorre (2001) como uno de los componentes tecnológicos claves en el planteo de dicho cultivo.

En este sentido, Bianchini (2003) remarca que la tendencia de la fertilización es de realizarla en áreas donde sea necesario haciendo énfasis en los ajustes de dosis por sitio. El gran desafío entonces es identificar áreas con potencialidades diferentes dentro del lote, aplicar la cantidad de fertilizante necesaria y optimizar de esa forma el *beneficio económico* del cultivo frente a planteos agrícolas menos eficientes.

En otro sentido, la fertilización nitrogenada si es mal diagnosticada puede traer aparejado *problemas ecológicos* tanto por sus excesos como por sus defectos. Cuando se aplica en exceso existe la posibilidad de que si se reúnen ciertas condiciones, se produzca contaminación de napas freáticas cercanas a la superficie (Cancino *et al.*, 2004). En caso que la aplicación sea menor a la extracción, se generan balances negativos dando como resultado pérdidas significativas de nutrientes en el suelo (Andriulo *et al.*, 1996), que en el caso de la región pampeana, la reposición de este nutriente representa un 29%. (García, 2001).

Por motivos como estos, surge un nuevo concepto que es el de aplicación variable de nitrógeno realizando ajustes de dosis para cada sitio específico mediante una tecnología en expansión denominada “Agricultura de Precisión”.

ANTECEDENTES

Manejo Sitio Específico de los Cultivos (MSE) consiste en tratar áreas menores dentro de lotes de manera distinta a la que se manejaría el lote entero. El MSE identifica variabilidad dentro de un lote tratando esa variabilidad en escala menor que en las prácticas normales. Incluye recolectar, interpretar y manejar gran cantidad de datos agronómicos con o sin ayuda de la electrónica para ajustar y mejorar la eficiencia productiva de los cultivos (Bragachini *et al.*, 2006a).

Agricultura de Precisión (AdP) consiste en automatizar el MSE de los Cultivos, usando computadoras, sensores y otros equipos electrónicos. (Bragachini, 2000a).

El área de mayor desarrollo dentro de la Agricultura de Precisión es el manejo de nutrientes sitio específico (MNSE) también llamado tecnología de dosis variable (TDV) y corresponde a la aplicación variable de fertilizantes de acuerdo al nivel de fertilidad de cada sector de manejo homogéneo dentro del lote (Bragachini *et al.*, 2000b).

Analizando la historia del manejo sitio específico, nuestros antepasados por medio de alambrados y caminos dentro de su campo, ya definían ambientes productivos con una precisión casi perfecta y los cuales eran destinados a distintos manejos (Bragachini *et.*, 2006b).

El MNSE es una vieja idea; ya en los EEUU las primeras recomendaciones de extensión sobre muestreo intensivo de suelos y Dosis Variable (DV) de fertilizante aparecieron en 1929 (Bongiovanni and Lowenberg-Deboer, 2000).

En el año 1983 en Estados Unidos, en la Universidad de Purdue se comienza a mencionar la posibilidad concreta de producir granos en forma extensiva manejando sitios dentro de un mismo lote y en donde los límites pasaban a ser virtuales. Esto fue gracias a la introducción de Sistemas de Geoposicionamiento Global (GPS) y de otros aparatos tecnológicos dando origen a la Agricultura de precisión. En el año 1992 se lanzó comercialmente el primer monitor de rendimiento en EEUU, mientras que en Argentina, la AdP comenzó durante el año 1995 de la mano del INTA Manfredi, año en que se realizó el primer mapa de rendimiento de un lote de Maíz (Bragachini *et al.*, 2006b).

La condición que lleva a la adopción de la agricultura de precisión, y a la aplicación variable en particular, es la variabilidad espacial (Bragachini *et al.*, 2000c) y es por ello, que debe tenerse en cuenta que el manejo sitio específico es un proceso que comprende tres etapas:

- identificación de la variabilidad.
- caracterización de ambientes.
- ajuste de dosis óptimas de los insumos según los sitios (prescripción) (Roberts, 2000).

Identificación de la variabilidad: La variabilidad que existe dentro de un lote se puede resumir en tres clases: (1) *natural*, tales como tipo de suelo y topografía; (2) *aleatoria*, como las precipitaciones; y (3) *de manejo*, como la aplicación de fertilizantes y la densidad de siembra (Bongiovanni, 2003).

La variabilidad natural incluye (a) variabilidad de suelos, (b) variabilidad biológica, y (c) variabilidad en los procesos dinámicos del suelo (Hatfield, 2000).

1.a) El suelo puede variar espacialmente en la capacidad de retención de agua, contenido de materia orgánica, y en otras características físicas y químicas de acuerdo a la posición en el paisaje.

1.b) La variabilidad biológica dentro de los lotes es tan grande como la variabilidad de suelos, incluyendo la variabilidad en la población de microorganismos del suelo, población de malezas, población de insectos, ocurrencia de enfermedades, crecimiento del cultivo y por último pero no menos importante: *el rendimiento*, que es la variable-diagnóstico que permite a los productores darse cuenta del resultado de toda la variabilidad biológica ocurrida durante el ciclo del cultivo (Bongiovanni, 2003).

1.c) La variabilidad en los procesos dinámicos del suelo se puede entender mirando, por ejemplo, a la dinámica del Nitrógeno (N): el N en el suelo representa el balance existente entre un número de procesos, tales como la mineralización, inmovilización, desnitrificación, volatilización, nitrificación, adsorción, absorción por los cultivos, y percolación (Bongiovanni, 2003).

A los fines del manejo sitio específico la variabilidad debe poseer magnitud, superficie y repetitividad suficiente como para justificar una aplicación diferencial de insumos.

Por magnitud se entiende que las diferencias de rendimiento de los sitios dentro de los lotes sea lo suficientemente importante como para determinar un ajuste de dosis por sitio. Cada sitio de rendimiento diferente debe también poseer una superficie lo suficientemente grande como para amortizar una aplicación de insumos sitio específico. La repetitividad de la variabilidad es la constancia a través del tiempo de la misma, la cual se identifica claramente a partir de mapas de rendimiento e imágenes satelitales de diferentes campañas de un mismo lote (O'donnell y Von Martini, 2002).

Caracterización de ambientes: Una vez identificados y delimitados los sitios de diferente potencial de rendimiento, se debe buscar la causa principal o causas que interaccionan para determinar la variabilidad del rendimiento. Existen varias metodologías para llevar a cabo la caracterización de ambientes entre las cuales podemos mencionar, muestreos en grilla, dirigidos, mapas topográficos y otros tipos de informaciones georreferenciadas (Thomas and Halvorson, 1996). Existe una gran complementariedad entre la información de calidad y la

agricultura de precisión, concluyendo que para un buen MSE se necesitan maquinas precisas pero más aún, información precisa (Bullock and Bullock, 2000).

Ajuste de dosis óptimas de los insumos según los sitios (prescripción): Cuando se habla de aplicación de insumos lo más frecuente es hablar de fertilizantes. En general, los métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada pretenden predecir la probabilidad de respuesta a partir de la disponibilidad de N en suelo y/o en planta y el requerimiento previsto para un determinado nivel de rendimiento (García, 2002b). Los métodos de diagnóstico desarrollados son los siguientes:

- *Balance de nitrógeno.*
- *Disponibilidad de N-nitratos ($N-NO_3$) en pre-siembra.*
- *Análisis de $N-NO_3$ en suelo al estado de 5-6 hojas desarrolladas.*
- *Concentración de $N-NO_3$ en la base de tallos (V6 o estadios avanzados).*
- *Medición del índice de verdor de las hojas utilizando el Minolta SPAD 502 especialmente en estadios avanzados.*
- *Análisis de planta entera V_3-V_4 .*
- *Uso de sensores remotos (N-Sensor, mide reflectancia de la canopia en forma pasiva (García, 2000) y Green Seeker que mide en forma activa (Melchiori y Bianchini, 2005)).*
- *Modelos de simulación de crecimiento, desarrollo y rendimiento (García, 2000).*

Los modelos de simulación son herramientas que intentan reproducir el comportamiento de los cultivos en función de las condiciones del ambiente y del manejo (Satorre, 2001).

Son muy pocos los modelos de fertilización que consideran a las variables climáticas para realizar los diagnósticos de fertilización y muchos los investigadores que plantean la importancia de la interacción del ambiente con la respuesta a la fertilización (Salvagiotti *et al.*, 2002; Sainz Rozas *et al.*, 2000). En tal sentido los modelos que reúnen estos requisitos y que se utilizan en la zona son: CERES Maize y NP-Zea.

El modelo *CERES Maize* muestra un buen comportamiento en la descripción de los rendimientos en un rango amplio de agua y nitrógeno (Satorre, 2001).

El *NP-Zea* fue desarrollado por la Cátedra de Cereales de la UNRC y ha mostrado un gran ajuste en las decisiones de fertilización con la ventaja de que son pocos los datos de entrada requeridos por el programa (Esposito *et al.*, 2006). Coincidiendo con Wallach *et al.* (2001), indicaron que es deseable que los modelos empleen el menor número de parámetros posibles para disminuir los términos de error y facilitar su empleo en la toma de decisiones.

El potencial de la AdP de precisión es reducir los costos en la producción de granos, aumentar la productividad y hacer un uso más eficiente de insumos. En un sentido más

amplio, permite administrar los insumos en tiempo y espacio, optimizar la logística de las operaciones a campo, etc. Este tipo de tecnología también tiene importantes beneficios sobre la sustentabilidad de la agricultura reduciendo el uso de insumos (Bongiovanni, 2004).

Haciendo una revisión bibliográfica, Lowenberg-DeBoer (2000) encontraron que los análisis de rentabilidad de la AdP en los Estados Unidos reportaba resultados positivos para implementación de esta tecnología en un 63% de los casos, negativos en un 11% y mixtos en un 26 %.

El INTA Manfredi cuenta con varios ensayos publicados en su página Web que demuestran que la técnica puede ser rentable tanto en Maíz como en Soja, variando la densidad y la dosis del fertilizante en Maíz según ambientes en lotes de una amplia y conocida variabilidad (Bragachini *et al*, 2006b).

ANTECEDENTES PRELIMINARES DE MANEJO SITIO ESPECIFICO DEL LOTE EN ESTUDIO

En el caso particular del lote se viene trabajando desde el año 2000 con AdP y propone un buen antecedente para el presente trabajo.

Para el estudio de la variabilidad del lote se utilizó la metodología propuesta por Roberts (2000):

Identificación de la variabilidad: El lote presenta una gran variabilidad topográfica, como la gran mayoría de los campos de la zona del departamento de Río Cuarto, según se observa en el plano altimétrico (figura 1).

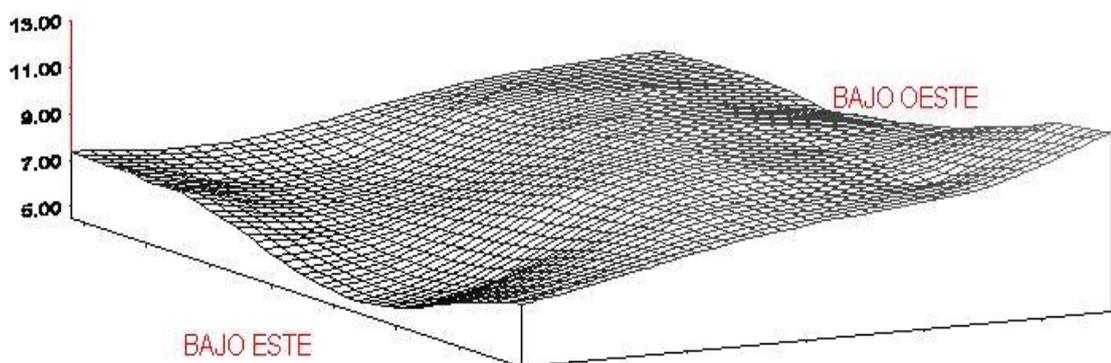


Figura 1. Plano altimétrico del lote

En el ciclo 2000/2001 se implantó un cultivo de soja, y en estados fenológicos avanzados se obtuvo una imagen satelital (Figura 2). Esta fue una herramienta útil para definir la

variabilidad en el lote destacándose dos bajos bien definidos con colores oscuros que representan mayor desarrollo y por lo tanto mayor potencial de rendimiento.



