

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final Presentado para Optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

**DESARROLLO DE UN MODELO DE DIAGNOSTICO DE
FERTILIZACIÓN NITROGENADA POR ZONAS DE
MANEJO**

Alumno: Falco Agustín.

32.495.699.

Director: Ing. Agr. Gabriel Espósito.

Co-Director: Ing. Agr. Javier Salminis.

Río Cuarto - Córdoba.

Noviembre de 2010.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**DESARROLLO DE UN MODELO DE DIAGNOSTICO
DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA POR ZONAS
DE MANEJO**

Alumno: Falco Agustín.

D.N.I: 32.495.699.

Director: Ing. Agr. Gabriel Espósito.

Co-Director: Ing. Agr. Javier Salminis

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la
Comisión Evaluadora:

ING. AGR. MSC. GUILLEROMO CERIONI _____

ING. AGR. JOSÉ OMAR PLEVICH _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
SUMMARY	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	3
CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	3
ANTECEDENTES	6
IMPORTANCIA DEL TRABAJO	10
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	10
HIPÓTESIS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	11
DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	11
DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	12
DETERMINACIONES	13
II. A) AL MOMENTO DE 6 HOJAS:	13
II. B) FINALIZADA LA COSECHA:	15
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
III. A) AL MOMENTO DE 6 HOJAS:	22
III.A.1) DETERMINACIÓN DEL IR MEDIANTE EL PROGRAMA ENVI:	22
III.A.2) DETERMINACIÓN DEL IR MEDIANTE EL PROGRAMA SISCOB:	23
III. B) FINALIZADA LA COSECHA:	26
III.B.1) RENDIMIENTO GEOREFERENCIADO (MAPA DE RENDIMIENTO):	26
III.B.2) DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA POR AMBIENTE (DOEA):	32
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	35
CAPITULO VI: LINEAS DE INVESTIGACION SUGERIDAS	36
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	44

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRECIPITACIONES OCURRIDAS EN LA CAMPAÑA AGRÍCOLA 08/09.	12
TABLA 2. TRATAMIENTOS CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA REALIZADOS EN EL LOTE DE PRODUCCIÓN.	13
TABLA 3: ESQUEMA A MODO DE EJEMPLO, EXPLICATIVO PARA OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES “DUMMY” PARA CADA ZM.	17
TABLA 4: IR OBTENIDOS MEDIANTE LOS PROGRAMAS ENVI Y SISCOB PARA DOS POSICIONES TOPOGRÁFICAS (LOMA Y BAJO) Y PROMEDIO GENERAL DEL MISMO OBTENIDO EN EL ENSAYO.	25
TABLA 5: RESUMEN DE LOS PRINCIPALES VALORES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO ESPACIAL MEDIANTE EL PROGRAMA GEODA.	30
TABLA 6: COEFICIENTES ESTIMADOS, DOE Y RENDIMIENTO, OBTENIDOS A PARTIR DEL MODELO DE REGRESIÓN “ERROR ESPACIAL” SIN ZM.	33
TABLA 7: DOE OBTENIDAS ANTE DISTINTOS ESCENARIOS COMO CONSECUENCIA DE UNA VARIACIÓN EN LA RELACIÓN DE PRECIOS DEL MAÍZ Y EL FERTILIZANTE NITROGENADO	33
TABLA 8: COEFICIENTES ESTIMADOS, DOE Y RENDIMIENTO, OBTENIDOS A PARTIR DEL MODELO DE REGRESIÓN “ERROR ESPACIAL” CON ZM.	33
TABLA 9: ANÁLISIS ECONÓMICO (MARGEN BRUTO), COMPARANDO DOSIS PROMEDIO DE NITRÓGENO PARA UNA ÚNICA ZM VERSUS DOSIS VARIABLE EN 2 ZM.	34
TABLA 10: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA ENVI PARA LA FRANJA SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA LOMA.	44

TABLA 11: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA ENVI PARA LA FRANJA CON ALTA FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA LOMA. _____ 45

TABLA 12: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA ENVI PARA LA FRANJA SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA BAJO. _____ 46

TABLA 13: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA ENVI PARA LA FRANJA CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA BAJO. _____ 47

TABLA 14: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA SISCOB PARA LA FRANJA SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA LOMA. _____ 48

TABLA 15: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA SISCOB PARA LA FRANJA CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA LOMA. _____ 48

TABLA 16: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA SISCOB PARA LA FRANJA SIN FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA BAJO. _____ 49

TABLA 17: PORCENTAJES DE FCVV OBTENIDOS MEDIANTE EL PROGRAMA SISCOB PARA LA FRANJA CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA PARA LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA BAJO. _____ 49

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

No se encontraron elementos de tabla de contenido.

RESUMEN

Frente a un crecimiento constante en los costos de producción, la mejora en la eficiencia en el uso del Nitrógeno surge como aspecto central para mejorar la rentabilidad en la producción de Maíz (*Zea mays*). El uso de prácticas de agricultura de precisión, al implementar estrategias de manejo sitio-específico, permitirían mejoras en la rentabilidad del cultivo al definir dosis de fertilización según tipos de suelo y otras condiciones de ambiente definidas como zonas de manejo (ZM) dentro de un mismo lote. La Hipótesis del trabajo fue demostrar por un lado, que la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada, varía en función a ZM. Por otro lado, que era posible ajustar la fertilización nitrogenada al momento de generar recomendaciones sitio-específico en la zona de Río Cuarto. Se plantearon como objetivos por un lado, evaluar la respuesta en rendimiento en grano del maíz a la fertilización nitrogenada según ZM y por otro, estimar la conveniencia económica del manejo sitio-específico del N por ZM, frente a la dosis uniforme dentro de un mismo lote cuya principal variación es la topografía. Se realizaron dos tratamientos en franjas perpendiculares atravesando 2 ZM: a) En una primera instancia, se evaluaron dos franjas tratadas a la siembra, una con alta suficiencia de N y otra con baja suficiencia de N en los cuales al estado ontogénico de 6 hojas, se tomaron 20 fotografías digitales para el cálculo del Índice de Respuesta (IR) obteniéndose en promedio un IR de 1,1. b) Por otro lado, al momento de 6 hojas, se efectuaron fertilizaciones nitrogenadas en dosis crecientes, con el fin de evaluar la justificación económica del manejo sitio específico del N según ZM. De acuerdo a los resultados encontrados, se rechaza la hipótesis planteada, es decir, la respuesta al N y las DOE de N no difirieren en las dos ZM dentro del lote. Por lo tanto, para este lote de producción, la DOE debería ser uniforme.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Índice de respuesta (IR), Zonas de manejo (ZM), Dosis variable (DV), Dosis óptima económica (DOE). Río Cuarto.

SUMMARY

Within the context of a continuous growth in production costs, the improvement of nitrogen use efficiency (NUE) becomes a central aspect to increase the profitability in Corn Production (*Zea Mays*). Precision agriculture has the potential to adjust fertilization rates to soil types and/or other environmental conditions defined as management zones (MZ) within the same plot. The hypothesis in this study was to demonstrate that maize response to nitrogen fertilization varies according to MZ. It was also hypothesised that it was possible to adjust this variation at the moment of fertilization recommendations for site-specific fertilization in the area of Río Cuarto. The purpose of this study was to evaluate corn grain yield response to nitrogen fertilization in relation to MZ. Also, the purpose was to estimate the economic convenience of site-specific management of N in MZ compared to a uniform rate within the same plot whose main variation is the topography. The treatments were performed in perpendicular stripping crossing two MZs: a) First, two planted plots were evaluated, one with a high sufficiency of N and the other with a low sufficiency of N. In these strips, 20 digital photographs were taken to 6 leaves at ontogenetic state in order to calculate the Response index (RI), obtained in average RI of 1,1. b) Second, in the 6 leaves at ontogenetic state, fertilization was carried out in increasing nitrogen rates in order to evaluate the economic benefits for site-specific management of N in relation to MZ. After the analysis was carried out using different regression models, it was observed that the results did not show a significant difference in favour of nitrogen fertilization management in MZ. It is concluded that for these MZs previously delimited by a consulting company that advises the institution, it is not convenient to use variable rates in MZ, compared with a uniform nitrogen average fertilization for the whole plot.

Key words: Precision Agriculture, Response index (RI), Management zones (MZ), Variable rate (VR). Río Cuarto.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Cuatro aspectos de la agricultura convencional de altos insumos producen la mayor parte de la degradación de los recursos naturales. Estos son: la falta de rotación de cultivos; las excesivas labores agrícolas; el mal uso de fertilizantes; y los inadecuados métodos de control de malezas y plagas agrícolas (Solbrig, 2005).

De aquí la importancia del cultivo de maíz, ya que el mismo juega un rol fundamental en las rotaciones, debido al aporte insustituible de rastrojos que realiza mejorando el balance de Carbono y contribuyendo a la estructuración y mejora de la porosidad del suelo debido a su desarrollado y extendido sistema radicular (Portugal, 2006).

Sin embargo, es notorio el desplazamiento de este cultivo en la Argentina por la monocultura sojera, a causa de una mayor rentabilidad asociada a precio y/o menores costos (Miguez, 2006), dentro de lo cuales los fertilizantes presentan un peso importante, ergo, es aquí cuando mayor atención se debe prestar a herramientas e información disponibles para la toma de decisión de dosis, fuente, forma y momento de aplicación, a fin de lograr que la empresa sea más rentable, es decir presentar menores costos, y altos rendimientos (García, 2008).

Dentro de toda la región pampeana Argentina el Nitrógeno es el principal nutriente deficitario y limitante de la producción de todos los cultivos, y considerado uno de los insumos claves para aumentar la rentabilidad mediante correctas prácticas de manejo (Raun *et al.*, 2006).

Sin embargo la eficiencia de uso (EUN) a escala mundial es baja y de solo un 33%, lo cual sugiere que es prioritario propender al mejoramiento de EUN mediante el desarrollo y empleo de nuevas tecnologías para mantener o aumentar las ganancias de los productores y disminuir la degradación del medio ambiente (Raun *et al.*, 2006).

En este sentido, la Agricultura de Precisión permite implementar estrategias de manejo sitio-específico para abordar la variabilidad espacio-temporal de la producción agrícola (Pierce & Nowak, 1999), que favorecerían incrementos en rentabilidad al ajustar por ejemplo las dosis de fertilizantes según el tipo de suelo y otras condiciones del ambiente (Gregoret *et al.*, 2006).

Según Hatfield (2000), las diferencias de rendimientos dentro de un lote se debe a la interacción entre distintas fuentes de variabilidad, que generan efectos que no siempre están en concordancia con los límites establecidos para un lote. Una de las finalidades de la

agricultura de precisión es identificar diferentes ambientes con cualidades semejantes, determinadas principalmente por topografía y características edáficas, que se denominan zonas de manejo (ZM). Cada ZM tendría características homogéneas manifestadas en similares rendimientos, que permitiría optimizar la eficiencia en la utilización de insumos, maximizar el beneficio económico; minimizando riesgos de contaminación del ambiente por la aplicación de sobredosis de insumos (Dampney y Moore, 1998; Luchiari *et al.*, 2000; Zubillaga *et al.*, 2006a y Zubillaga *et al.*, 2006b).

El nitrógeno es uno de los nutrientes con importante respuesta sitio-específico (Bongiovanni, 2002a). Para optimizar la fertilización con N es importante determinar relaciones sitio-específicos entre variables del suelo y la respuesta del cultivo. El uso de la fertilización diferencial por ZM requiere la comprensión de las necesidades de N por el cultivo; de la eficiencia de su utilización; de la capacidad del suelo de suministrar N; y de los patrones temporales de consumo y utilización del maíz en relación a la oferta de N (Hatfield, 2000).

Los principios generales del manejo sitio-específico son transferibles entre regiones, pero las estrategias de fertilización con dosis variable (FDV) deben ser modelados localmente porque las condiciones edáficas, climáticas y condiciones económicas son variables (Bravo *et al.*, 2004; Vieira *et al.*, 2006 y Siqueira *et al.*, 2006).

La implementación de la dosis variable (DV) requiere métodos que usen información de bajo costo, tal como mapas de rendimiento, mapas topográficos, imágenes satelitales, fotografías aéreas (Bongiovanni, 2002b) y que tengan en cuenta los insumos y la variabilidad propios de Argentina.

Bullock y colaboradores (2002) muestran que la rentabilidad de la dosis variable está positivamente correlacionada con la información, y señalan que la información necesaria que se necesita para que la dosis variable sea rentable puede venir de una meta-función de respuesta basada en experimentos agronómicos diseñados específicamente para el manejo sitio-específico, o de funciones de respuesta sitio-específicos determinadas con ensayos a campo.

Trabajos realizados principalmente desde la Universidad Estatal de Oklahoma han propuesto un método de cálculo de las recomendaciones de fertilización, basadas en mediciones de un índice de vegetación normalizado (NDVI), mediante percepción remota (técnicas para obtener información de un objeto o área sin entrar en contacto físico con ésta) medido de acuerdo al N foliar (Solie *et al.*, 1996; Stone *et al.*, 1996), aumentando así la EUN (Stone *et al.*, 1996).

Estas y otras tecnologías de la agricultura de precisión hacen posible la dosis variable (DV) de fertilizantes y otros insumos. Sin embargo, en los países más desarrollados que están usando la DV en forma comercial encuentran que la tecnología no genera aumentos de rendimiento o reducción en el uso de insumos lo suficientemente importantes como para cubrir los costos extras. Esto se debe a que existe una considerable brecha de información entre los mapas de rendimiento y de suelo, y la aplicación de insumos. Esta brecha de información son las recomendaciones de fertilización, ya que las mismas se basan, por lo general, en ensayos de parcelas realizados en diversas estaciones experimentales de todo el país. Por diseño, las recomendaciones de fertilización realizadas para una zona o región omiten las características sitio-específicas, lo que las desacredita para guiar las aplicaciones sitio-específicas de insumos (Bongiovanni, 2002c).

ANTECEDENTES

Las aplicaciones convencionales de N, están basadas en un simple promedio general del lote, con áreas que comprenden en la mayoría de los casos más de 10 ha. Sin embargo, las variaciones naturales o adquiridas en un lote hacen que dichos promedios, generen excesos de fertilizante en algunas zonas y déficit en otras (Raun y Jonson, 1999).

Las recomendaciones de fertilización nitrogenada para maíz comúnmente aumentan con el nivel de producción esperado y decrecen en función de una mayor oferta de N. La variabilidad espacial de la oferta de N es una limitación importante para desarrollar recomendaciones de fertilización nitrogenada espacialmente variables (Melchiori, 2007).

Por otra parte, herramientas de agricultura de precisión permiten en tiempo y forma justa, realizar aplicaciones de N apropiadas a las necesidades de las plantas en los diferentes ambientes del lote (Raun y Johnson 1999).

La aplicación sitio-específica de fertilizantes es una vieja idea. En los EE.UU., las primeras recomendaciones de extensión sobre muestreo intensivo de suelos y dosis variable (DV) de fertilizante aparecieron en 1929 (Linsley y Bauer, 1929). La reciente resurgencia de interés sobre ésta idea se relaciona a la disponibilidad de GPS y de tecnologías de información (TI), los que disminuyen dramáticamente el costo de información y de la DV (Bongiovanni y Lowenberg-DeBoer, 2000). La DV de fertilizante fue la primera tecnología de agricultura de precisión disponible comercialmente en EE.UU. Actualmente, cerca del 50% de los 7500 vendedores de fertilizantes en los EE.UU. ofrece este servicio (Akridge y Whipker, 1999). En contraste, sólo diez aplicadores de DV estaban en uso en 1998 en dicho país (Bragachini, 1999). En los EE.UU., la DV de fertilizante es una práctica convencional en cultivos a campo de alto valor, tales como la remolacha azucarera. Muchos productores estadounidenses han probado la DV de fertilizantes, pero quedan dudas sobre su rentabilidad (Lowenberg-DeBoer y Swinton, 1997).

En nuestro país, esta nueva tecnología surgió durante el año 1995, de la mano de INTA con el apoyo inicial de algunas empresas del sector privado como D&E, Tecnocampo, Agrometal, A&T, Agrimax, Acopio Arequito, entre otras. La Agricultura de Precisión se concibió desde EE.UU. como un círculo que se retroalimentaba año a año y donde el único objetivo culminaba con la realización de dosis variable de insumos. O sea, que se incorporó la idea de utilizar la tecnología de información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad natural y/o inducida presente dentro del lote (Bragachini *et al.*, 2005).

En los comienzos de la Agricultura de Precisión, fundamentalmente en EE.UU. y Europa, se buscó generar mapas de aplicación variable de nutrientes utilizando distintas alternativas de muestreos de suelo (grilla, grilla sistematizada, etc.), a partir de los cuales se preparaban mapas de disponibilidad de nutrientes (por Ej., P disponible) y, en función de las distintas disponibilidades, los mapas de aplicación variable. Sin embargo, estas estrategias de muestreos en grilla presentaban un alto costo en tiempo y recursos. En los últimos años, se ha propuesto la adopción de sistemas de zonas de manejo (management zones) que utilizan mapas de rendimientos, topografía, fotografías aéreas, fotos satelitales y mapas de conductividad eléctrica (Doerge, 1999; Fleming *et al.*, 1999; Mallarino, 2001). Este manejo en zonas permite reducir los costos de muestreo de suelos y simplifica el manejo sitio-específico (MSE), especialmente para productores y asesores que recién se inician. En numerosas ocasiones, estas zonas de manejo se corresponden con la posición en el paisaje: loma, media loma y bajo (Doerge, 1999; Franzen y Kitchen, 1999)

García (2002) menciona experiencias de MSE de fertilidad de suelos y fertilización de cultivos en el Cono Sur, entre las que se incluyen las siguientes:

1. Viticultura en Chile: Flores *et al.* (2002) encontraron relación espacial entre algunas variables de suelo (textura, conductividad eléctrica) y de producción y calidad de uva en tres cuarteles de la VII Región, y sugieren analizar la estabilidad temporal de dicha relación y la importancia de las propiedades químicas y del riego en la respuesta de las plantas. Esser y Ortega Blu (2002) determinaron áreas de alta calidad de uva asociadas con ZM definidas en términos de fertilidad de suelo en viñedos comerciales de la Región Metropolitana y la V Región.

2. N en maíz para silo en Chile: Best *et al.* (2002) reportaron un incremento del 50% en la eficiencia de uso del N aplicado bajo MSE comparado con un manejo uniforme. Estas diferencias se basan en una menor aplicación de N y rendimientos similares entre ambos sistemas de manejo.

3. N en trigo y en maíz en la región pampeana argentina: Melchiori *et al.* (2000) evaluaron la utilización de dosis variable (DV) vs. dosis uniforme (DU) en trigo en el sudeste de Buenos Aires según la disponibilidad inicial de N-nitratos en el suelo. Los resultados mostraron un menor uso de N fertilizante y una mayor eficiencia de uso de N suministrado con DV, mientras que el rendimiento fue significativamente mayor con DU que con DV. En maíz, Melchiori (2002) comparó aplicaciones de N con DV vs. DU según la prescripción del N Sensor desarrollado por Hydro Agri. El rendimiento fue superior con DV que con DU con niveles similares de N aplicado.

4. Fertilización nitrogenada de maíz según ZM definidas por posición topográfica: Ensayos realizados en diferentes ambientes del sur de Córdoba en el marco del convenio INTA Manfredi-Purdue University-Grupo de productores de Río IV (Bongiovanni, 2002d).

5. Fertilización en zonas de manejo en trigo y maíz bajo riego en el centro de Córdoba dentro del Proyecto Agricultura de Precisión liderado por el Ing. Mario Bragachini de INTA Manfredi (Córdoba, Argentina), Campañas 1999/00, 2000/01, 2001/02 y 2002/03.

Una de las tecnologías de AP que se ha desarrollado con mayor intensidad para el MSE de nutrientes es la de los sensores remotos que permiten realizar aplicaciones variables de N (Scharf y Lory, 2000; Schepers, 2002).

Stone *et al.* (1996) investigaron el uso de sensores manuales para detectar y predecir la absorción de N en hojas y el rendimiento en grano en trigo. Estos sensores median la luz roja e infrarrojo cercano que irradiaban los cultivos, los cuales son usados luego para calcular NDVI. Ellos encontraron que el NDVI se correlacionaba altamente con la absorción de N en hojas y el rendimiento en grano en trigo. Katsvairo *et al.*, (2003) estudiaron como la biomasa, la concentración de N y la absorción de N podían ser usadas para facilitar el manejo de N en forma variable.

Se piensa que el NDVI podría ser usado para redefinir fertilizaciones nitrogenadas. Esto muestra que información proveniente de la planta puede ser recolectada y que esta información puede ser usada para redefinir recomendaciones de fertilización nitrogenada de manera admisible (Freeman *et al.*, 2006).

Estas tecnologías han sido evaluadas en maíz (Melchiori, 2002) y en caña de azúcar en Argentina.

La probabilidad de encontrar respuestas rentables al uso de muestreos intensivos y aplicación de dosis variables depende de: i) el grado de variabilidad del lote, los lotes con mayor variabilidad presentan más oportunidades de uso rentable del MSE; ii) el valor del producto cosechado del cultivo; y iii) la metodología de imputación de costos (Lowenberg-De Boer y Swinton, 1997; Reetz, 1999).

En la actualidad, podemos decir que la agricultura de precisión está haciendo que la agricultura se parezca cada vez más a un proceso industrial, aunque la adopción de esta tecnología ha sido relativamente lenta hasta el momento.