Figura 2. Imagen satelital Landsat 752, 30/03/01

Coincidiendo con la imagen y observando un mapa de rendimiento de soja del año 2000/2001 (Figura 3), que si bien no se logró mapear el lote completo, se identificó una relación entre el rendimiento, desarrollo y la topografía, obteniendo mayor rendimiento y desarrollo en los bajos y menor rendimiento en la loma y media loma (O'Donnell y Von Martini, 2002).

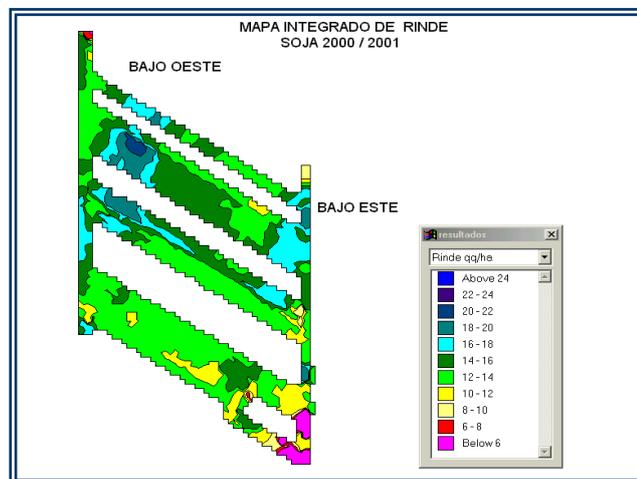


Figura 3. Mapa rendimiento soja 2000/01

En el ciclo 2001/02 se implantó un maíz, observándose durante su desarrollo una marcada diferencia de crecimiento entre los diferentes sitios o ambientes. Estas diferencias se fueron acentuando a medida que el cultivo avanzaba en su estado fenológico como se puede observar en la fotografía aérea del maíz (Figura 4). Las zonas oscuras, bajos, presentaron

mayor desarrollo del área foliar y las zonas más claras, Media Loma y Loma, indicaron nuevamente un menor desarrollo (O'Donell y Von Martini, 2002).

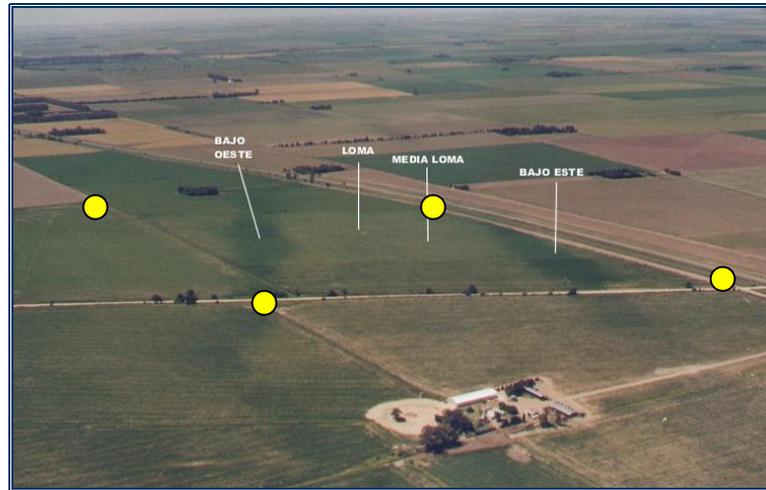


Figura 4. Fotografía aérea del lote, maíz 2001/02

En el 2002 se trilló el lote (Figura 5) y fue una herramienta más a la hora de corroborar la repetitividad de la variabilidad en el tiempo y espacio pudiéndose identificar cuatro sitios (O'Donell y Von Martini, 2002).

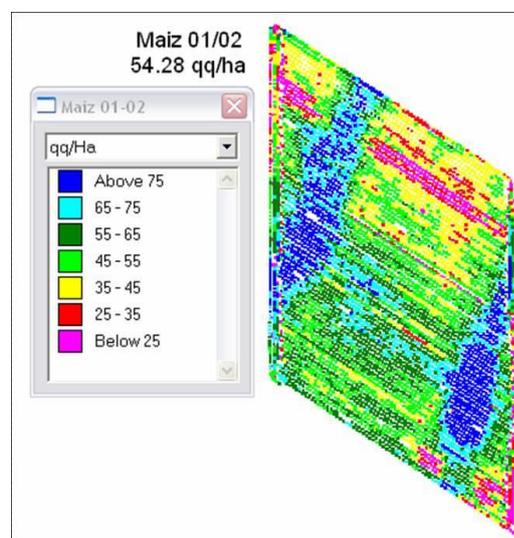


Figura 5. Mapa rendimiento maíz 2001/02

La variabilidad observada en el lote, tiene una *magnitud* considerable, ya que las diferencias de rendimiento observadas en los mapas de soja y maíz fueron importantes. La *superficie* de cada ambiente es lo suficientemente grande y se *repite* en el tiempo, ya que las diferencias en el desarrollo de soja en la imagen satelital 2000/01 coinciden con la producción del mapa de

rendimiento 00/01, foto aérea maíz 2001/02 y el mapa de rendimiento 01/02. De esta forma cumplimos con los tres requisitos básicos de la variabilidad para intentar realizar un manejo de sitio específico: magnitud, superficie y repetitividad.

A raíz de esto se delimitaron cuatro sitios con diferente potencial de rendimiento dentro del lote (O'Donell y Von Martini, 2002).

Bajo Este (BE): 3,03 has.

Media Loma (ML): 11,49 has.

Loma (L): 7,39 has

Bajo Oeste (BO): 4,32 has.

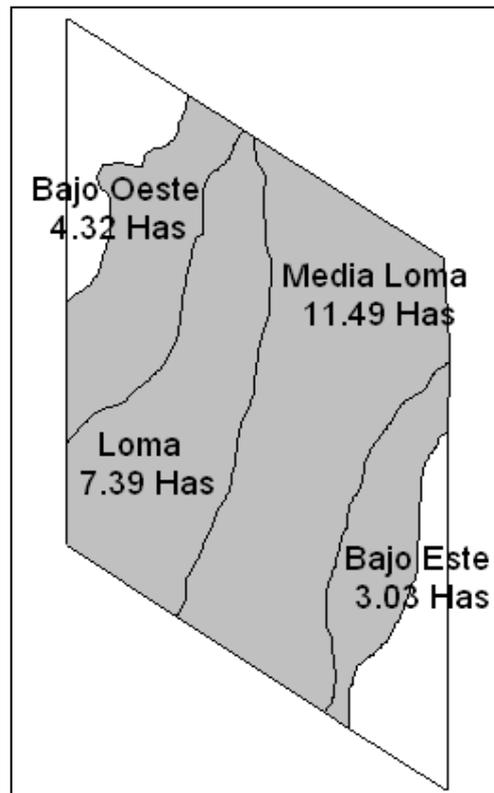


Figura 6. Ubicación y superficie de los 4 sitios

Caracterización de ambientes: En la primavera de 2001, una vez identificados y delimitados los sitios, se realizó un muestreo dirigido de suelos. Las profundidades de muestreo fueron 0–20 cm, 20–40 cm y para determinar agua útil se muestreo hasta un metro de profundidad (Ver anexo 1).

Con los datos de suelo se caracterizaron los cuatro sitios pero principalmente se destacó una gran diferencia entre los sectores más bajos (BO y BE) y los sectores más altos (L y ML) en donde los primeros tenían mayor contenido de materia orgánica, nitratos, fósforo y agua útil (O'Donell y Von Martini, 2002).

HIPOTESIS

- Existe variabilidad espacial en el lote en estudio.
- Existe ajuste del NP-Zea para realizar prescripciones sitio específicas con datos de humedad y disponibilidad de nutrientes previos a la siembra.
- Existe diferencia económica entre tratamientos que indicarían la conveniencia de realizar ajuste de dosis por sitios.

OBJETIVOS GENERALES

- Determinar la variabilidad espacial del lote.
- Evaluar el ajuste del modelo NP-Zea para realizar prescripciones de fertilización a la siembra con datos previos a la misma.
- Evaluar el impacto productivo y económico de la fertilización nitrogenada en maíz utilizando manejo sitio específico de nutrientes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recaracterizar los ambientes mediante muestreos de suelo para su posterior comparación con los rendimientos.
- Determinar el contenido de humedad del suelo para los diferentes ambientes en etapas claves de definición de los componentes de rendimiento del cultivo.
- Determinar variabilidad de los ambientes a través del rendimiento como variable diagnóstico y compararla con la variabilidad ambiental.
- Comparar el rendimiento esperado por el NP-Zea con rendimiento real resultante de la dosis variable en cada ambiente.
- Determinar diferencias físicas en rendimiento y beneficio económico de aplicar dosis variable en comparación con la dosis fija en todos los sitios y en el lote.

MATERIALES Y METODOS

UBICACIÓN Y CARACTERIZACION AMBIENTAL

Ubicación:

El lote de 32,002 has (figura 7) se encuentra en la intersección entre la ruta nacional 36 y la ruta provincial 4 camino a Alpa Corral, departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Argentina. Las coordenadas del lote son:

Esquinero SE: 32° 58,968` S
 64° 21,218` w

Esquinero SO: 32°58,802` S
 64°21,524` w

Esquinero NO: 32°58,443` S
 64°21,520` w

Esquinero NE: 32°58,608` S
 64°21,214` w

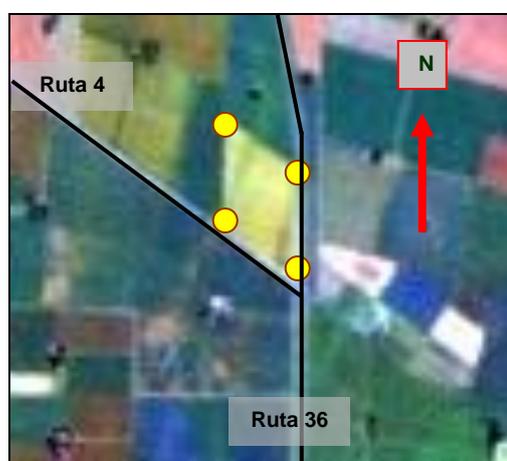


Figura 7. Foto satelital de ubicación del lote en estudio

Caracterización ambiental:

La región posee un clima subhúmedo con estación seca y régimen térmico mesotermal. Para el período 1974-1993 de la misma, la temperatura media del mes más cálido, enero, es de 23 °C y la del mes mas frío, julio (9,1 °C). La fecha media de la primer helada se registra el 25 de mayo, mientras que la fecha media de la última helada se registra el 12 de Septiembre dando un período libre de heladas de 256 días (Seiler *et al.*, 1995).

El régimen pluviométrico es monzónico con un promedio anual de 801,1 mm de los cuales en el semestre que va desde octubre a marzo llueve el 82% del total (Seiler *et al.*, 1995).

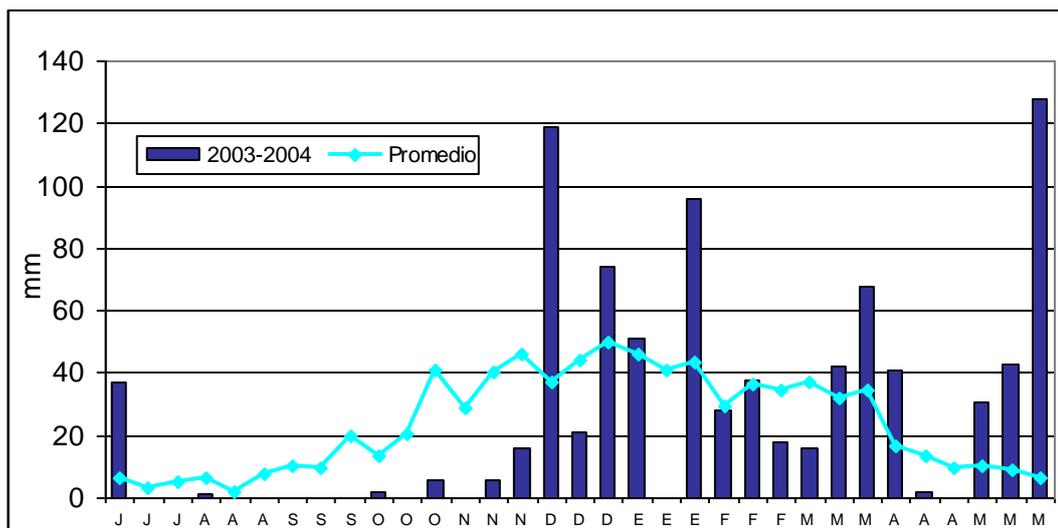


Gráfico 1. Precipitaciones decádicas campaña 2003/04 y promedio (1974-93)

La campaña 2003-2004 se caracterizó por una sequía intensa entre los meses de julio a diciembre en donde las precipitaciones sumaron 89 mm; 190 mm menos que la media. Esto trajo como consecuencia de que a nivel regional la siembra no se iniciara hasta el mes de diciembre. A partir de este mes el panorama climático se revirtió; se inicio la siembra y durante el período de cultivo las precipitaciones fueron mayores a la media registrándose desde diciembre hasta mayo una diferencia de 287 mm.