Una de las barreras clave ha sido el análisis de los datos, tanto agrícolas como ganaderos (Bullock *et al.*, 2002). Entre el análisis de datos y las recomendaciones sitio-específicas existe una brecha de información que hace difícil determinar cómo deberían

ajustarse la dosis variable de semillas, pesticidas, fertilizantes y otros insumos para maximizar la rentabilidad, minimizar el impacto ambiental y alcanzar otros objetivos (Bongiovanni, 2003).

Las experiencias realizadas en Argentina hasta el presente, son escasas y necesitan ser expandidas a un más amplio rango de condiciones a fin de contar con criterios y resultados más robustos para recomendar la implementación de técnicas de manejo variable de N basadas en sensoramiento remoto. Es necesario promover la participación de mayor número de investigadores, instituciones y empresas en el desarrollo de técnicas y equipamientos específicos. El manejo variable de N, en condiciones de precios de los insumos crecientes, representa una opción muy interesante en modelos de producción con alta tecnología (Melchiori, 2007).

IMPORTANCIA DEL TRABAJO

Este trabajo tesis se encuadra dentro de un proyecto de investigación de la Cátedra Producción de Cereales de la FAV-UNRC, en donde se intentan generar información local proveniente de experiencias a campo, reflejando y contemplando las características ambientales de la zona de influencia de Río Cuarto, con en fin de encontrar una relación entre el IR y la dosis óptima económica, para elaborar una función de respuesta óptima y así establecer la relación entre estas variables.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

- La respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada, varía en función a zonas de manejo (loma, media loma y bajo).
- Es posible ajustar la dosis de fertilización nitrogenada al momento de generar recomendaciones sitio-especifico en la zona de Río Cuarto.

Objetivo general

- Desarrollar un modelo de diagnostico de fertilización nitrogenada por zonas de manejo.

Objetivos específicos

- 1) Evaluar la respuesta en rendimiento en grano del maíz a la fertilización nitrogenada según zonas de manejo dentro de un lote de producción, bajo condiciones de suficiencia de fósforo y azufre.
- 2) Estimar la conveniencia económica del manejo sitio-específico del N por zonas de manejo, frente a la dosis uniforme dentro de un mismo lote cuya principal variación es la topografía.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El ensayo se desarrolló durante la campaña agrícola 2008-2009 en el Establecimiento "Santa Clara", ubicado a 70 Km. al este de la ciudad de Río Cuarto, en cercanías de la localidad de Las Acequias, con coordenadas: Lat. Sur $33^{\circ} 38' 41''$, Long. Oeste $66^{\circ} 82' 33''$. En el mismo se llevan a cabo actividades netamente agrícolas. (**Figura N° 1**).

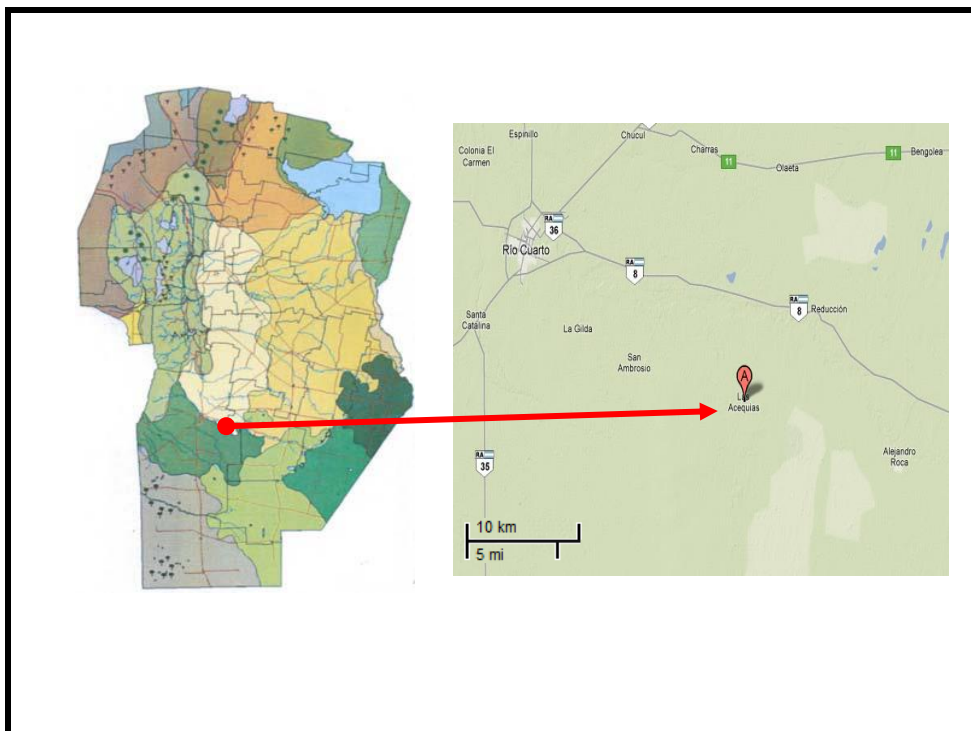


Figura 1: Mapa de ambientes naturales de la Provincia de Córdoba (INTA, 2003) e Imagen de la zona de estudio, con localización del sitio del ensayo (Google maps).

El manejo del ensayo fue similar al empleado en lotes de producción de la región (fechas de siembra de segunda, híbrido, control de malezas, etc.), realizándose en siembra directa y con soja como cultivo antecesor. La siembra fue realizada el 8 de Diciembre del 2008 en una densidad de 75.000 plantas/ha, con surcos a 0,52 m, utilizando una maquina Pierobon de 20 surcos. El material utilizado fue de Nidera, híbrido Ax 882 MG.

En todo el lote, además de los tratamientos de fertilización con N, se aplicaron 80 kg/ha de Sulfato de Calcio (0 N, 0 P₂O₅, 20 S, 23 Ca), sobre la base del trabajo presentado en el Congreso Argentino de Ciencia de Suelo en Salta por Castillo *et al.* (2006).

El clima predominante de la zona es templado con invierno seco, presentando un régimen de precipitaciones Monzónico, con una media anual de 775 milímetros. El período libre de heladas se extiende por aproximadamente 256 días, generalmente desde el mes de Octubre a Abril. El mes más frío del año es Julio, con una temperatura media de 8.5 °C, mientras que el mes más cálido es Enero con una temperatura media de 22 °C. (Meteorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC).

En la **tabla 1** se presentan las precipitaciones ocurridas durante la campaña agrícola en la que se desarrolló el ensayo.

Tabla 1. Precipitaciones ocurridas en la campaña agrícola 08/09.

Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
mm.	8	12	10	0	22	57	193	137	102	104	35	20	700

Fuente: Información provista el establecimiento agropecuario “Santa Clara”. Río Cuarto.

El suelo es predominantemente profundo y bien drenado clasificado como Haplustol típico (Cantero *et al.*, 1986). El lote se encuentra en un paisaje ondulado, con pendientes largas que en algunos casos, alcanzan el 2 % de gradiente. Estas diferencias topográficas, permitieron identificar ZM bien definidas, es decir ambientes presentes en el lote con características edáficas y de productividad bien marcadas.

El establecimiento cuenta con 7 mapas de rendimiento de cultivos de años anteriores, cantidad que permitió, junto a mapas de relevamientos altimétricos, definir dos ambientes con diferencia en aptitudes productivas: AP: alta productividad y BP: baja productividad. Esta delimitación fue realizada por la consultoría agronómica que asesora al establecimiento.

La zonificación de manejo se efectuó mediante software específicos de Agricultura de Precisión SIG (Sistema de información Georreferenciado).

DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Atravesando mediante franjas perpendiculares las dos ZM se efectuaron 2 tratamientos, cuyas dosis fueron establecidas: 1) Por una lado, al momento de la siembra, con el fin de evaluar dos franjas, una con alta suficiencia de N y otra con baja suficiencia de N, comparando las mismas en las distintas ZM para evaluar porcentajes de cobertura del cultivo al estado ontogénico de 6 hojas. 2) Por otro lado, los tratamientos al momento de 6 hojas, fueron determinados de modo de poder evaluar luego de la cosecha, dosis óptima económica (DOE) en cada una de las ZM a través de dosis crecientes de entre 30 y 40 kg de N. Ambos tratamientos se muestran en la **Tabla 2:**

Tabla 2. Tratamientos con fertilización Nitrogenada realizados en el lote de producción.

Tratamiento	A la siembra	V6
	kgN/ha	kgN/ha
1	23	0
2	23	35
3	23	70
4	23	100
5	23	150
5 A	69	150

N →

La fuente de N utilizada a la siembra fue urea (46 N, 0 P₂O₅, 0 S) incorporada con la siembra. Al estado de V6 se utilizó UAN (32 N, 0 P₂O₅, 0 S) chorreado en el entresurco con maquina pulverizadora autopropulsada.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorios con dos repeticiones espaciales por tratamiento. El tipo de diseño, fue en franjas atravesando ZM delimitadas previamente. La dosis de N fue constante en cada franja a través de las distintas ZM en las que el terreno fue dividido. El ancho de las franjas fue el del ancho de la sembradora (10,5 m) y el largo del lote fue de (970 m).

DETERMINACIONES

II. A) Al momento de 6 hojas:

Los tratamientos realizados al momento de la siembra se utilizaron solamente para el cálculo del Índice de Respuesta (IR), de acuerdo a las siguientes determinaciones:

✓ **Fracción de cubierta vegetal verde (FCVV):** al estado ontogénico de 6 hojas, se tomaron 20 fotografías digitales por tratamiento (5A y 5) en cada una de las 2 ZM. La dimensión del área del suelo-cultivo a fotografiar fue de 1 m de ancho por 1m de largo. Luego en laboratorio se emplearon los programas ENVI 4.5 y SISCOB para estimar la fracción de cubierta vegetal verde (FCVV) la cual se estableció mediante la relación Rojo-Verde del espectro de píxeles de la imagen.

La diferencia sustancial entre ambos software es la velocidad de procesamiento de las fotografías; mientras que con el primero se deben analizar fotos individualmente para establecer la FCVV, en el segundo, se crean patrones que permiten analizar fotos en grupos por tratamiento, lo que agiliza el análisis de las mismas. No obstante esto, a los fines de comparar los resultados y diferencias entre los mismos, se decidió procesarlas mediante ambos programas.

ENVI es un software que proporciona herramientas para el procesamiento de imágenes para extraer información para su investigación y análisis, el cual en este caso consistió en un procesamiento espectral de las fotografías digitales, a las cuales se le evaluaron las respuestas de píxeles a diferentes longitudes de onda para obtener información sobre los materiales de interés dentro de cada píxel (cubierta vegetal verde, rastrojo y suelo); una vez analizadas las características de interés se cuantificaron los píxeles totales y los píxeles subtotales de la cubierta vegetal verde, versus rastrojo y suelo para cada una de las fotografías tomadas en los distintos tratamientos; obteniendo luego por regla de tres simple el porcentaje de fracción vegetal promedio de los dos tratamientos en las dos ZM, operación matemática que se efectuó mediante una hoja de cálculo en Excel.

Por otro lado, SISCOB, es un software que proporciona técnicas de procesamiento similares ENVI pero que al permitir trabajar con patrones estándares de cada clase de interés (cubierta vegetal verde, rastrojo y suelo), luego de cargarle varios patrones a cada clase de interés, se pudo procesar las 20 fotos de cada tratamiento en conjunto, facilitando y agilizando la cuantificación de los porcentajes de cobertura para cada ZM, ya que el mismo programa emite como salida una tabla con los respectivos porcentajes.

✓Las fotos tomadas en 5A (franja con alta fertilización nitrogenada a la siembra) se denominan “*franjaN*” y la franja 5, (sin fertilización nitrogenada) “*franjaSN*”. Con los dos valores de FCVV se procederá a realizar el cálculo del índice de respuesta (*IR*) mediante la siguiente fórmula (1):

$$IR = \frac{FCVV_{franjaN}}{FCVV_{franjaSN}} \quad (1)$$

Luego, a partir del dato de IR promedio obtenido, el mismo fue comparado con IR encontrados por Melchiori (2006). El cual ha trabajado en los últimos años en estrategias de detección de necesidades de N del cultivo mediante sensores remotos, técnica que al igual que la planteada precedentemente en la metodología, encuadran dentro de lo que se denomina “percepción remota” (técnicas para obtener información de un objeto o área sin entrar en contacto físico con éste). Esto se realizó, con el fin de verificar y analizar si los resultados obtenidos mediante fotografía digital, coincidía con resultados obtenidos mediante metodologías en desarrollo y uso actual.

II. B) Finalizada la cosecha:

✓ **Rendimiento georeferenciado (Mapa de rendimiento):** las franjas refertilizadas en V₆, tratamientos (1, 2, 3, 4, 5), fueron cosechadas, con maquinaria de 8,53 metros de ancho, específica que disponía de geo referenciación y monitor de rendimiento para establecer el rendimiento en grano de cada zona de manejo.

Luego a partir del software ArcView 3.2 se procedió al análisis del mapa de rendimiento de la fracción en la que se efectuaron los tratamientos de dosis creciente de fertilizante nitrogenado (UAN). Dicho procesamiento consistió básicamente, en una primera instancia, en la limpieza del mapa de rendimiento del lote completo, esto es la eliminación de aquellos puntos que por diferentes motivos generaban una distorsión de los datos recolectados, es decir eran inconsistentes o incoherentes con la realidad. Entre estas fallas podemos encontrar: en la preparación y mantenimiento de alguno de los componentes del sistema que toma los datos (GPS, consola, sensores) o bien, inducidos por el operario durante el proceso de cosecha, ejemplo: indebida calibración de peso y humedad, incorrecto ajuste del ancho de corte. Otros, más que errores son desviaciones en la medición, y ocurren producto de la manera en que funciona el sistema de mapeo en sí, como por ejemplo, atoraduras de la cosechadora, entradas y salidas de la cabecera, cosecha con más de una máquina, y a veces errores de GPS (Bragachini *et al.*, 2006).

Es por ello que se consideró pertinente realizar un análisis, depuración y consolidación de los datos antes de disponerse a analizarlos. Es por esto, que mediante una operación matemática-estadística se calcula lo que se denomina “intervalo inter cuarteles” (IQR) de los diferentes rangos de rendimiento (altos, medio y bajo); se procedió a la eliminación de los puntos extremos que generaban inconvenientes para el análisis de los datos, mediante la siguiente fórmula (2):

$$IQR = Q3 \text{ (tercer cuartil o extremo mayor)} - Q1 \text{ (primer cuartil o extremo menor)} \times 1,5 \text{ (2)}$$

$Q1 - IQR$ = valores de polígonos por debajo del valor arrojado se eliminan del mapa de rendimiento.

$Q3 + IQR$ = valores de polígonos por encima del valor arrojado se eliminan del mapa de rendimiento

Luego se procedió, mediante herramientas de información disponibles en el software, a obtener las coordenadas proyectadas (x, y), las cuales sirvieron, junto con el

largo del ensayo (930 metros), para a la construcción de grillas con polígonos cuadrados cuyos lados eran iguales al ancho de la maquina cosechadora. Dicha grilla fue guardada bajo el formato .shp (shape) para luego poder ser utilizada junto con el shape del mapa de rendimiento del ensayo. Una vez superpuestas ambos capas o “layers”, se rotó la grilla de acuerdo a la dirección de la cosecha. El objetivo de este procedimiento fue hacer coincidir la capa de polígonos de la grilla con la capa de puntos del mapa de rendimiento.

Una vez ubicados los polígonos se continuó con el cálculo del promedio de todos los atributos extraídos del mapa de rendimiento para cada localización dentro de la grilla.

Posterior a esto, se identificaron los tratamientos en el mapa para lo cual, mediante herramientas de información del software, se localizaron los puntos extremos de cada tratamiento.

Tras identificar los tratamientos en el mapa, se agregaron campos es decir, nuevas columnas de datos, los cuales se adjuntaron en base a criterios agronómicos que consideramos de interés y de incidencia directa para el cumplimiento de los objetivos planteados. Entre los que se encontraron:

- Obs. (Datos observados, es decir, cada uno de los puntos del mapa de rendimiento).
- N: nitrógeno, parámetros de incidencia en la función de respuesta al agregado del insumo.
- N2: nitrógenos cuadrado, parámetros de incidencia en la función de respuesta al agregado del insumo.
- ZM: zonas de manejo de: 1: alta productividad; y 2: baja productividad.

Vale aclarar, que los campos considerados de interés para evaluar en el modelo (N y N2) toman valores sobre un rango continuo (variables cuantitativas), y en el caso del último campo de interés (ZM) es una variable cualitativa con dos categorías. En este caso se las representaron como variables “Dummy”, indicadoras o dicotómicas, las cuales sirvieron para identificar una categoría o clase a la que pertenecen las observaciones y observar el efecto de las dos zonas de manejo. Estas variables toman dos valores: 1 y -1, ya que se impone como restricción que la sumatoria de las mismas sea igual a cero (Bongiovanni, 2002a). Se elige una de las categorías como referencia para el cálculo, en este caso se tomo arbitrariamente la ZM1; esquemáticamente sería (**Tabla 3**):

Tabla 3: Esquema a modo de ejemplo, explicativo para obtención de las variables “Dummy” para cada ZM.

Identificación del polígono	Zona	Z1	Z2
1	1	1	-1
2	2	-1	1
3	1	1	-1
4	1	1	-1
Etc.			

Valores -1 en cada ZM se consideran no significativos y en estos casos se eliminan del modelo; en el otro caso (1) se considera a la variable de interés asociada.

Finalmente, se agregaron las correspondientes interacciones entre las variables:

- ZM2 X N
- ZM2 X N²

Para el análisis estadístico se aplicó la estadística espacial (econometría espacial), disciplina que se ocupa del tratamiento de la interacción espacial (autocorrelación espacial) y de la estructura espacial (heterocedasticidad) en los modelos de regresión espacial (Anselin, 1999).

El análisis de regresión es una de las herramientas usadas en Econometría. El objetivo primordial es estimar el valor de una variable aleatoria (la variable dependiente, el rendimiento), dado que los valores de una o más variables asociadas (la o las variables independientes, en este caso dosis de N) son conocidos (Anselin, 1999).

Dicho análisis de regresión se llevó a cabo mediante un software específico para datos georeferenciados llamado GEODA, diseñado para el análisis exploratorio de datos espaciales discretos en forma de puntos y polígonos, en este caso, los puntos arrojados por el mapa de rendimiento. Esto se llevó a cabo mediante dos tipos de modelos que dispone el programa:

Por un lado, se utilizó un análisis de regresión mediante un modelo clásico de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). La inclusión de dicho modelo, se efectuó con el fin de estimar y comprobar la dependencia espacial, que en el caso de los datos de rendimiento, se presenta como la similitud de valores para ubicaciones similares. Es decir, los valores altos o bajos de rendimiento tienden a estar rodeados de observaciones vecinas con valores similares. Por lo tanto, y debido a que los valores de los factores de rendimiento en un punto del lote dependen de los valores en otros puntos del lote, los datos de este lote van a presentar autocorrelación espacial (Bongiovanni, 2006). La presencia de autocorrelación espacial implica que una muestra contiene menos información que una que no está

autocorrelacionada. Por lo tanto, para que la regresión sea estadísticamente significativa, se tiene que corregir esta autocorrelación espacial, de modo tal que los estimadores obtenidos permitan realizar cálculos económicos con precisión (Anselin y Bera, 1998). Por tal motivo, y a los fines de corregir dicha dependencia espacial, se confeccionó una matriz de ponderadores espaciales “Queen” (W) (Figura 2), en la que cada observación es ponderada por una estructura de ocho vecinos con bordes y esquinas en común, la cual esquemáticamente sería:

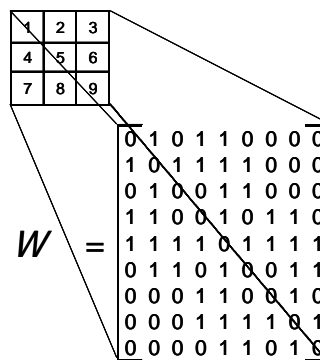


Figura 2: Matriz de ponderadores espaciales “Queen”(Bongiovanni, 2002 b)

Como parámetro estadístico para evaluar la autocorrelación entre los datos se tomó el índice “I” de Moran, el cual varía entre -1 y +1. Si existe autocorrelación espacial, los valores estarán cercanos a la unidad (positiva y negativa con valores cercanos a +1 y -1, respectivamente), mientras que si no existe correlación espacial, los valores del índice serán próximos a cero.

El otro modelo usado en el programa, es el denominado de “error espacial” autorregresivo (SAR), utilizando el mismo, la metodología de máxima verosimilitud (“Maximun Likelihood”) (ML) para la determinación de los campos de interés y parámetros estadísticos. Dicho modelos asume que la variable dependiente no está correlacionada por sí misma, sino que es el error de muestreo aleatorio el que está correlacionado. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera (Fórmula 3):

$$\text{Modelo de “error espacial”}: Y = X \beta + \varepsilon \quad (3)$$

Y: es un vector (n por 1) de observaciones de la variable dependiente.

X: la matriz de observaciones de las variables independientes.

ε : (Término de error espacial).

β : Vector de parámetros estimados.

Donde: $\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \mu$

Vale aclarar, que μ es el error de muestreo aleatorio que sigue una especificación autoregresiva espacial (SAR) con un coeficiente auto regresivo λ (Lambda), corregido también por la matriz de ponderaciones espaciales (W).

En cada caso en particular, la elección de uno u otro modelo espacial dependerá de lo que indiquen los tests de diagnóstico (Bongiovanni, 2002b).

Finalmente, la respuesta del maíz al N se estimó como una respuesta cuadrática en N por zona de manejo (Fórmula 4):

$$R = a + b*N + c*N^2 \quad (4)$$

Donde R es el rendimiento del maíz en quintales por hectárea (qq/ha) y N es la dosis de Nitrógeno aplicado mediante el fertilizante (Kg.N/ha). En tanto a, b y c son los coeficientes estimados mediante los dos modelos mencionados precedentemente, a partir de los cuales se realiza el análisis económico que a continuación se describe.