Esta región presenta un relieve suavemente ondulado, con pendientes hacia el este del orden del 0,5-1%. Los suelos corresponden al Gran Grupo de los Haplustoles énticos y típicos, de texturas franco arenosas, con buenas características de drenaje y profundidad (Cantero *et al.*, 1986). La napa freática está muy profunda, disminuyendo su profundidad hacia el este de la región pero sin afectar a los cultivos en el perfil de suelo explorado por sus raíces (INTA Mamfredi, 2003). A nivel de lote como se describió anteriormente, existe una gran variabilidad topográfica definiéndose cuatro zonas o sitios bien diferenciados: BE, ML, L y BO.

Para la recaracterización ambiental de cada uno de los sitios se tomaron las muestras de suelo en agosto de 2003. El sistema de muestreo utilizado fue el estratificado al azar, que consiste en recolectar las muestras en cada sub-área, sitio o ambiente identificado dentro de un lote o superficie establecida. La ventaja del método es la de permitir al investigador caracterizar cada sub-área y mejorar la estimación frente a la de un muestreo en la totalidad del área. La desventaja es acrecentar las labores para el muestreo y, por otro lado, los costos analíticos (Thomas y Halvorson, 1996).

El número de muestras a tomar en cada sub-área depende del objetivo de muestreo, de las diferencias detectables esperadas y de la homogeneidad y/o heterogeneidad del área (Díaz-Zorita y Melgar, 1997).

En este caso, se establecieron en forma anticipada 25 estaciones de muestreo por elección y georreferenciación de puntos conocidos espacialmente (■) de las cuales se utilizaron para el trabajo según los sitios analizados 16 estaciones. El criterio se basó en el conocimiento de la existencia de variabilidad topográfica y productiva en cada sitio del lote, de manera de dirigirse a cada lugar, mediante el uso de un GPS, y poder tomar muestras compuestas en cada una de las estaciones de muestreo (figura 8). Comúnmente llaman a esta técnica “muestreo dirigido de suelos”, pero básicamente es un muestreo estratificado con la salvedad de dirigirse a estaciones o puntos de muestreo preestablecidos.

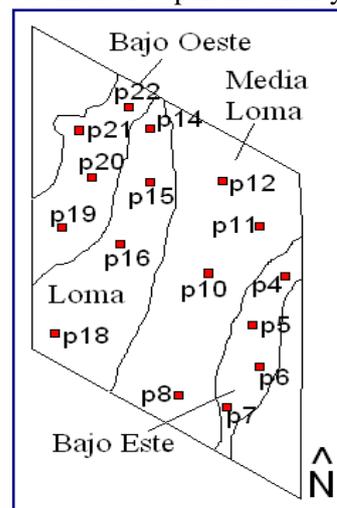


Figura 8. Estaciones de muestreo

De cada muestra por estación de muestreo se determinó, materia orgánica (MO), nitrógeno de nitrato ($N-NO_3^-$) fósforo, pH y densidad aparente (Dap). La MO se evaluó por el método de Walkley-Black (Nelson y Sommer, 1982). La determinación del ($N-NO_3^-$) se realizó mediante reducción por Cd. (Keeney y Nelson, 1982) y el fósforo por el método Bray and Kurtz I (Olsen y Sommer, 1982). El valor del pH se midió por potenciometría en suspensión acuosa 1:2,5 (Mc. Lean, 1998). La Dap se determinó por el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Para determinar el contenido hídrico de cada muestra, se pesó en húmedo, se secó en estufa y luego se pesó en seco. Con estos datos se obtuvo el contenido gravimétrico de humedad (% gr/gr); que junto a los datos de Dap y espesor en profundidad de la muestra se determinó la lámina de agua total.

NP-ZEA Y PRESCRIPCION

NP-Zea

El NP-Zea es un programa desarrollado en la Universidad Nacional de Río Cuarto para el cálculo de dosis de Nitrógeno y Fósforo en maíz. El mismo se basa en datos de químicos y físicos de suelo, económicos. Los datos requeridos son:

Dap: expresado en Tn/m^3 a las profundidades de 0-20 cm. y 20-40 cm.

Materia orgánica: expresado en % de 0-20 cm. y 20-40 cm.

Fósforo disponible: expresado en ppm de $P-PO_4$ de 0-20 cm.

Nitratos (NO_3): expresado en ppm de 0-20 cm. y 20-40 cm en estado fenológico V_6-V_8 , “nunca antes de V_5 ”.

Agua disponible: expresada en mm de lámina y calculada como la diferencia entre la lámina total de agua y la lámina a 15 bares de succión en estado fenológico V_6 - V_8 , “*nunca antes de V_5* ”.

Precipitaciones: expresadas en mm diarios previos a la siembra y hasta el momento de refertilización para poder determinar el balance hídrico.

Otros datos son la fecha de siembra, fecha de refertilización, rendimiento esperado (Kg), precio del maíz, urea (fuente comercial de Nitrógeno) y Fosfato Di Amónico (FDA) expresados en la misma unidad y por último la rentabilidad mínima requerida para realizar la aplicación (Gesumaría *et al.*, 2002).

Con los datos de Agua Disponible (AD) y Balance Hídrico (BH) previo a la refertilización medido como diferencia entre precipitaciones y evapotranspiración para el período comprendido entre 30 días previos a la siembra hasta 6^{ta} hoja, el NP-Zea determina el rendimiento potencial.

$$\text{Rendimiento potencial} = 3428.09 + 45.95 * \text{AD} + 14.18 * \text{BH}$$

Es de destacar que el ajuste (R^2) de la ecuación de rendimiento potencial fue de 0,805.

Una vez establecido el rendimiento potencial, y sabiendo que el cultivo necesita 22 Kg. de Nitrogeno (N) para producir una Tonelada de grano, el modelo calcula los requerimientos de N.

Por otro lado calcula el aporte por mineralización de la materia orgánica con los datos de suelo y le suma el aporte por N-NO_3^- ya disponibles en V_6 . De la diferencia entre estos dos aportes y los requerimientos de N del cultivo el modelo recomienda la dosis de Urea a aplicar.

-Si el N del suelo en V_6 más el mineralizable durante la etapa de cultivo es mayor o igual a las necesidades de Nitrógeno el modelo recomienda: *No refertilizar*

-Si debido a las condiciones hídricas del suelo sumado a las condiciones económicas y rentabilidad mínima requerida, el modelo determina que no hay respuesta económica, se recomienda: *No refertilizar. Por Baja Rentabilidad.*

-Cuando el rendimiento esperado es menor al potencial, el programa indica la dosis de Urea a aplicar para ese rendimiento esperado y no para el potencial.

-Cuando el rendimiento esperado es mayor al potencial, el programa: *limita por agua* (rend. potencial) e indica la dosis de Urea a aplicar.

Los otros datos de salida del programa cuando la recomendación es la de fertilizar son *rendimiento potencial, dosis de FDA y Dosis de Urea* En su etapa de calibración y validación se encontraron ajustes (R^2) aceptables con índices de coincidencia D entre los valores observados y simulados de 91.75 % para el rendimiento del cultivo (Esposito *et al.*,

2006). Por otro lado 72 lotes de producción comercial se comprobó un índice de coincidencia D del orden de 72,5 % entre los rendimientos simulados y los observados.

Todos estos datos permiten concluir que el modelo es una herramienta de buen ajuste en siembra directa de maíz y para el centro sur de Córdoba (Gesumaría *et al.*, 2002), zona donde se ubicó el lote objeto del trabajo final.

Espósito en una comunicación personal comentó que algunos productores de la zona utilizaban el programa con datos de NO_3^- y agua disponible previos a la siembra y no en V_6 - V_8 como lo indica claramente el Manual del NP-Zea. Además aclaró que lo hacían por **cuestiones operativas** de programar la fertilización a la siembra, sabiendo de antemano lo que indicaba el manual. Según Camozzi y Melgar (2000) es común en planteos de siembra grandes superficies, con logística ajustada, escasez de tiempo y/o horas de maquinaria de siembra disponible, realizar las aplicaciones de todo el N a la siembra, o antes de ésta.

Sumado a esto no se disponía de una refertilizadora variable para el ensayo siendo que en el país solo había cuatro para el año en cuestión (Bragachini, 2005), pero si se contaba con una sembradora con dosis variable de fertilizantes.

Por estos motivos, para el cálculo de dosis por sitio se planteó la utilización de datos previos a la siembra (agosto) y no específicamente como lo indica el NP-Zea en donde algunos datos deben ser tomados en V_6 - V_8 . Con este modelo se determinaron las dosis óptimas para maximizar el rendimiento en cada sitio con una rentabilidad mínima objetivo (Dosis Variable) las cuales fueron comparadas con un tratamiento de Dosis Fija de 100 Kg. de urea para los 4 sitios por igual y que se consideraría como testigo ya que es poco común que en la zona no se fertilice con N al maíz.

Los datos de salida del NP-Zea se describen a continuación:

Fecha de siembra: 25/09/2003
Fecha de refertilización: 15/11/2003
Precio del maíz: 0,2204 \$/Kg.
Precio de la urea: 0,8105 \$/Kg.
Precio del Fosfato di Amónico: 0,754 \$/Kg.
Rentabilidad mínima: 10%
Precipitaciones promedio: octubre (75mm).
noviembre (115mm).



Figura 9. Modelo NP-Zea

Tabla 1. Salida NP-Zea: Dosis de urea de prescripción y rendimiento potencial para cada sitio

	DOSIS UREA	RTO. ESPERADO	OBSERVACIONES
Bajo Este	44	8549	Limitado por agua
Media Loma	175	6987	Limitado por agua
Loma	145	7161	Limitado por agua
Bajo Oeste	61	7975	Limitado por agua

SIEMBRA

Con el retraso de las lluvias primaverales (gráfico 1), se postergó la fecha de siembra. La misma estaba programada para realizarse el 25 de septiembre, como es habitual en la zona pero se terminó efectuando el 5 y 6 de diciembre.

Para dicha siembra se utilizó un híbrido Pioneer 32G63, Maíz Gard (MG) con una densidad de 70.000 semillas/Ha.

Dicha siembra se realizó con la sembradora “Agrometal TX Mega Inteligente” del INTA con dosificador neumático a succión y tren de doble fertilización de 12 cuerpos distanciados a 52,5 cm. La máquina tiene la particularidad de poder variar las dosis de fertilización, en este caso urea, según cada sitio.



Figura 10. Agrometal TX Mega Inteligente

Para su funcionamiento, se prescribió en el programa Farm works, indicando las dosis determinadas anteriormente con el NP-Zea para cada sitio y se guardaron en una tarjeta PCMCIA. Esta tarjeta fue ingresada al PF 3000 que lee la prescripción y al estar comunicado con un GPS, ordena al Accu Rate que cambie la dosificación al atravesar por los distintos sitios del lote. Este cambio de dosis es posible de realizar gracias a un motor Rawson, el cual varía el número absoluto de vueltas (Bragachini *et al.*, 2000d).

DISEÑO DEL ENSAYO

El diseño del ensayo se realizó en bloques de 12,6 metros de ancho (12 surcos a 52,5 cm para cada tratamiento) por toda la extensión del lote de este a oeste de largo, comprendiendo

de esta forma los cuatros sitios. Los bloques fueron completos con tres repeticiones que incluyen dosis variables (DV) y dosis fija (DF) de 100 Kg. de Urea.

La dosis de FDA (100 Kg/ha), al igual que la densidad de siembra (70.000 sem/ha), fueron fijas para eliminar su efecto sobre los tratamientos.

MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Con el cultivo en floración (16 de febrero) y grano lechoso (10 de marzo), se realizaron muestreos de suelo a fin de determinar su contenido hídrico. Las muestras fueron tomadas hasta el metro de profundidad separadas en estratos de 20 cm y se repitieron para cada sitio identificado en el lote.