✓ **Dosis óptima económica (DOE):** A partir de las curvas de respuesta en rendimiento al agregado de fertilizante nitrogenado, se procedió a calcular la DOE empleando para ello el método de la curva de respuesta.

El mismo consistió en la descripción cuantitativa o matemática de las diferentes posibilidades de producción. Representando la relación técnica entre un factor de producción variable y un producto; y brinda el o los productos esperados, en términos físicos, para cada nivel de insumo, también en términos físicos. En términos matemáticos, la forma funcional cuadrática es la más usada para estudiar los procesos de producción agrícola (especialmente la respuesta del cultivo a los nutrientes), porque es la que presenta la mayor significancia estadística, se ajusta mejor a la teoría biológica y económica del proceso de respuesta, y es una de las más fáciles de computar. Para la fertilización nitrogenada, la función de producción cuadrática es la más usada, ya que permite controlar el nivel de insumos para alcanzar un objetivo deseado que, por lo general, es el de maximizar la rentabilidad (π), es decir, maximizar la diferencia entre el valor del producto y el costo de los insumos (Bongiovanni y Jess Lowenberg-deboer, 2006). (Fórmula 5):

$$\pi = py (\alpha + \beta N + \gamma N^2) - pN N - F \quad (5)$$

py: precio del Maíz (\$/qq)

pN: precio del N elemental (Urea/UAN) (\$/kg)

F: son los costos fijos

La primer derivada es: $\delta x / \delta N = py (\beta + 2\gamma N) - pN = 0$, y despejando, la cantidad óptima de N es: $N^* = [(pN / py) - \beta] / 2\gamma$.

La interpretación de esta operación matemática significa que el uso de una menor cantidad de insumo estaría sobrepagando ese insumo, y que una mayor cantidad de insumos no alcanzaría a cubrir su costo. Por ejemplo, en este caso de respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada, la rentabilidad es máxima cuando la respuesta marginal a un kg de N se iguala a los kg de grano que deben venderse para pagar por ese kg de N. Si la cantidad de N es mayor a esa igualdad, los kg de N que se agreguen no producirán un aumento de rendimiento suficiente como para pagar su costo. Si el N se reduce por debajo de esa igualdad, se pierden ganancias. En el punto de máximo rendimiento físico, el producto marginal del insumo es cero, por lo que no puede pagar el costo de insumos (Bongiovanni y Jess Lowenberg-deboer, 2006).

Vale aclarar, que para la determinación de los precios en los parámetros antes mencionados, se tomaron valores constantes de una serie de precios de la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) contemplada desde Enero de 2002 a Marzo 2010, dando como resultado una relación de precios N/Maíz de 0,869 \$/kg y 41 \$/qq respectivamente (Información provista por el Ing.Agr. Horacio Gil, Cátedra de Planeamiento Agropecuario, FAYV, UNRC).

Por otro lado, de acuerdo a la relación de precios mencionada precedentemente, se consideró pertinente efectuar un Análisis de Sensibilidad, con variaciones de +/- 10% y 20 % en ambos precios, para observar el impacto que la relación de precios podría generar en las DOE. El criterio en el uso de estos porcentajes, se basó en los desvíos estándares que se observaron en los precios de la serie mencionada.

Finalmente, se efectuó un cálculo de Margen Bruto, tomando al mismo como indicador importante para consolidar la toma de decisión comparando la diferencia entre las dos posibilidades de manejo en fertilización nitrogenada (por zonas de manejo versus una única zona de manejo). Para el cálculo del mismo se tomaron, de igual manera que para el análisis de sensibilidad, valores constantes de series de precios de AACREA y a su vez, se planteó un aumento en los costos provenientes por un lado, de las labores las cuales se

incrementan a causa del manejo con dosis variables y por el otro, en el asesoramiento técnico, ya que son mayores las horas de gabinete que demanda dicho manejo (Ing. Agr. Horacio Gil, comentario personal).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III. A) Al momento de 6 hojas:

El día 19/01/2009, fecha en que el cultivo se encontraba en estado ontogénico de V6, se procedió a la toma fotográfica de las dos franjas fertilizadas al momento de la siembra (una con alta suficiencia de N y otra con baja suficiencia de N), con el fin de evaluar las mismas, comparándolas en las distintas zonas de manejo para evaluar porcentajes de cobertura del cultivo en el mencionado estado fenológico.

Una vez en gabinete, se continuó con el procesamiento de dichas fotos mediante el empleo de los programas ENVI 4.5 y SISCOB para estimar la fracción de cubierta vegetal verde (*FCVV*) en ambos tratamientos y ambientes, y con esto sus respectivos Índices de Respuesta (IR).

III.A.1) Determinación del IR mediante el programa ENVI:

En una primera instancia, se analizaron la cantidad de píxeles de cada foto tomada, discriminando del total de píxeles, aquellos pintados en color rojo en cada fotografía, obteniendo luego un porcentaje de cubierta vegetal de dicha fotografía (**Figura 3**).

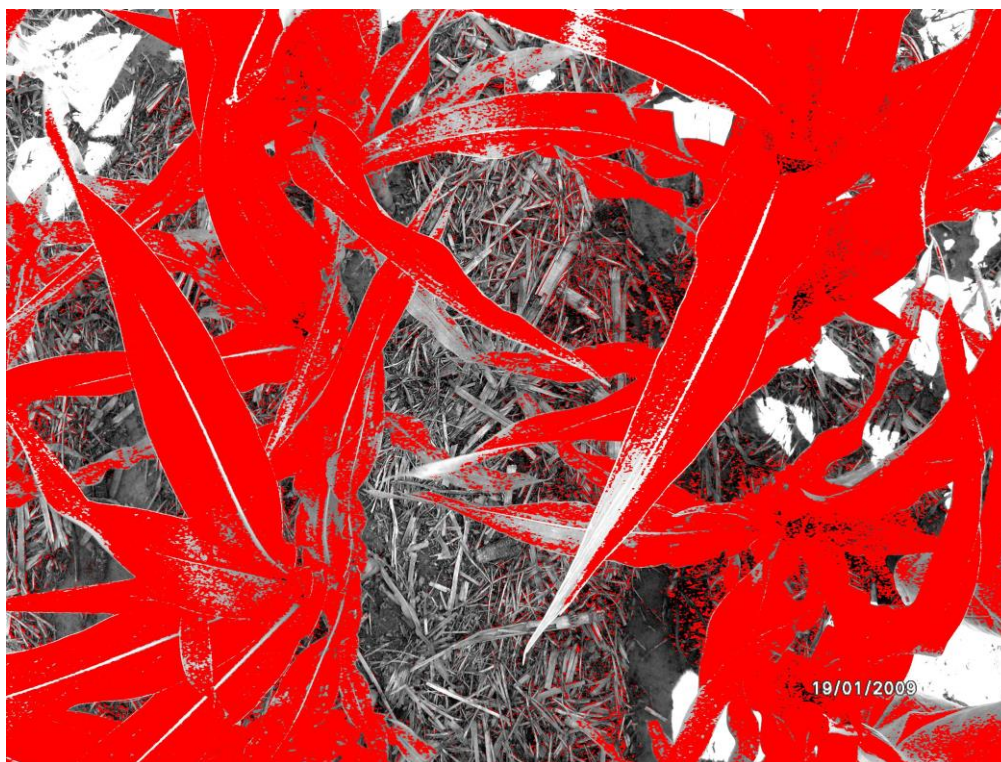


Figura 3: Fotografía digital obtenida luego su procesamiento mediante el programa ENVI, expresando la FCVV mediante coloración roja.

Luego del total de fotos tomadas por ambiente y tratamiento, se efectuó un promedio de porcentaje de cobertura, dato utilizado para el cálculo del IR. Los resultados obtenidos se expresan en las siguientes fórmulas:

$$IR Loma = \text{Promedio \% FCVV Franja N loma} / \text{Promedio \% FCVV Franja SN Loma}$$

$$IR Loma = 60,1 / 49,1$$

$$IR Loma = 1,22$$

$$IR Bajo = \text{Promedio \% FCVV Franja SN bajo} / \text{Promedio \% FCVV Franja N Bajo}$$

$$IR Bajo = 76,1 / 72,2$$

$$IR Bajo = 1,05$$

III.A.2) Determinación del IR mediante el programa SISCOB:

En este caso, el análisis se efectuó de manera más sencilla, ya que el programa analizaba fotos en conjunto por tratamiento y ambiente obteniendo con la corrida del programa, directamente los porcentajes de cobertura de hoja, suelo y suelo con luz (patrón

creado arbitrariamente con el criterio de no subestimar cobertura del suelo mejorando así el análisis) para el total de fotos por tratamiento y ambiente (**Figura 4**).



Figura 4: Fotografía obtenida luego del procesamiento de la misma mediante el programa SISCOB, expresando la FCVV mediante coloración verde y los patrones de suelo y suelo mas luz en los restantes 2 colores.

Los porcentajes obtenidos se detallan en las siguientes fórmulas:

$$IR Loma = \text{Promedio \% FCVV Franja N loma} / \text{Promedio \% FCVV Franja SN Loma}$$

$$IR Loma = 66,4/60,5$$

$$IR Loma = 1,097$$

$$IR Bajo = \text{Promedio \% FCVV Franja N bajo} / \text{Promedio \% FCVV Franja SN Bajo}$$

$$IR Bajo = 83,2/79,8$$

$$IR Bajo = 1,04$$

Los valores comparativos de IR entre los distintos programas y para cada posición topográfica se muestran en la **tabla 4**:

Tabla 4: IR obtenidos mediante los programas ENVI y SISCOB para dos posiciones topográficas (Loma y Bajo) y promedio general del mismo obtenido en el ensayo.

<i>Programa</i>	<i>Posición Topografica</i>	<i>Promedio IR</i>
<i>ENVI</i>	Loma	1,22
<i>ENVI</i>	Bajo	1,05
<i>SISCOB</i>	Loma	1,09
<i>SISCOB</i>	Bajo	1,04
<i>Promedio</i>		<i>1,1</i>

En una primera instancia, se observa que el programa SISCOB es más confiable en términos de predicción de respuestas de fertilización nitrogenada comparado con ENVI, ya que el mismo no confunde hoja con suelo al momento de discriminar los patrones en las imágenes (ver fotos).

Por otro lado, analizando el IR promedio y comparándolo con estudios realizados por Melchiori (2006) (**Grafico 1**), vemos que el mismo se encuadra con los resultados encontrados por el autor. Es decir, se presentan asociaciones entre el IR obtenido y los kg de N de fertilización recomendados por el autor para los distintos estados fenológicos. Esto se puede observar de mejor manera, remplazando el valor de IR promedio en la formula que se muestra en el **Grafico 1**. El autor plantea una dosis de 19 kg de N para un IR de 1,1; en el ensayo se observó que la dosis óptima recomendada para este lote sería de 36.3 kgN/ha (ver mas adelante los resultados de DOE obtenidos finalizada la cosecha).