Cada muestra, se pesó en húmedo, se secó en estufa y luego se pesó en seco calculando con estos datos el contenido gravimétrico de humedad (% gr/gr). Para expresar estos resultados en lámina de agua total (mm), se lo multiplicó por la Dap y espesor en profundidad de perfil expresado en decímetros.

Por otro lado para obtener la lámina de almacenaje de agua útil, se determinó la capacidad de campo para cada sitio. Para ello se saturaron las muestras y se las sometieron a una presión de 0,3 y 15 bares utilizando ollas de presión la cual determina el potencial equivalente a un contenido hídrico del suelo en capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) respectivamente (Klute, 1986). Con el almacenaje a capacidad de campo (CC) menos el almacenaje a PMP, se estableció el agua útil para la planta en el metro de profundidad para cada sitio expresada en mm (Duchaufour, 1975).

COSECHA Y MAPA DE RENDIMIENTO

El día 12 y 13 de Junio se cosechó el ensayo. La cosechadora utilizada fue la Don Roque 150 con cabezal maicero Maizco de 13 surcos a 52,5 cm, equipada con monitor de rendimiento AgLeader modelo YM 2000, GPS y receptor DGPS Trimble con sistema de corrección diferencial Beacon. Al tener 13 surcos la cosechadora, se ocuparon solo 12 surcos de esta y se corrigió en el monitor de rendimiento anulando 1 surco para que coincidiera con el número de surcos del ensayo.

Para obtener el mapa de rendimiento, y por ende procesar los datos, se utilizó el software Farm Works versión 6.05.

CALCULO ECONOMICO

Margen Bruto (MB): es una metodología de análisis económico en donde al ingreso dado por el rendimiento del cultivo y su precio, se le restan todos los costos directos que haya tenido el cultivo. De esta forma se obtendrán MB para cada sitio y para cada tratamiento pudiendo así compararlos entre ellos.

Beneficio Marginal (BM) o presupuestación parcial: es la metodología más utilizada para el análisis económico en agricultura de precisión. Este método en vez de sacar dos márgenes brutos distintos y luego compararlos, utiliza solo los ingresos y los costos que cambian cuando se aplican nuevas prácticas de producción.

Beneficio Marginal = cambio en los ingresos – cambio en los costos

Cambio en los ingresos: Rendimiento, calidad diferenciada con precio diferencial, etc.

Cambio en los costos: Fertilización, imágenes satelitales, fotos aéreas, mapas de rendimiento, planos altimétricos, muestreo dirigido y análisis de suelo, seguimiento de cultivo, software para análisis de datos y recomendaciones, costo oportunidad de tiempo insumido en capacitación, costo de cursos, costo adicional de aplicación variable, variación en las hectáreas cosechadas, etc (Bongiovanni, 2004).

En numerosos artículos de agricultura de precisión escritos por el INTA Manfredi, entre otros, al igual que trabajos presentados en el “5^{to} y 6^{to} curso de AdP” (Bragachini *et al.*, 2004; INTA Manfredi, 2006), los análisis económicos excluyen algunos datos principalmente de los costos. Calculan el Beneficio Marginal solo con el cambio de ingreso por rendimiento y el cambio de egreso por el costo del fertilizante y se expresa el resultado en Pesos (\$) y/o su equivalente en Dólares Estadounidenses (U\$). Los datos de precio de maíz y urea utilizados para su cálculo fueron de 0,2204 y 0,81055 (\$/Kg) respectivamente, mientras que el tipo de cambio utilizado fue de 2,9 \$/U\$.

ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS

Para la recaracterización de ambientes, el análisis estadístico por sitios para comparar MO, P y N se realizó mediante un ANOVA simple con un diseño completamente aleatorizado.

Para el estudio del rendimiento estimado por el modelo y para el rendimiento y margen bruto resultante de la dosis fija y dosis variable se realizó un ANOVA simple con un diseño en bloques completos.

Los datos fueron analizados mediante Análisis de varianza y cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleo el Test de Separación de Medias LSD con un nivel de probabilidad de 0,05 (Sokal and Rohlf, 1981).

Estos análisis se realizaron con la ayuda del software estadístico InfoStat versión 1.1 profesional (Infostat, 2001).

RESULTADO Y DISCUSION.

- **ANALISIS AMBIENTAL**

Disponibilidad de nutrientes por ambientes

Trabajos realizados en terrenos ondulados demuestran una gran correlación entre posición topográfica y disponibilidad de ciertos nutrientes. Los bajos por aporte de escurrimiento desde las zonas más altas, reciben mayor precipitación efectiva lo que resulta en una mayor meteorización y desarrollo de perfil. Este escurrimiento a su vez provoca erosión en mayor o menor medida y por lo tanto una redistribución de nutrientes y partícula finas de suelo hacia las depresiones (Roberts, 2000). Cuanto mayor es el gradiente de las pendientes, mayor es el escurrimiento y mayor la posibilidad de erosión de las zonas más altas. Por lo tanto, a igualdad de condiciones climáticas y de material originario el relieve va a determinar zonas normales, zonas subdesarrolladas y zonas hiperdesarrolladas que son Loma (L), Media Loma (ML) y Bajo (B) respectivamente (Conti, 2000). Para el caso en particular del lote, existe variabilidad topográfica y de suelos tal cual fue citado por O'Donnell y Von Martini (2002). En el presente trabajo, como resultado de la recaracterización ambiental del lote en estudio mediante análisis de suelo se desprendieron los siguientes resultados (anexo 2):

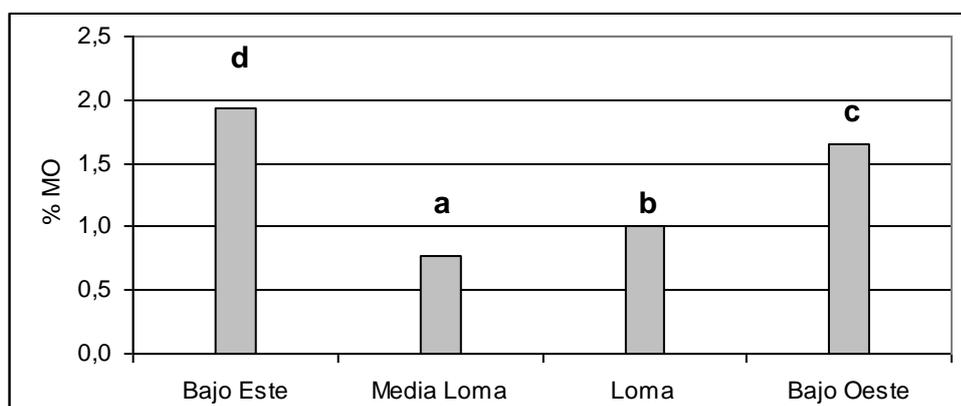


Gráfico 2: Contenido de materia orgánica promedio de 0 a 40 cm (%)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)
LSD Fisher Alfa: $= 0,05$

El análisis de la *materia orgánica (MO) (%)* arrojó diferencias estadísticamente significativas en los cuatro sitios (gráfico 2). En orden creciente se pudo establecer Media Loma (ML), Loma (L), Bajo Oeste, (BO) y Bajo Este (BE) y los valores medidos fueron de 0,78; 1; 1,66 y 1,93 % M.O. respectivamente. Al comparar el sitio de mayor contenido (BE)

con el de menor contenido (ML), se estableció que para el primer sitio, el promedio de *MO* fuera un 150% superior a este último. Esta diferencia entre sitios se debe principalmente a que como fuera explicado anteriormente, las zonas bajas tienen un perfil más desarrollado, con mayor nivel de nutrientes y *MO* debido al aporte de zonas más altas. Esto genera un mejor ambiente, mayor producción y por lo tanto un aumento en el aporte de rastrojo que una vez descompuesto aportará un mayor contenido de *M.O.* (Menguel and Kirkby, 2000).

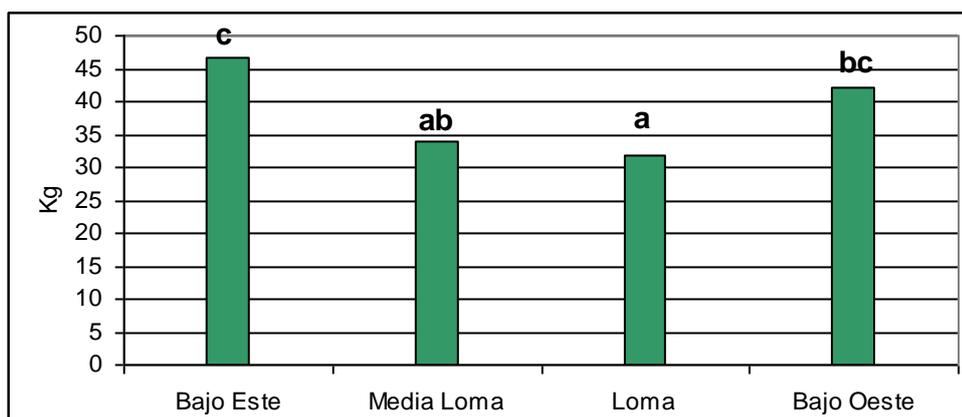


Gráfico 3: Contenido de N- NO₃⁻ de 0 a 40 cm (Kg/Ha)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
LSD Fisher Alfa: =0,05

Los niveles de *Nitratos* (Kg/Ha de N-NO₃⁻) en agosto no presentaron diferencias estadísticas marcadas tal como pueden observarse en el gráfico 3. La L es diferente al BO y BE. Por otro lado BE difiere a la L y ML. El menor valor se dio en la L siguiéndole en orden creciente la ML, BO y BE con una diferencia entre L y BE de 14,98 Kg/Ha. Este orden presenta una gran semejanza a la tendencia de la *MO* (gráfico 2) y se debe a que el nitrógeno como nitratos se mineraliza a partir de la materia orgánica (Menguel and Kirkby, 2000) y de allí esta relación proporcional que a mayor contenido de *MO* mayor contenido de nitrógeno mineralizado.

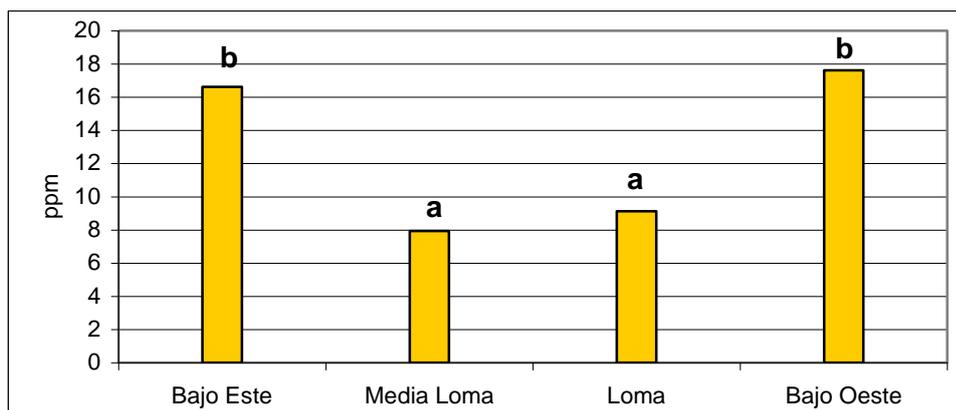


Gráfico 4: Contenido de fósforo de 0 a 20 cm (ppm)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
LSD Fisher Alfa: 0,05

El nivel de *fósforo* presenta dos grupos con diferencias bien marcadas (gráfico 4). Con menores niveles se encuentran la ML y la L, mientras que con mayores niveles el BE y el BO. El grupo de mayor nivel de P, presenta valores que duplican el contenido de P en comparación con los de menor nivel.