No obstante esto, es pertinente destacar que la técnica empleada por Melchiori (2006) para la obtención de la FCVV fue distinta a la planteada en la metodología, ya que el autor utilizó un sensor denominado “Green Seeker” (GS), el cual calcula en forma directa los índices de verdes de la cubierta vegetal, a través de la reflectancia de distintas longitudes de onda generadas por los distintos colores.

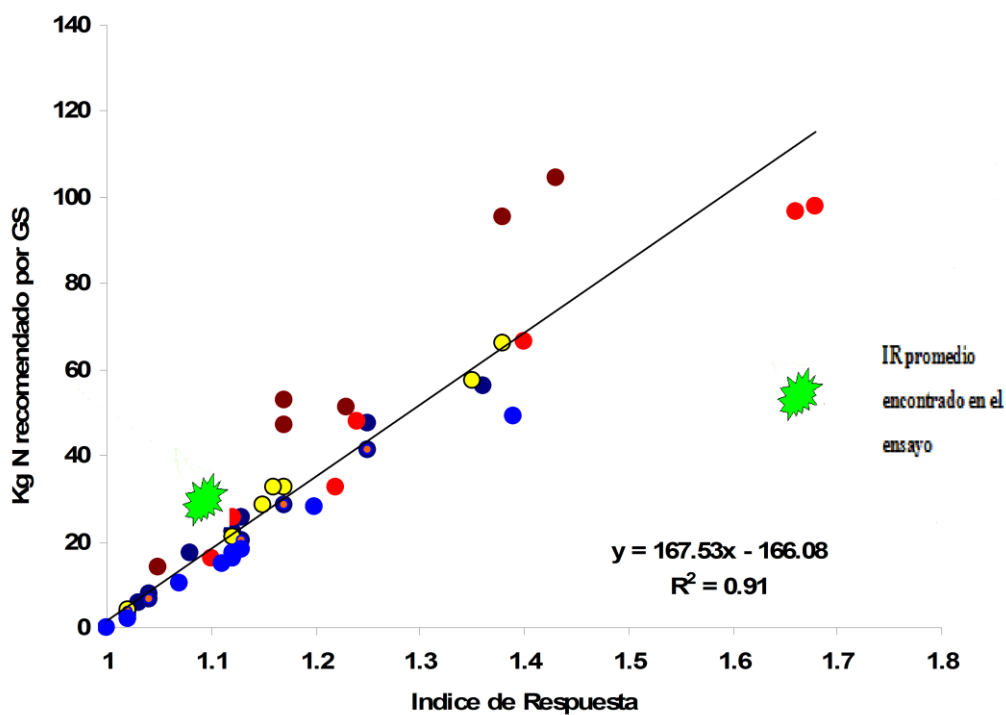
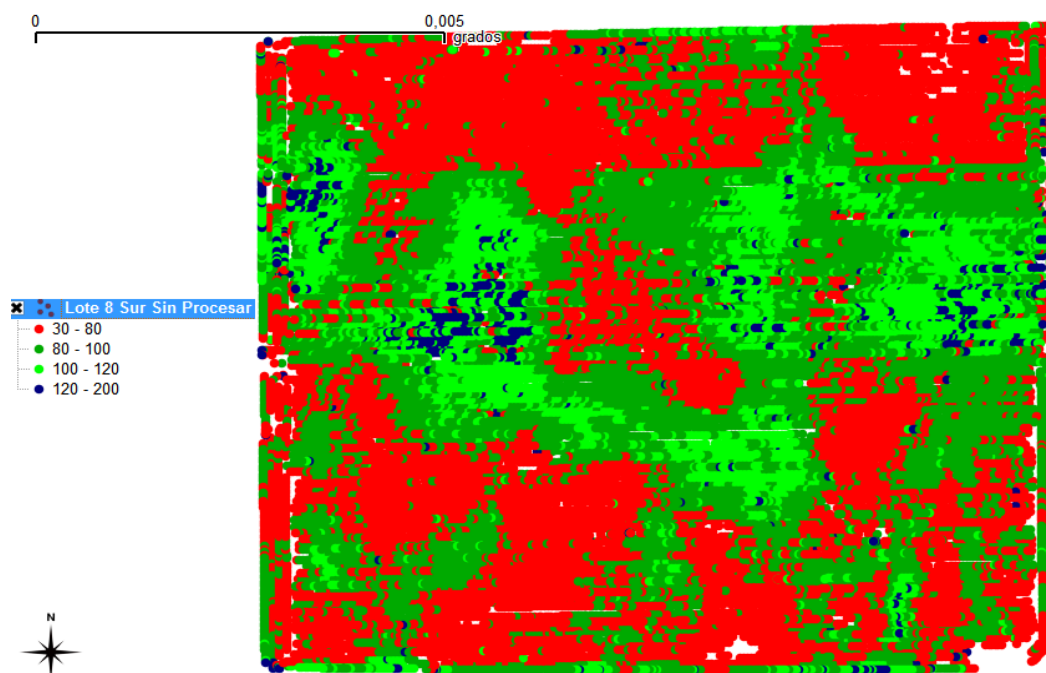


Gráfico 1: relación entre el índice de respuesta y rendimiento en maíz en distintos estados fenológicos según Melchiori (2006), mostrándose el IR promedio encontrado en el ensayo.

III. B) Finalizada la cosecha:

III.B.1) Rendimiento georeferenciado (Mapa de rendimiento):

Mediante el software ArcView 9.2 se procedió al análisis del mapa de rendimiento (Figura 5), el cual fue recibido en un principio, con datos (puntos) tanto consistentes como inconsistentes con la realidad.



**Figura 5: Mapa de rendimiento Lote 8 Sur, Estancia “El Piquete” (sin procesar: 25059 puntos)
(Los rangos de rendimiento se expresan en quintales por hectárea).**

La depuración y consolidación de los datos (puntos inconsistentes) se efectuó mediante la fórmula (2) (IQR), de los diferentes rangos de rendimiento (altos, medio y bajo) que a continuación se detalla:

$$IQR = Q3 \text{ (tercer cuartil o extremo mayor)} - Q1 \text{ (primer cuartil o extremo menor)} \times 1,5 \quad (2)$$

$$IQR = 103,5 - 80,5 \times 1,5$$

$$IQR = 34,5$$

Q1 - IQR = valores de puntos por debajo del valor arrojado se eliminan del mapa de rendimiento.

$$Q1 - IQR = 46 \text{ qq/ha}$$

Q3 + IQR = valores de puntos por encima del valor arrojado se eliminan del mapa de rendimiento

$$Q3 + IQR = 138 \text{ qq/ha}$$

Tras eliminar los valores de rendimiento menores y mayores a los valores mostrados precedentemente, se obtuvo un mapa con menor cantidad de puntos pero de mejor calidad para el análisis del rendimiento (**Figura 6**):

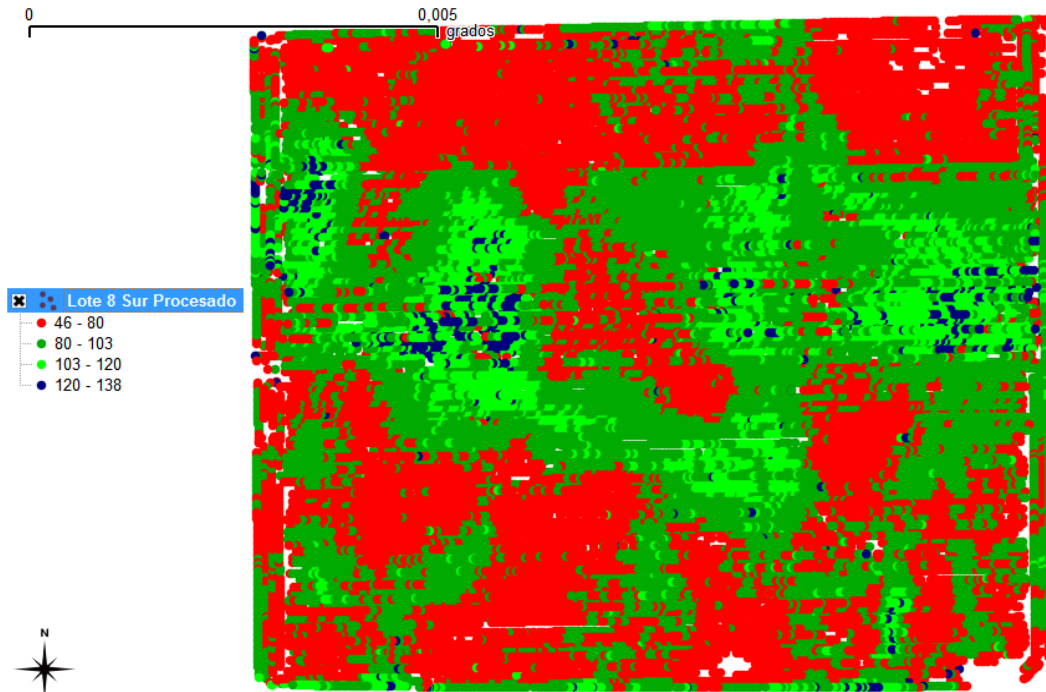
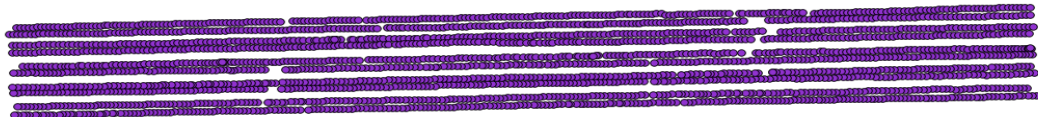


Figura 6: Mapa de rendimiento Lote 8 Sur, Estancia “El Piquete” (procesado: 24705 puntos). (Los rangos de rendimiento se expresan en quintales por hectárea).

Concluida la limpieza del mapa de rendimiento del lote completo, se procedió con el análisis de la franja tratada (**Figura 7**). Para lo cual, en una primera instancia, se debieron encontrar los tratamientos en el mapa de rendimiento. Esto se efectuó gracias a localización de los puntos extremos en cada tratamiento, mediante herramientas de información del software Arcview 3.2.

0 30
grados



© QGIS 2010

Figura 7: Franja de tratamientos dentro del lote 8 sur en la Estancia “El Piquete”. Las líneas de puntos representan cada uno de los tratamientos.