Agua del suelo

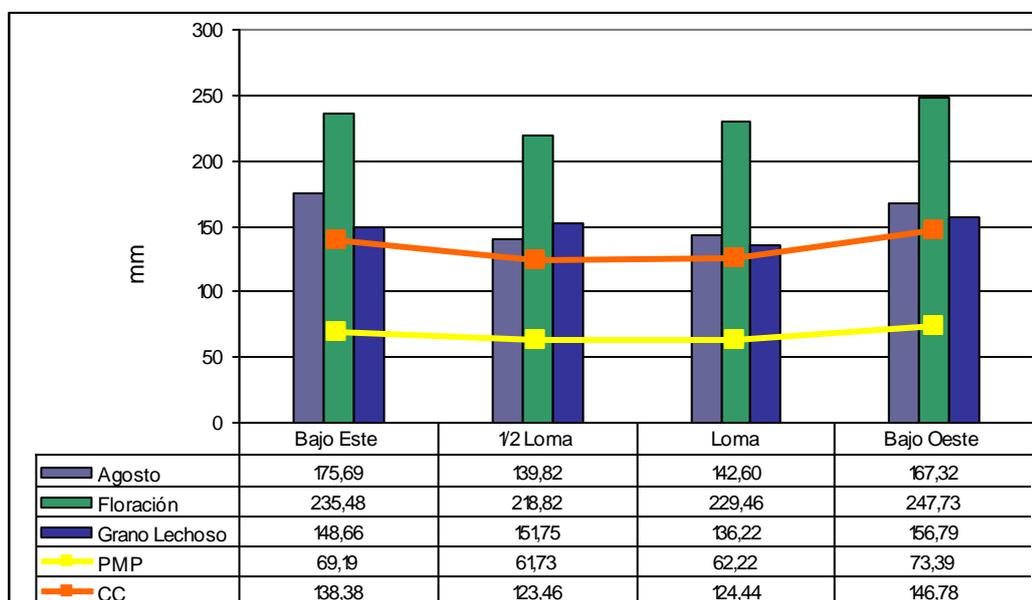


Gráfico 5: Agua disponible del suelo en agosto, R1, grano lechoso, punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo expresado en lámina (mm/m).

Para caracterizar la potencialidad de los ambientes se determinó la capacidad de retención de agua del suelo o agua útil expresado como la diferencia entre CC y PMP. Como resultado

(gráfico 5), el BE retiene 69,19 mm/m profundidad, la ML 61,73, la L 62,22 y 73,39 mm/m el BO, estableciéndose dos grupos. Por un lado los de menor retención fueron la L y ML y los de mayor retención el BE y BO. Esto indicaría que a igual precipitación efectiva la L con la ML tendrían el mismo potencial productivo solo desde el punto de vista de agua edáfica mientras que entre el BE y BO sucedería lo mismo.

En el mes de agosto, previo a la siembra, el suelo se encontraba con un contenido de agua total similar a capacidad de campo (gráfico 5). Esto se debió a que en el 2003 en los meses que más pueden llegar a influir en el barbecho (abril, mayo, junio y julio) las precipitaciones fueron altas (66,8 mm más que el promedio) (ver anexo 3).

Desde el mes de agosto hasta comienzos de diciembre, llovieron solo 30 mm (gráfico 1), lo que llevó a que la superficie del suelo se secase y no se pudiera iniciar la siembra que estaba prevista para el mes de septiembre.

A partir de la siembra (5-6 diciembre) y hasta el 16 de febrero, momento en que el maíz se encontraba en floración, las precipitaciones fueron de 389 mm, 98,8 superior que el promedio (34 % mayor). El contenido hídrico en ese momento expresado en lámina (gráfico 5), revela que en los cuatro sitios los valores eran superiores a capacidad de campo causados en gran medida por las excesivas precipitaciones durante este período. De los resultados se desprende que la L almacenó 10,64 mm más que la ML lo que indica que si bien en cuanto a capacidad de retención son similares, la pendiente en la ML habría influido en que la precipitación efectiva fuera menor que en la L. Con respecto al BE podemos inferir que la retención fue menor que BO debido a que si bien en la toposecuencia E-O su posición es de bajo, al observar la figura 1 muestra que todo el BE presenta una muy leve pendiente en sentido norte, provocando escurrimiento y por lo tanto menor precipitación efectiva.

Las precipitaciones decádicas entre el período de floración y grano lechoso (GL), 10 de marzo (gráfico 1), si bien disminuyeron 35,9 mm con respecto al promedio; al ser el contenido hídrico en floración (febrero) alto, se tradujo en un contenido hídrico en GL cercano a CC.

• **ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD**

Según lo planteado en el análisis teórico, para realizar manejo sitio específico, tiene que existir variabilidad espacial (Roberts, 2000). Es relevante que exista variabilidad de rendimiento que se traduzca en resultado económico y que se logre justificar a través de la variabilidad ambiental. De esta forma se podrá comprender porque varía el rendimiento y trabajar desde esa perspectiva en como se puede mejorar ese rendimiento y más aun el resultado económico.

Para el lote en cuestión O'Donell y Von Martini (2002) como se mencionó anteriormente encontraron que para el año 2001, los cuatro sitios eran diferentes entre si, que existía variabilidad biológica en cuanto a rendimiento y que justificaba un manejo sitio específico en cuatro ambientes.

Para reafirmar la variabilidad espacial para el año en estudio, se compararon los rendimientos y Margen Bruto (MB) por sitios utilizando los datos de DF para fijar las variables de manejo externo y poder analizar sin distorsiones la variabilidad. Por último se relacionó la variabilidad de rendimientos con la variabilidad ambiental con el objetivo de entender y explicar el rendimiento.

Variabilidad física de rendimiento:

Tabla 2: Comparación de medias de rto. (kg/ha) de DF por sitios

Ubicación	Medias	N			
½ Loma	77,59	3	a		
Loma	88,85	3		b	
Bajo E	107,76	3			c
Bajo O	114,16	3			c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
LSD Fisher Alfa:0,05

Comparando los rendimientos por sitio, tal cual se observa en la Tabla 2, se encontró que en el lote existe variabilidad. Estadísticamente el lote para este año y situación en particular presentaría 3 sitios y no 4 sitios como resultados de años anteriores indican. La zona de menor potencial es la ML con un promedio de rendimiento de 75,59 qq/Ha. La zona de potencial medio es la L con un promedio de 11,26 qq/Ha superior. Por último se fusiona un nuevo sitio de mayor potencial conformado por el BE y BO con medias de 107, 76 y 114,16 qq/Ha respectivamente, con una diferencia entre ellos de 6,4 qq/Ha y con desvíos (ver gráfico 8) que no permiten la diferenciación estadística.

Como el objetivo del MSE es la de obtener resultados económicos distintos y no solo resultados físicos de rendimiento, se realizó un análisis de variabilidad comparando MB.

Variabilidad económica:

Tabla 3: Comparación de medias de Margen Bruto (\$/ha) de DF por sitios

Ubicación	Medias	n			
1/2 Loma	1033,10	3	a		
Loma	1281,20	3		b	
Bajo E	1697,98	3			c
Bajo O	1839,10	3			c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
LSD Fisher Alfa: =0,05

En el caso de la variabilidad económica, el análisis estadístico destaca la existencia de tres sitios: ML, L y BE + BO Tabla 3. La ML se presenta como la zona de menor potencial económico con márgenes de 1033,1 \$/Ha. El sitio de potencial medio fue la L con un MB 248,1 \$/Ha superior a la ML y 416,8 \$/Ha inferior a BE. El grupo de Bajos quedó con una diferencia no significativa entre los sitios BE y BO de 141,1 \$/Ha.

Influencia de propiedades del suelo en la variabilidad:

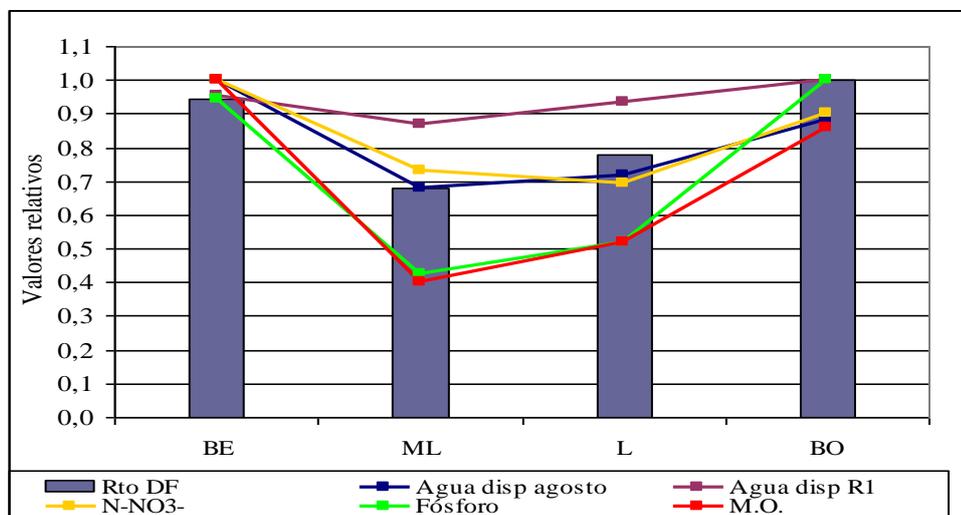


Gráfico 6: Comparación de valores relativos de sitios entre Rendimiento DF, AD del suelo en agosto calculada como (lámina hasta 1 mts), AD del suelo en R1 calc. como (lámina hasta 1 mts), N-NO₃⁻ calc. como (Kg de 0-40 cm), Fósforo calc. como (ppm de 0-20 cm), MO calc. como (% promedio de 0-40)

En el gráfico 6 se establece claramente una tendencia de que a mayor contenido hídrico, P, N-NO₃⁻ y MO; mayor rendimiento en la DF. Esta tendencia indicaría que la variabilidad de rendimiento se explica a través de la variabilidad ambiental. En la teoría, Menguel and Kirkby (2000) concuerdan que a mayor contenido de P, N-NO₃⁻ y contenido hídrico en el

suelo; mayor potencial productivo. Con respecto a la MO afirman que es un componente clave en el suelo al afectar positivamente sus propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo además un prerrequisito para la obtención de cultivos con niveles de producción elevados y estables (Alvarez and Barroco, 2005). Además es el atributo mayormente estudiado como indicador de calidad de suelo y de sustentabilidad de los mismos (Reeves, 1997).

- **AJUSTE DEL MODELO NP-Zea:**

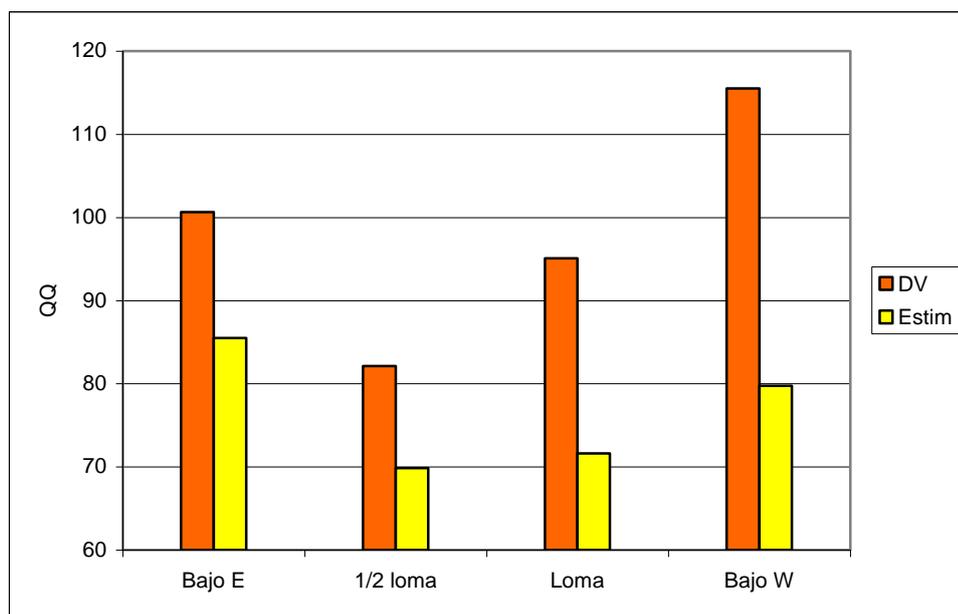


Grafico 7: Rendimiento de DV de N versus Rto. estimado por sitio

Tabla 4: Comparación de medias de rto. (kg/ha) entre DV. y estimado promedio

Tratamiento	Medias	N		
Est.	76,68	12	a	
DV	98,34	12	b	

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
LSD Fisher Alfa: =0,05

Tabla 5: Comparación de medias de rto. (kg/ha) entre DV. y estimado por sitios

Ubicación	Tratamiento	Medias	N						
Media Loma	EST	69,87	3	a					
Loma	EST	71,61	3	a					
Bajo O	EST	79,75	3		b				
Media Loma	DV	82,11	3		b	c			
Bajo E	EST	85,49	3			c			
Loma	DV	95,09	3				d		
Bajo E	DV	107,76	3					e	
Bajo O	DV	115,53	3						f

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

LSD Fisher Alfa: =0,05

Del análisis de la Tabla 4 se desprende que en promedio, el rendimiento estimado por el NP-Zea fue estadísticamente inferior al rendimiento real resultante de la dosis variable. Esta tendencia se mantiene cuando se analiza sitio por sitio y en donde la diferencia entre medias en algunos casos es muy elevada. La diferencia fue de 15,1 qq/ha para el Bajo Este, 12,2 QQ para la Media Loma, 23,4 QQ para la Loma y 35,78 QQ para el Bajo Oeste (Gráfico 7 y Tabla 5).

Se establece por lo tanto que para este año en particular, con las condiciones de fecha de siembra citada, las condiciones ambientales dadas y con los datos de suelo preestablecidos en agosto; el NP-Zea no ajustó. En este sentido, es de importancia recordar que para que el NP-Zea ajuste correctamente para diagnosticar previo a la siembra, los niveles de agua disponible (AD) y nitratos en ese momento deberían ser iguales a V_6-V_8 , que en el caso puntual del presente trabajo, estas dos condiciones no sucedieron:

❶ El contenido hídrico previo a la siembra (agosto) fue inferior a lo determinado en floración (gráfico 5), por el cual al utilizar el dato de AD de agosto para la carga del NP-Zea se subestimó el rendimiento potencial para todos los sitios tal cual lo indica la ecuación de rendimiento potencial descrita anteriormente en el funcionamiento de modelo.

Como fue propuesto por Andersen *et al.* (2001), el agua disponible a la siembra solo aporta el 30% de la demanda hídrica del maíz, y el resto depende de cuanto llueva hasta y dentro del período crítico del cultivo que se da en floración (R1). Es por ello que según Esposito *et al.* (2006), cuando se trata de ambientes subhúmedos con variabilidad climática como es el caso de Río Cuarto; las condiciones hídricas especialmente del periodo previo y posterior a floración (en 30 días) afectan en mayor medida al rendimiento y la respuesta de fertilización nitrogenada (Esposito *et al.*, 2006). En la teoría una elevada tasa de crecimiento en este período debido a una mayor disponibilidad hídrica favorece la fijación de un mayor número

de granos y por consiguiente una mayor producción (Gesumaria *et al.*, 2002; Otegui and Andrade, 2000). Además Esposito *et al.* (2006) establecen al período de V₆-V₈ como un momento en donde la disponibilidad hídrica es un buen dato para utilizar en la predicción de la respuesta a la fertilización. En la calibración del NP-Zea se encontraron correlaciones de hasta el 80% (R²) cuando se comparó con el balance hídrico en floración en cultivos refertilizados.

Resultados experimentales de Calviño *et al.* (2003) mostraron que el rendimiento del maíz se relaciona con la lluvia 20 días pre y 30 días post floración y con el agua del suelo usada por el mismo en el periodo +/- 20 días a floración.

Sadras and Calviño (2001) encontraron una estrecha relación entre el rendimiento en grano del maíz y el déficit estacional de agua ocurrido durante su periodo crítico (+/- 40 días a floración, R² 71%).

Hall (1984) realizó una curva genérica de la disminución relativa de rendimiento en maíz frente a un nivel determinado de deficiencia de agua. Observó que durante un período delimitado por +/- 200 °C/d⁻¹ a floración y con una temperatura base de 8 °C, el cultivo de maíz incrementaba la sensibilidad al estrés hídrico con relación al resto de sus etapas fenológicas, concentrando su sensibilidad en el momento de floración.

② Hubo una posible fluctuación positiva en los niveles NO₃⁻ desde agosto a V₆-V₈. Esto pudo estimarse a partir de que si el contenido hídrico y por lo tanto el rendimiento fueron mayores; el nitrógeno disponible tendría que haber sido también mayor. Por lo tanto si la dosis de fertilización no es lo que varió, lo que si habría aumentado es el contenido de NO₃⁻ de cada sitio. Concordando con esta variación en los niveles de NO₃⁻, Esposito *et al.* (2006) y Menguel y Kirkby (2000) coinciden que los mismos fluctúan desde primavera hasta el verano, por causas que según Andraski and Bundy (2002) y Menguel y Kirkby (2000) están dadas por la humedad, temperatura y aireación.

Resultados anteriores muestran que la aplicación de N en estadios vegetativos intermedios entre la siembra y la floración, es una técnica de manejo agronómico y económico apropiada, dado que permite evitar pérdidas por lixiviación y mejora el diagnóstico por conocer la performance del maíz en sus primeros estadios (Scharf *et al.* 2002). Sainz Rozas *et al.* (2000) señalaron que el N-NO₃⁻ en V₆ es un buen predictor de la respuesta a la fertilización en la región de Balcarce.

En la zona en estudio, Esposito *et al.* (2006) demostraron en el desarrollo del modelo N-PZea que la disponibilidad de N como nitratos (0-40 cm) del suelo en V₆ puede utilizarse para el diagnóstico de N en el departamento de Río Cuarto siempre que se analice conjuntamente la condición hídrica. Los mismos autores demostraron que existe una tendencia negativa en la respuesta a medida que aumenta la disponibilidad de este nutriente en el suelo y/o disminuye

la disponibilidad hídrica en prrefertilización (V_6). Esta misma relación es citada por Pattey *et al.* (2001) estableciendo que las condiciones hídricas explicaron la conveniencia de la fertilización nitrogenada del maíz en secano. Zand-Parsa and Sepaskhah (2001) manifestaron que la respuesta a la fertilización depende de la disponibilidad hídrica y de las variables económicas. Tinglu Fan *et al.* (2005) encontraron luego de 24 años de ensayos que los rendimientos de maíz y la respuesta a la fertilización estuvieron correlacionados con sus condiciones hídricas.

Para determinar la probabilidad de que el agua almacenada previo a la siembra (en este caso principios de diciembre) fuera igual que en estado fenológico de V_6 (principios de enero), se realizó un análisis climático para el mes de diciembre de la serie 1974-2003 obtenida en la estación meteorológica de la UNRC.

Para estos 29 años se calculó un BH, expresado como Precipitación (PP) menos Evapotranspiración Potencial (ETP) (anexo 4). Si el BH resultante para cada año en particular era igual a cero, significaba que el contenido hídrico al inicio de diciembre era igual al contenido hídrico a finales de diciembre o principios de enero; o sea que el agua a la siembra en teoría sería igual que en V_6 . Como resultado se obtuvo que en la teoría, 1 de cada 15 años (6,7% probabilidad) el contenido de agua a la siembra y V_6 eran iguales (1985 y 2002).

Sumado a esto, para que el programa ajuste basado en datos históricos tendrían que coincidir que para estos dos años en particular, el contenido de nitratos fuera el mismo a la siembra y V_6 tal como fue explicado anteriormente.

Por lo tanto no se descarta la posibilidad de que el NP-Zea sea utilizado con datos previos a la siembra aunque las probabilidades de ajuste serían por lo dicho anteriormente menor o igual a 6,7%. En tal sentido, la recomendación tendería a que los datos de agua del suelo y disponibilidad de NO_3^- deben ser medidos tal cual lo dicen Esposito, *et al.* (2006) en la validación del programa en V_6 - V_8 .

- **IMPACTO PRODUCTIVO Y ECONOMICO DEL MANEJO SITIO ESPECIFICO DE NITROGENO:**

Comparación de rendimiento

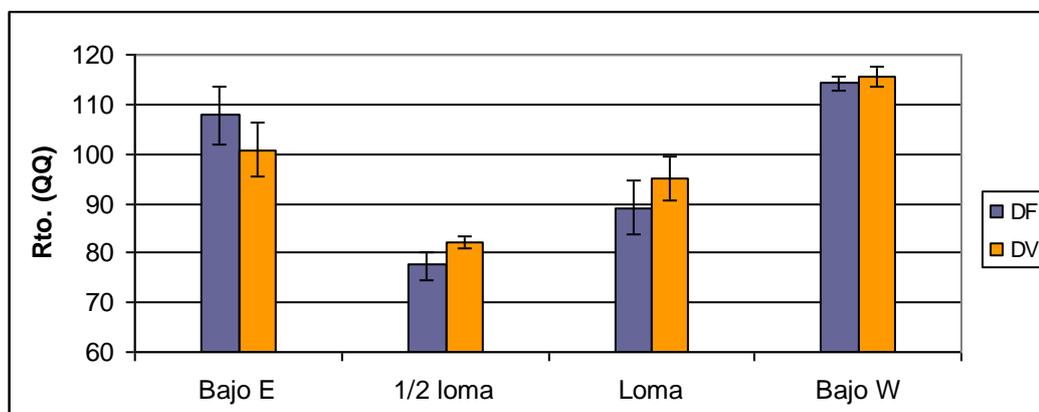


Grafico 8: Rendimiento de DF y DV de N por sitio

Tabla 6: Comparación de medias de rto. (kg/ha) entre DF y DV

Bajo Este				Loma			
Tratamiento	Medias	n		Tratamiento	Medias	n	
Bajo E DF	107,76	3	a	Loma DF	88,85	3	a
Bajo E DV	100,64	3	a	Loma DV	95,09	3	a

Media Loma				Bajo Oeste			
Tratamiento	Medias	n		Tratamiento	Medias	n	
ML. DF	77,59	3	a	Bajo O DF	114,16	3	a
ML. DV	82,11	3	a	Bajo O DV	115,53	3	a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
LSD Fisher Alfa: =0,05

Al comparar los rendimientos medios por sitio y por tratamiento se desprende como resultado que no existe diferencia estadística de rendimiento entre realizar aplicación de Nitrógeno en dosis fija de 100 Kg de urea y aplicación variable de nitrógeno según prescripción del NP-Zea (gráfico 8 y tabla 6).

Es de relevancia recordar que el objetivo del MSEN es el de obtener el máximo beneficio económico por sitio y por lo tanto a nivel de lote. Este objetivo se logra de la siguiente manera:

- Manteniendo el ingreso (rendimiento) y bajando los costos (fertilizante)
- Aumentando el ingreso (rendimiento) y manteniendo los costos (fertilizante)

- Aumentando el ingreso (rend.) en mayor medida que el aumento de costos (fertilizante) (Bongiovanni, 2004).

Por lo tanto queda claro que si bien el rendimiento (ingreso) no varió estadísticamente puede ocurrir que por disminución de los costos el beneficio sea mayor. Es por ello que para determinar si hubo diferencia estadística al realizar MSEN se realizó una comparación por sitios entre márgenes brutos resultantes de DF y DV.

Comparación económica

Tabla 7: Comparación de medias de Márgenes Brutos (\$/ha) entre DF y DV

Bajo Este				Loma			
Tratamiento	Medias	n		Tratamiento	Medias	N	
Bajo E DF	1698,0	3	a	Loma DF	1281,2	3	A
Bajo E DV	1586,4	3	a	Loma DV	1382,1	3	A

Media Loma				Bajo Oeste			
Tratamiento	Medias	n		Tratamiento	Medias	N	
ML. DF	1033,1	3	a	Bajo O DF	1839,1	3	A
ML. DV	1071,9	3	a	Bajo O DV	1900,7	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

LSD Fisher Alfa:=0,05

Como resultado se obtuvo que en todos los sitios, los márgenes brutos aplicando DF y DV eran iguales estadísticamente (tabla 7). Este resultado se pudo haber dado debido a que el modelo NP-Zea arrojó prescripciones erróneas debido a un uso incorrecto del mismo como fue aclarado anteriormente.

Por último y solo a modo comparativo con otros trabajos presentados de MSEN en el país, se realizó una comparación económica mediante el método de beneficio marginal. Es el más comúnmente usado en AdP con fines evaluativos de respuesta económica a la aplicación de DV pero tiene el error de que no se realiza ningún análisis estadísticos de datos.

Tabla 8: Beneficio Marginal (\$/Ha) por sitios y ponderado

	Bajo E	1/2 loma	Loma	Bajo W
<i>Diferencia Rto. (QQ/ha)</i>	-7,12	4,52	6,24	1,36
Ingresos marg. (\$/ha)	-157,00	99,55	137,42	30,01
<i>Diferencia Dosis (Kg/ha)</i>	-56	75	45	-39
Egresos marg. (\$/ha)	-45,39	60,79	36,47	-31,61
Benef. Marginal (\$/ha)	-111,61	38,76	100,94	61,62
B.M. Ponderado (\$/ha)	42,67			

A modo informativo en los datos de la tabla 8 se puede ver (teniendo en cuenta las limitantes antes citadas), que resultante de la aplicación de DV el beneficio marginal ponderado fue positivo con un valor de 42,67 \$/ha.