Como resultado del análisis se obtuvieron los siguientes puntos extremos y con estos los tratamientos expresados en lts de UAN por hectárea:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1) Punto 1-143 (0 lts/ha) | 6) Punto 709-849 (356 lts/ha) |
| 2) Punto 144-284 (83 lts/ha) | 7) Punto 850-991 (237 lts/ha) |
| 3) Punto 285-425 (166 lts/ha) | 8) Punto 992-1132 (0 lts/ha) |
| 4) Puntoo 426-566 (237 lts/ha) | 9) Punto 1133-1273 (356 lts/ha) |
| 5) Punto 567-708 (356 lts/ha) | 10) Punto 1274-1415 (83 lts/ha) |

Estos datos observados, es decir, cada uno de los polígonos del mapa de rendimiento (**Figura 8**), junto a los parámetros mencionados en la metodología, fueron analizados estadísticamente mediante el programa GEODA, efectuándose un análisis de regresión espacial, mediante los dos modelos planteados, obteniéndose como resumen de la salida estadística los resultados que se muestran en la **Tabla 5**.

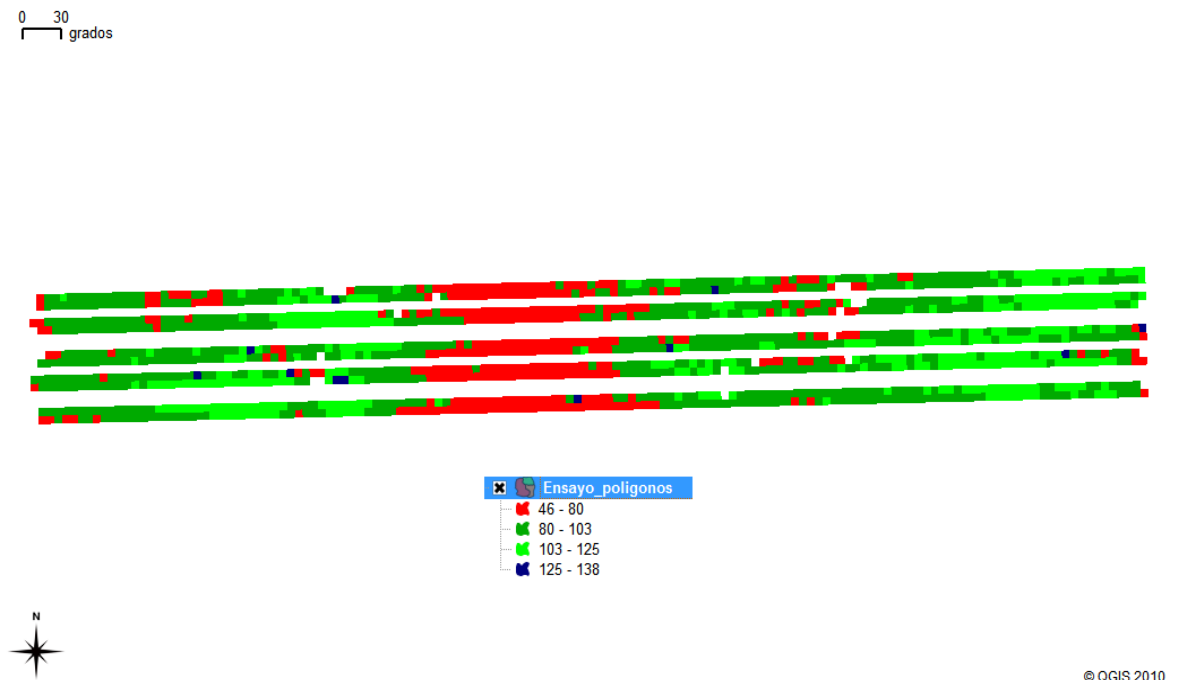


Figura 8: Mapa de Rendimiento del ensayo en polígonos. (Los rangos de rendimiento se expresan en quintales por hectárea).

Tabla 5: Resumen de los principales valores obtenidos del análisis estadístico espacial mediante el programa GEODA.

	<i>Modelo clasico (OLS) s/z</i>		<i>Modelo clasico (OLS) c/z</i>		<i>Modelo error espacial (SAR) c/z</i>		<i>Modelo error espacial (SAR) s/z</i>	
	Coef.(*)	Valor p	Coef.	Valor p	Coef.	Valor p	Coef.	Valor p
<i>ZMI (Cte" a".)</i>	89,65	0,000	85,11	0,000	85,71	0,000	89,15	0,000
<i>N "b"</i>	0,12	0,000	0,12	0,000	0,15	0,000	0,15	0,000
<i>N2 "c"</i>	-0,0008	0,000	-0,00079	0,000	-0,00099	0,000	-0,00099	0,000
<i>ZM 2</i>			10,84	0,000	8,29	0,000		
<i>ZM 2 x N</i>			-0,00028	0,990	-0,013	0,494		
<i>ZM 2 x N²</i>			-0,000085	0,560	-0,000033	0,790		
<i>Lambda (λ)</i>					0,64	0,000	0,76	0,000
Medidas de ajuste:								
<i>R²</i>	0,018		0,42		0,65		0,66	
<i>Criterio de Akaike</i>	10383		9728		9226		9300	
Tests Diagnóstico:								
<i>Moran's I (error)</i>	0,72		0,49					
<i>Lagrange Multiplier (lag)</i>	1339	0,000	662,32	0,000				
<i>Robust LM (lag)</i>	1,68	0,194	30,86	0,000				
<i>Lagrange Multiplier (error)</i>	1367,97	0,000	636,76	0,000				
<i>Robust LM (error)</i>	30,26	0,000	5,3	0,021				

s/z= sin zonas de manejo incluidas en el análisis estadístico (Zona única).

c/z= con zonas de manejo incluidas en el análisis estadístico (2 ZM).

(*) Los coeficientes están expresados en qq/ha.

Comenzando con el análisis de los estimadores obtenidos mediante el modelo clásico (OLS) sin contemplar ZM, podemos decir que los datos obtenidos a partir del mapa de rendimiento están correlacionados espacialmente. Esto se observa mediante el Índice de Moran's el cual es altamente significativo arrojando un coeficiente de 0,72. Por tal motivo,

con los fines de corregir y contemplar dicha dependencia espacial, se incluyeron en el modelo las ZM.

Tras el agregado de las ZM al modelo clásico, se observó que los efectos de autocorrelación espacial permanecían presente en el modelo, no mejorando de manera significativa. Esto se pudo apreciar, mediante dos Tests diagnósticos observados en la **Tabla 5**:

1) Por un lado, el Índice de Moran's, el cual continuó mostrando valores positivos (Índice de Moran's: 0,49).

2) Por otro, analizando los Tests de Lagrange Multiplier y Robust LM, los cuales en ambos casos, los valores tipo lag fueron mayores a los de tipo error; siendo que, por el contrario, para que los estimadores obtenidos permitan realizar cálculos económicos con precisión, los valores de Tests tipo error deben ser mayores a los de tipo lag, confirmándose de este modo, la no corrección de autocorrelación espacial (Anselin y Bera, 1998).

Continuando con el modelo de "error espacial" (SAR) sin ZM, podemos observar que se corrige de manera significativa la autocorrelación en los datos observados, es decir tiene en cuenta la estructura espacial de los datos para que generen coeficientes estimados más precisos en la función de respuesta de rendimiento, ya que corrigió la autocorrelación en el término de error de la regresión. Esto se apreció, a través de dos medidas de ajuste:

1) Por un lado, analizando la medida de ajuste de máxima verosimilitud a través del criterio de Akaike, criterio de selección de modelos no anidados el cual plantea la elección de aquellos modelos que tengan valores más bajos (Bongiovanni, 2002), se aprecia que es significativamente menor, con una reducción del mismo de 10383 y 9728 en OLS sin y con ZM incluidas respectivamente a 9300 en SAR sin incluir las ZM.

2) Por otro lado, el R^2 ajustado mejora de 0,018 y 0,42 para los modelos OLS sin y con ZM respectivamente a 0,66 para el modelo SAR sin ZM.

Con esto podemos decir, que el ajuste del modelo mejora considerablemente cuando se usa el modelo de "error espacial", corrigiendo la autocorrelación espacial. Esta mejora en las medidas de ajuste eran esperadas, ya que el coeficiente de error espacial (Lambda) es altamente significativo ($\lambda = 0,76$ con un $p < 0,001$).

Finalmente, observando el modelo de "error espacial" (SAR) incluyendo ZM en las medidas de ajuste, podemos decir que el criterio de Akaike mejora comparándolo con el mismo modelo sin ZM, pasando de 9300 a 9226 respectivamente. No obstante esto, es

pertinente resaltar que dicha diferencia no es significativa. Con cual podemos concluir que la inclusión de las ZM en el modelo de ajuste de “error espacial” no tuvieron efectos significativos respecto al mismo modelo sin las ZM, siendo este último el más apropiado a usar como modelo de respuesta del Maíz a la fertilización Nitrogenada para el cálculo de DOE.

III.B.2) Dosis óptima económica por ambiente (DOEA):

La curva de respuesta utilizando los coeficientes obtenidos a través del modelo de ajuste de “error espacial” sin considerar las ZM se presentan en el **Gráfico 2**:

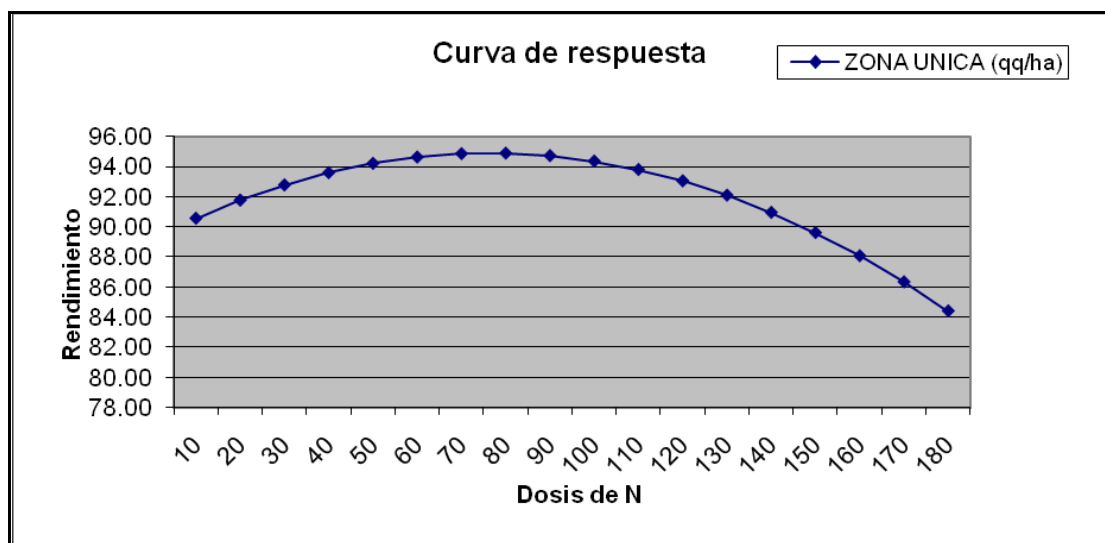


Gráfico 2: Curvas de respuesta de rendimiento esperado para distintas dosis de N, obtenido a través del modelo de “error espacial” sin ZM (Zona única).