CONCLUSIONES

- Existe variabilidad ambiental en el lote que fue explicada por la toposecuencia.
- Existe variabilidad de rendimiento que justificaría un MSE en tres ambientes. Esta variabilidad se relacionó con la variabilidad ambiental.
- Teniendo en cuenta de que el NP-Zea fue utilizado con fines exploratorios de manera distinta a la que indica su manual, en esta situación en particular el mismo no ajustó. Esta falla en el ajuste fue debida a que los contenidos de N-NO₃ y agua disponible en V₆-V₈ (momento requerido por el modelo) debieron ser mayores a los que fueron utilizados para hacer correr el modelo previo a la siembra (agosto).
- Según datos climáticos históricos de la zona existe un 6,7 % de probabilidad de que el programa ajuste con datos de disponibilidad hídrica previos a la siembra de diciembre y si se incorporaran los datos de variación de nitratos, esta probabilidad podría ser menor o igual.
- Para el año en cuestión la AdP no fue una técnica de mayor beneficio económico que la agricultura tradicional de DF.
- Sabiendo como funciona el NP-Zea y avalado por la bibliografía, queda planteado como inquietud la posibilidad de realizar a futuro un ensayo similar pero planteado con datos de agua disponible y nitratos en V₆-V₈ y utilizando una refertilizadora variable.

APENDICE

ANEXO 1: Datos analíticos de los primeros 40 cm del suelo. Año 2001.

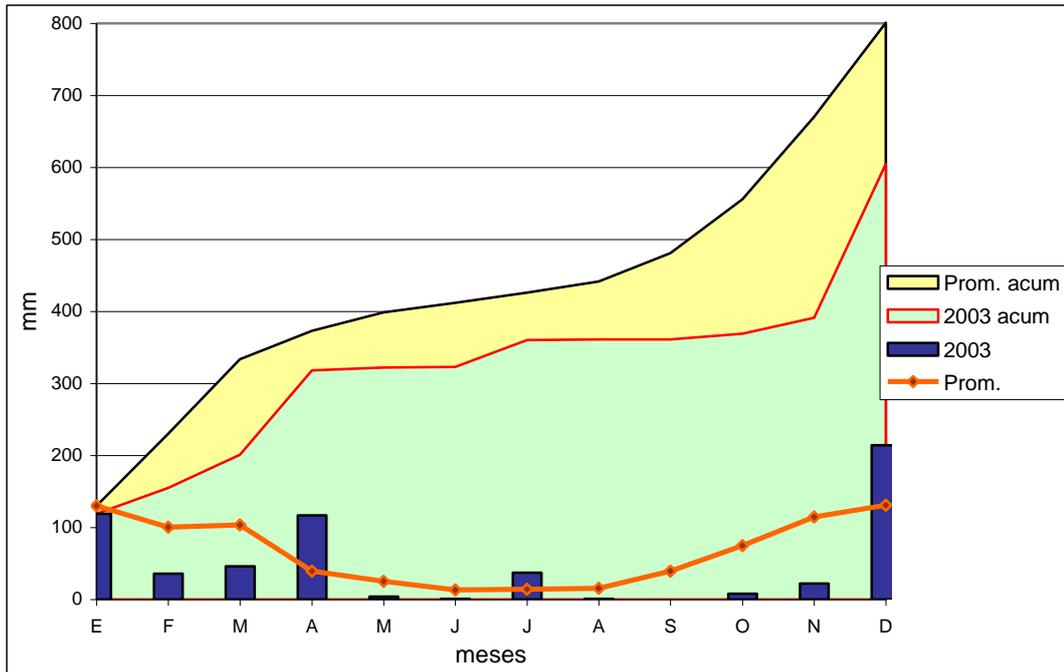
Ambiente	Prof. (cm)	N-NO ₃ ⁻ (ppm)	% H°	% MO	K (ppm)	P (ppm)	pH	DAP (Mg/m ³)
Media Loma	0 – 20 cm	11.64	16.43	0.96	420.5	7.5	6.37	1.35
	20 – 40 cm	6.13	13.54	0.54			6.82	1.38
Bajo Oeste	0 – 20 cm	14.12	23.83	2.05	520.3	15	6.3	1.34
	20 – 40 cm	8.40	19.95	1.69			6.55	1.35
Loma	0 – 20 cm	9.80	19.5	1.26	436.8	7.7	6.41	1.39
	20 – 40 cm	5.78	15.66	0.90			6.66	1.39
Bajo Este	0 – 20 cm	11.33	25.92	2.59	588.9	20	6.49	1.29
	20 – 40 cm	8.80	22.16	1.99			6.55	1.33

N-NO₃⁻: nitrógeno de nitratos, H°: porcentaje de humedad gravimétrica,
MO: porcentaje de materia orgánica, K: potasio, P: fósforo, DAP: densidad aparente

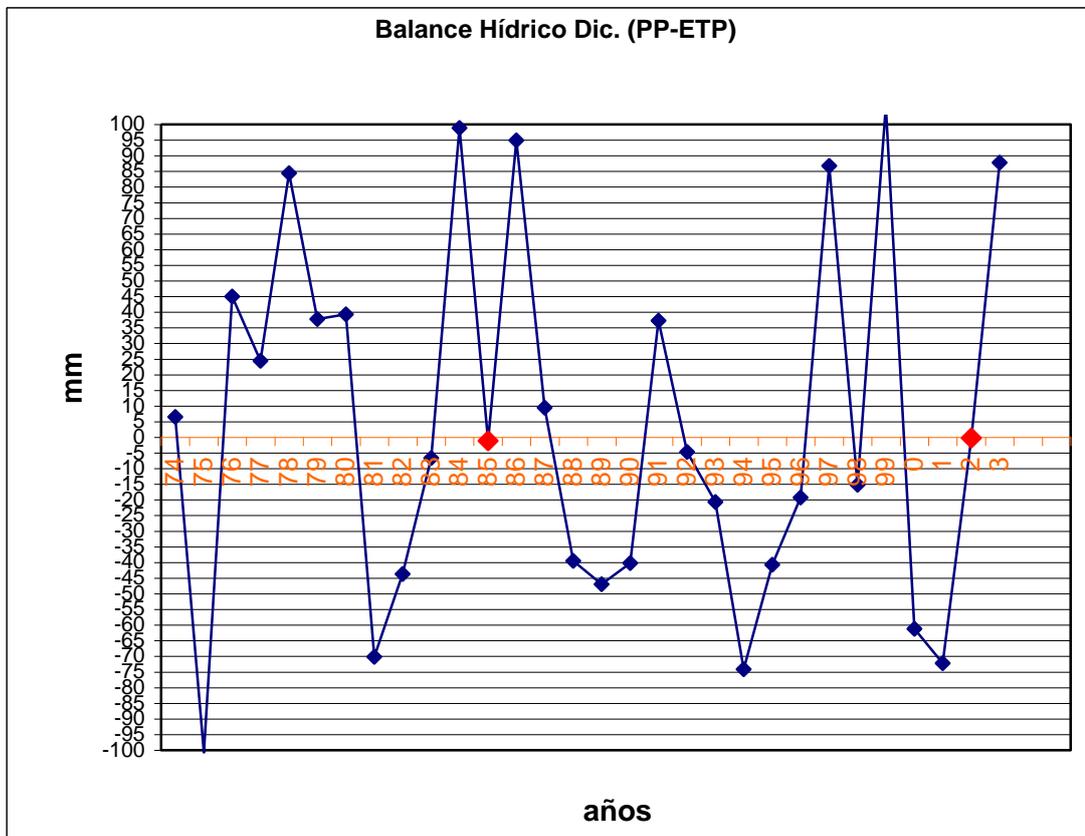
ANEXO 2: Datos analíticos de los primeros 40 cm del suelo. Año 2003.

		M.O %	Fósforo Ppm	N-nitrato ppm	Nitrato Ppm	Agua Disp	PEA
Bajo Este	0-20	2,10	16,61	9,49	41,93	106,5	1,29
	20-40	1,77	12,28	8,37	36,97		1,33
Media Loma	0-20	0,87	7,45	7,23	31,97	72,5	1,35
	20-40	0,68	4,09	5,34	23,60		1,38
Loma	0-20	1,08	9,13	7,22	31,89	76,3	1,39
	20-40	0,92	5,52	4,42	19,53		1,39
Bajo Oeste	0-20	1,76	17,63	9,12	40,32	93,9	1,34
	20-40	1,56	9,31	6,52	28,82		1,35

ANEXO 3: Precipitaciones mensuales 2003, 2003 acumulado, promedio y promedio acumulado.



ANEXO 4 Balance Hídrico (PP-ETP) para el período 1974-2003 para la localidad de la ciudad de Río Cuarto e influencias.



ANEXO 5: Análisis estadístico (infostat) campaña 2003/04

DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

• **Materia orgánica:**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O.	16	0,94	0,92	10,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,51	3	1,17	62,19	<0,0001
ubicación	3,51	3	1,17	62,19	<0,0001
Error	0,23	12	0,02		
Total	3,73	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=0,21122

Error: 0,0188 gl: 12

ubicación	Medias n				
Media Loma	0,79	4	a		
Loma	1,00	4		b	
Bajo Oeste	1,66	4			c
Bajo Este	1,94	4			d

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

• **N- NO₃⁻:**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N-Nitratos	16	0,62	0,52	16,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	507,61	3	169,20	6,49	0,0074
ubicación	507,61	3	169,20	6,49	0,0074
Error	312,98	12	26,08		
Total	820,60	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=7,86819

Error: 26,0820 gl: 12

ubicación	Medias n				
Loma	25,28	4	a		
Media Loma	27,55	4	a	b	
Bajo Oeste	34,57	4		b	c
Bajo Este	39,46	4			c

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

- **Fósforo:**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo	16	0,69	0,61	26,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	299,85	3	99,95	8,96	0,0022
ubicación	299,85	3	99,95	8,96	0,0022
Error	133,91	12	11,16		
Total	433,77	15			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=5,14668

Error: 11,1595 gl: 12

ubicación Medias n

Media Loma	7,94	4	a
Loma	9,13	4	a
Bajo Este	16,61	4	b
Bajo Oeste	17,63	4	b

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

ANALISIS DE VARIABILIDAD DE LOS SITIOS

- **Comparación de rto. (kg/ha) de DF por sitios:**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	12	0,96	0,92	4,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2600,27	5	520,05	27,68	0,0004
Bloque	40,17	2	20,09	1,07	0,4007
Ubicación	2560,1	3	853,37	45,43	0,0002
Error	112,71	6	18,78		
Total	2712,98	11			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=8,65919

Error: 18,7849 gl: 6

Ubicación Medias n

1/2 Loma	77,59	3	a
Loma	88,85	3	b
Bajo E	107,76	3	c
Bajo O	114,16	3	c

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

RENDIMIENTO REAL VERSUS ESTIMADO POR EL NP-Zea

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	24	0,98	0,97	3,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5710,49	7	815,78	110,48	<0,0001
Tratamiento	3296,84	1	3296,84	446,47	<0,0001
Ubicación	1995,15	3	665,05	90,06	<0,0001
Tratamiento*Ubicación..	418,51	3	139,50	18,89	<0,0001
Error	118,15	16	7,38		
Total	5828,64	23			

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=2,35177

Error: 7,3843 gl: 16

Tratamiento	Medias n
EST	76,68 12 a
DV	100,12 12 b

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=4,70353

Error: 7,3843 gl: 16

Tratamiento	Ubicación	Medias n
EST	Media Loma	69,87 3 a
EST	Loma	71,61 3 a
EST	Bajo O	79,75 3 b
DV	Media Loma	82,11 3 b c
EST	Bajo E	85,49 3 c
DV	Loma	95,09 3 d
DV	Bajo E	107,76 3 e
DV	Bajo O	115,53 3 f

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

BIBLIOGRAFIA:

- ALVAREZ, C. and M. BARRACO, 2005. Indicadores de la calidad física de suelos. Boletín técnico número 4. EEA General Villegas. INTA.. 5 pp.
- ANDRASKI, T.W. and L.G. BUNDY, 2002. Using the Presidedress Soil Nitrate Test and Organic Nitrogen Crediting to Improve Corn Nitrogen Recommendations. *Agron. J.* 94: 1411–1418.
- ANDRESEN, J.A.; G. ALAGARSWAMY; C.A. ROTZ; J.T. RITCHIE; A.W. LEBARON, 2001. Weather Impacts on Maize, Soybean, and Alfalfa Production in the Great Lakes Region, 1895–1996. *Agron. J.* 93:1059–1070.
- ANDRIULO A.; J. GALANTINI Y F. ABREGO, 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes luego de 80 años de agricultura continua, Información técnica número 147(XIV), EEA INTA Pergamino.
- BIANCHINI, A. (2003): Fertilización y requerimientos sitio específicos, Curso de fertilidad de suelos y fertilización de cultivos, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- BLAKE G.R. y K.H. HARTGE, 1986. Bulk Density, en *Methods of soil análisis, Part 1, Physical and mineralogical methods, Agronomy monographs no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 363-375.*
- BONGIOVANNI, R. and J. LOWENBERG-DEBOER, 2000: Manejo del Nitrógeno en Maíz usando estimaciones sitio específicas de respuesta del cultivo, a partir de un modelo de regresión espacial. Actas del 5^{to}. Congreso Internacional de Agricultura de Precisión, realizado en Bloomington, Minnesota, del 16 al 19 de Julio del 2000.
- BONGIOVANNI, R., 2003. La Agricultura de Precisión en la Cosecha. Trabajo preparado para la Revista IDIA del INTA, Diciembre 2003. Proyecto Agricultura de Precisión – INTA Manfredi Manfredi, Argentina en <http://www.elsitioagricola.com/articulos/bongiovanni/LaAgriculturaPrecisionEnCosecha.pdf>
- BONGIOVANNI, R., 2004. Rentabilidad de la agricultura de Precisión. INTA, Agricultura de precisión, Argentina en <http://www.agriculturadeprecision.org/analecon/RentabilidadAgriculturaPrecision2004.pdf>
- BRAGACHINI, M., 2000a. Nivel de adopción actual y potencial de la agricultura de precisión en el mundo y en Argentina. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi. En cd 6to curso adp cd presente y futuro.

- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MENDEZ. 2000b: Tecnologías disponibles para aplicaciones de insumos sitio específico. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi. En cd 6to curso adp cd manejo de sitio.
- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MENDEZ. 2000c: Agricultura de precisión en Argentina. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi. En cd 6to curso adp cd pres y fut.
- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MENDEZ; J. MONCHAMP; S. MARTIN; M TULA. 2000d. Franjas con diferentes tratamientos de fertilización y densidad de siembra cruzando 4 ambientes de un círculo de riego, Ensayo a campo, Establecimiento “El Paraiso”, Barrilli, Argentina en <http://www.agriculturadeprecision.org/enscamp/PrimerosEnsayosExploratorios.htm>
- BRAGACHINI, M.; R. BONGIOVANNI ; A. MENDEZ; F. SCARAMUZZA; A. KEMER; F. PROIETTI ; J. PEIRETTI, Y D. RUSSI. 2004. Cd 5^{to} Curso de agricultura de precisión. INTA Manfredi. Córdoba, Argentina. Ediciones INTA. 13-15 Julio 2004.
- BRAGACHINI, R. 2005. ¿Qué es la Agricultura de Precisión? Hoja informativa Agricultura de Precisión N 4. Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión, INTA, Argentina. Mayo 2005.
- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MENDEZ; M TULA. 2006a . Evaluación de respuesta sitio específica de dos espaciamientos entre hileras de soja de segunda sobre trigo. en www.agriculturadeprecisión.org/articulos/mansit/htm.
- BRAGACHINI, M.; A. MENDEZ; F. SCARAMUZZA; F. PROIETTI . 2006b. Historia y desarrollo de la Agricultura de Precisión en Argentina .Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi En trabajos presetados sal actualización, 25 julio.
- BULLOCK, D.S. and D.G. BULLOCK. 2000. “From Agronomic Research to Farm Management Guidelines: A Primer on the Economics of Information and Precision Technology” Precision Ag 2 (1): 71-101.
- CALVIÑO, P.A.; F.H. ANDRADE; V.O. SADRAS. 2003. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. Agron. J. 95:275-281.
- CAMOZZI, M. E. y R. MELGAR. Septiembre de 2000. Maíz: ¿Cuánto Ponerle? Revista Fertilizar Ejemplar número 20
- CANCINO J.; C. BONILLA; G DONOSA. 2004. Contaminación de los recursos hídricos en la zona central de Chile, Página web de la UNESCO, Uruguay.
- CANTERO, A.; E.M. BRICCHI; V.H. BECERRA; J.M. CISNEROS; H.A. GIL. 1986. Zonificación y descripción de las tierras del departamento Río Cuarto

(Córdoba). Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

- CONTI, M.E. Agosto 2000. Principios de edafología: con énfasis en suelos argentinos. Segunda edición. Editorial Facultad de Agronomía.
- DÍAZ-ZORITA, M. y R. MELGAR. 1997. La fertilización de cultivos y pasturas. 1^{ra} edición. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina.
- DUCHAUFOUR, P. 1975. Manual de Edafología. Editorial Toray Masson. Barcelona, España.
- 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). Revista de Investigación Agraria. Trabajo en prensa.
- GARCÍA, F.O. 2000. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Aproximaciones Zonales. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Curso de Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. 1 y 2 de julio de 2003. Lugar AIASC.
- GARCIA, F. O. 2001. Cultivos en siembra directa, Publicación técnica AAPRESID, Rosario, Santa Fé, Argentina.
- GARCIA, F. O. 2002a: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz, Congreso “Maíz: una oportunidad para la sustentabilidad de la agricultura y sus empresas”, SEMA, Buenos Aires, Argentina.
- GARCIA, F. O. 2002b. Fertilización de maíz en la Región Pampeana, INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur, Acassuso, Argentina. En <http://www.elsitioagricola.com/articulos/garcia/Fertilizacion%20de%20maiz%20en%20la%20region%20pampeana.asp>
- GESUMARIA J.A.; C.A. CASTILL; G.P. ESPOSITO; R.G. BALBOA. 2002. NP-ZEA: Cálculo de dosis de nitrógeno y fósforo en maíz, Manual de uso del NP-ZEA, Universidad Nacional de Río Cuarto, (Córdoba), Argentina.
- INFOSTAT 2001. Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba. Estadística y Diseño - F.C.A. Manual de usuario. Versión 1.1 profesional.
- HALL, A. J., 1984. Tolerancia a estrés hídrico en maíz: Bases fisiológicas y morfológicas. Actas III. Congreso nacional de Maíz. Conferencias. Pags. 11-23.
- HATFIELD, J. 2000. Precision Agriculture and Environmental Quality: Challenges for Research and Education. National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, Ames, Iowa. En <http://www.arborday.org/PROGRAMS/papers/PrecisAg.pdf>

- INTA Manfredi, 2003. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos. Nivel de reconocimiento escala 1:500000. Agencia Córdoba D.A.C.yT.S.E.M. Dirección de ambiente. BR copias, Nueva Córdoba, Córdoba, Argentina.
- INTA MANFREDI 2006. DVD 6^{to} Curso Internacional de agricultura de precisión y 1^{ra} Expo de Maquinas precisas. EEA INTA Manfredi. Córdoba. Argentina. Ediciones INTA. 25-27 de Julio de 2006.
- KEENEY D.R. y D.W. NELSON. 1982. Nitrogen, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 643-693.
- KLUTE A. 1986. Water retention: Laboratory methods, en *Methods of soil análisis, Part 1, Physical and mineralogical methods*, Agronomy monographs no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 635-660.
- LOWENBERG-DEBOER, J. 2000. La Agricultura de Precisión en EEUU y su potencial en países en desarrollo. Universidad de Purdue. 15 pp.
- MC LEAN E.O. 1998. Soil pH and lime requirement, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 199-223.
- MELCHIORI, R.; A. BIANCHINI. 2005. Utilización de sensores remotos para la aplicación de nitrógeno. En cd 6to curso. Trab presentados. ¹INTA EEA Paraná, ²AAPRESID.
- MENGUEL, K y E.A. KIRKBY. 2000. Principios de la nutrición vegetal, Traducido por Melgar R.J., Cuarta edición, Primera en español, Instituto internacional del potasio, Brasilea, Suiza, Pag. 321; 328.
- NELSON D.W. and L.E. SOMMERS. 1982. Total carbon, Organic carbon and organic matter, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 539-577.
- O'DONNELL A. y A. VON MARTINI. 2002. Aplicación práctica de la secuencia de manejo sitio específico utilizando agricultura de precisión. Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, 17-19 Diciembre 2002, Carlos Paz, Córdoba, Argentina. En <http://www.agriculturadeprecision.org/cursos/IIITallerInternacional>.
- OLSEN S.R. and L.E. SOMMERS 1982. Phosphorus, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 403-446.

- OTEGUI, M.E.; F.H. ANDRADE. 2000. New relationships, between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: Physiology and modelling kernel set in maize. CSSA Special Publication Number 29.
- PATTEY, E.; I.B. STRACHAN; J.B. BOISVERT; R.L. DESJARDINS; N.B. MCLAUGHLIN. 2001. Detecting effects of nitrogen rate and weather on corn growth using micrometeorological and hyperspectral reflectance measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 108.: 85–99.
- REEVES, D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43:131-167.
- ROBERTS, T. L. 2000. Manejo Sitio Especifico de Nutrientes – Avances en Aplicaciones con Dosis Variable. Traducción al castellano: Ing Agr Axel von Martin. Proyecto Agricultura de Precisión INTA EEA Manfredi, Córdoba, Argentina. Mayo 2000. En <http://www.agriculturadeprecision.org/mansit/ManejoNutrientesSitioEspecifico.htm>
- SADRAS, V.O. and P.A. CALVIÑO. 2001. Quantification of Grain Yield Response to Soil Depth in Soybean, Maize, Sunflower, and Wheat. *Agron. J.* 93:577–583.
- SAINZ ROZAS, H.; H.E. ECHEVERRÍA; G.A. STUDDERT; G. DOMÍNGUEZ. 2000. Evaluation of the Presidedress Soil Nitrogen Test for No-Tillage Maize Fertilized at Planting. *Agron. J.* 92:1176–1183.
- SALVAGIOTTI, F.; H.M. PEDROL; J. CASTELLARÍN; A. VERNIZZI; O. ROSSO. 2002. Maíz Zona Núcleo: Efecto de la fertilización balanceada con nitrógeno y azufre sobre el rendimiento y sus componentes y sobre la rentabilidad. EEA INTA Pergamino. *Revista Fertilizar Año 7. N° 27.*
- SATORRE, E. H. .2001. Cuaderno de actualización técnica N 65, Maíz, Edición área de comunicación AACREA, Buenos Aires, Argentina.
- SCHARF, P.C.; W.J. WIEBOLD; J.A. LORY. 2002. Corn Yield Response to Nitrogen Fertilizer Timing and Deficiency Level. *Agron. J.* 94:435–441.
- SEILER, R.A.; R.A. FABRICIUS; V.H. ROTONDO; M.G. VINOCUR. 1995. *Agroclimatología de Río Cuarto – 1974/93. Volumen I, Cátedra de Agrometeorología Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, (Córdoba), Argentina.*
- SOKAL R. and J. ROHLF. 1981: *Biometry. Second edition. W.H. Freeman and company. New York.*
- THOMAS, D.R. and J.J. HALVORSON. 1996. Standardized Methods, Sampling, and Sample Pretreatment. En: Doran W.D. y A.J. Jones (Ed.). *Methods for Assessing Soil Quality. SSSA U.S.A. pp 111-121.*

- TINGLU FAN; B.A. STEWART; WANG YONG; LUO JUNJIE; ZHOU GUANGYE. 2005. Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106.:313–329.
- UHART, S.A. 1995. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno y carbono sobre la determinación del número de granos y del rendimiento en maíz, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- WALLACH D.; B. GOFFINET; J.E. BERGEZ; P. DEBAEKE; D. LEENHARDT; J.N. AUBERTOT. 2001. Parameter Estimation for Crop Models: A New Approach and Application to a Corn Model. *Agron. J.* 93:757–766.
- ZAND PARSA, S. and A.R. SEPASKHAH. 2001. Optimal applied water and nitrogen for corn. *Agricultural Water Management* 52.:73-85.