A partir de esta relación se estimó la dosis óptima económica (DOE) según la ecuación (5) planteada en la metodología, con una relación de precios N/Maíz de 0,869 \$/kg y 41 \$/qq respectivamente obteniéndose como resultado la aplicación de 36.3 kg de N/ha como aquella que genera el máximo beneficio económico, obteniendo con la misma un rendimiento de 93.3 qq/ha (**Tabla 6**).

Tabla 6: Coeficientes estimados, DOE y Rendimiento, obtenidos a partir del modelo de regresión “error espacial” sin ZM.

	<i>Cte</i>	<i>N</i>	<i>N2</i>	<i>DOE(kgN/ha)</i>	<i>RTO(qq/ha)</i>
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
ZONA UNICA	89,15000	0,150	-9,80E-04	36.3	93.3

Con el fin de examinar las posibles variaciones en términos de DOE ante posibles cambios en la relación de precios de los dos insumos (Maíz y Fertilizante) se procedió a efectuar un análisis de sensibilidad, observándose que el impacto que generaría una variación en la relación de precios produciría grandes cambios en DOE, siendo la diferencia entre los valores extremos (16.21 y 49.72) de 33 kgN/ha. Los resultados se detallan en la **Tabla 7**.

<i>Pmaíz</i> \ <i>PN</i>	<i>-20%</i>	<i>-10%</i>	<i>Promedio (0,869)</i>	<i>+10%</i>	<i>+20%</i>
<i>-20%</i>	36.32	31.29	26.27	21.24	16.21
<i>-10%</i>	40.79	36.32	31.85	27.38	22.91
<i>Promedio (11)</i>	44.36	40.34	36.32	32.30	28.28
<i>+10%</i>	47.29	43.63	39.97	36.32	32.66
<i>+20%</i>	49.72	46.37	43.02	39.67	36.32

Tabla 7: DOE obtenidas ante distintos escenarios como consecuencia de una variación en la relación de precios del Maíz y el Fertilizante Nitrogenado

Si bien en el análisis estadístico se observaron indicadores que justificaban el uso del modelo de “error espacial” sin ZM como el más apropiado para el uso en curvas de respuesta, se consideró pertinente estimar los valores de DOE y rendimiento mediante los coeficientes del modelo de “error espacial” contemplando las 2 ZM. El objetivo fue confirmar lo arrojado por la salida estadística, pero en términos económicos, a través del cálculo de Margen Bruto, en el cual se comparó las dos formas de manejo de fertilización nitrogenada (ZM única versus 2 ZM). Los valores obtenidos se muestran en las **Tabla 8 y 9**:

Tabla 8: Coeficientes estimados, DOE y Rendimiento, obtenidos a partir del modelo de regresión “error espacial” con ZM.

	<i>Cte</i>	<i>N</i>	<i>N2</i>	<i>DOE(kgN/ha)</i>	<i>RTO(qq/ha)</i>
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
ZM1	85,71000	0,150	-9,90E-04	36	90
ZM2	94,00000	0,137	-1,02E-03	28	97

Tabla 9: Análisis económico (Margen Bruto), comparando dosis promedio de nitrógeno para una única ZM versus dosis variable en 2 ZM.

	DOSIS PROMEDIO ZONA UNICA	DOSIS VARIABLE POR ZM	
		ZM 1	ZM 2
DOE (kgN/ha)	36.3	36	28
SUPERFICIES (ha)	84	54	30
COSTOS (U\$S / HA)			
Labores	37.28	44.4	44.4
Semillas - Herb. - Insect.	110	110	110
Fertilizantes	27.808	31.284	24.332
Asesoramiento técnico	15	25	25
COSTO TOTAL U\$S/HA			
	190.088	210.684	203.732
INVERSIÓN TOTAL U\$S			
	15967.392	11376.936	6111.96
FERTILIZANTE TOTAL (KGS)			
	2688	1944	840
RENDIMIENTO tn/ha (con la DOE)			
	9.3	9	9.7
U\$S / TONELADA			
	110	110	110
INGRESO U\$S/HA			
	1023	988	1068
INGRESO NETO/HA			
	833	777	864
M. BRUTO POR ZONA U\$S			
	69964.608	41964.264	25931.04
M. BRUTO TOTAL DEL LOTE U\$S			
	69964.608	67895.304	
M. BRUTO U\$S/HA			
	832.912	808.2774286	

Observando la **Tabla 8**, se puede ver como resultado, DOE de 36 kgN/ha y 28 kgN/ha para las ZM 1 y ZM 2 respectivamente, obteniéndose con estos valores de fertilización rendimientos de 90 y 97 qq/ha en las ZM 1 y 2 respectivamente.

Comparando estos valores de fertilización por ZM, versus un manejo de fertilización con una única zona de manejo, es decir la aplicación promedio de fertilizante que maximiza el beneficio económico (36.3 kgN/ha) (**Tabla 6**), se observa una diferencia en términos de Margen Bruto de 26.3 U\$S/ha a favor de dosis promedio de nitrógeno para una única ZM (**Tabla 9**). Ergo, se confirma lo expresado en el análisis estadístico, esto es, que para éstas zonificaciones realizadas por la empresa consultora y para este lote en particular, no es conveniente el manejo sitio-específico del N por ZM, frente a una dosis uniforme para todo el lote.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados encontrados, se rechaza la hipótesis planteada, es decir, la respuesta al N y las DOE de N no difirieron en las dos ZM dentro del lote, tanto en términos estadísticos, como así también económicos. Por lo tanto, para este lote de producción, la DOE debería ser uniforme.
- Es posible que la variabilidad entre ZM no haya sido suficiente o que dichas zonas no están correctamente sectorizadas, para justificar la aplicación variable de N. Se debe tener en cuenta que la delimitación de las ZM fueron efectuadas mediante la consultora agronómica que asesora al establecimiento, pudiendo ser esta una de las causas en la diferencia de los valores esperados.
- La relación entre el IR y la DOE de N hallada se encuadra dentro de la correlación entre ambos actualmente propuesta.

CAPITULO VI: LINEAS DE INVESTIGACION SUGERIDAS

- Seria conveniente evaluar metodologías objetivas para la delimitación de ZM.
- Se debe tener en cuenta que estos resultados son preliminares ya que son producto de un solo sitio experimental y de un solo año de estudio y no cubre el rango de todas las condiciones posibles. Se considera que es necesario contar en el futuro con mayor cantidad de escenarios para ampliar las conclusiones obtenidas hacia otras condiciones.
- Si bien las dosis de fertilización nitrogenada de 36.3 kgN/ha. coincidirían con valores de recomendación obtenidos a través otras metodologías de diagnóstico, se considera pertinente continuar con ensayos a campo utilizando la metodología planteada con el fin generar mayores bases de datos y así un IR calibrado y con interpretaciones agronómicas locales que lo hagan más confiable con resultados que permitan el uso del NDVI como herramienta útil y económica para evaluar la condición nutricional del cultivo durante el ciclo de crecimiento (considerando las variaciones espaciales) mejorándose el diagnóstico de la fertilización nitrogenada e incrementar la EUN.

BIBLIOGRAFÍA

ANSELIN, L. Y A. BERA. 1998. **Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics**. En: Handbook of Applied Economic Statistics. New York: Marcel Dekker, p: 237-289.

ANSELIN, L. 1999. **Spatial Econometrics**. School of Social Sciences, University of Texas at Dallas, Richardson, TX 75083-0688. 31p.

AKRIDGE, J. y L. WHIPKER. 1999. **Precision Agricultural Services and Enhanced Seed Dealership Survey Results**. Center for Agricultural Business, Purdue University, Staff Paper. 6p.

BEST, S.; J. HIRZEL; E. RUZ; L. FLORES; A. VIDAL. 2002. Uso de criterios de variabilidad espacio-temporal para la fertilización nitrogenada de maíz. **Actas IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo**. SCCS - Universidad de Talca. Talca, Chile.

BONGIOVANNI, R. 2002a. **A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production**. Ph.D. Tesis. Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN (EUA). p: 280-306

BONGIOVANNI, R. 2002b. Análisis económico de la variabilidad en la respuesta al nitrógeno en el espacio y en el tiempo: resultados de los ensayos a campo. **IV Curso de Agricultura de Precisión: 1-4**. INTA-Manfredi, Córdoba, Argentina.

BONGIOVANNI, R. 2002c. Método para establecer el valor de la agricultura de precisión: respuesta del maíz al nitrógeno en ensayos a campo. **IV Curso de Agricultura de Precisión: 1-17**. INTA-Manfredi, Córdoba, Argentina.

BONGIOVANNI, R. 2002d. **Econometría espacial: una herramienta clave para el manejo sitio-específico de insumos**. En: Actas del Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América. Carlos Paz, Argentina. p: 17-19

BONGIOVANNI, R. 2003. Agricultura de precisión y dosis variable: análisis económico del manejo de nitrógeno en maíz. **VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural: 1-21**. Balcarce, Argentina.

BONGIOVANNI, R. 2006. **Econometría espacial**. Libro agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Editorial PROCISUR. Cap.8.2. p: 162-165.

BONGIOVANNI, R. y 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 5to. Congreso Internacional de Agricultura de Precisión**: 1-17. Bloomington, Minnesota.

BONGIOVANNI, R Y J. LOWENBERG-DEBOER. 2006. **Viabilidad económica**. Libro agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Editorial PROCISUR. Cap.9. p: 171-184.

BRAGACHINI, M. 1999. **Mercado Actual de Maquinaria Agrícola**. INTA Manfredi, Argentina.

BRAGACHINI, M.; A. MÉNDEZ; F. SCARAMUZZA; F. PROIETTI. 2005. **Proyecto Agricultura de Precisión**. INTA Manfredi, Argentina. p: 1-12

BRAGACHINI, M.; A. MENDEZ; F. SCARAMUZZA; F. PROIETTI. 2006. **Monitoreo de rendimiento y elaboración de mapas**. Libro agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Editorial PROCISUR. Cap.3. p: 45-55.

BRAVO, O.; N. AMIOTTI; J. RHOLLAUSER; P. ZALVA. 2004. Variabilidad de suelos y su incidencia en el rendimiento de trigo a nivel de predio. **Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná, Argentina. En CD.

BULLOCK, D.S.; S. SWINTON; J. LOWENBERG-DEBOER. 2002. **Can Precision Agricultural Technology Pay For Itself? The Complementarity of Precision Agriculture Technology and Information**. En: Agricultural Economics. Publicado por The International Association of Ag Econ.

CANTERO, G. A.; E. M. BRICCHI; B. H. BECERRA; J. M. CISNEROS; H. A. GIL. 1986. **Zonificación y descripción de las tierras del Departamento de Río Cuarto (Córdoba)**. Editorial de la Fundación UNRC. Río Cuarto.

CASTILLO, C.; G ESPOSITO; R. BALBOA. 2006. Fertilización del Maíz en el sur de Córdoba. Interacción entre Nitrógeno y Azufre. **XX congreso Argentino de la ciencia del suelo**. Salta-Jujuy, Argentina.

DAMPNEY, P. y M. MOORE. 1998. Precision agriculture in England: Current practice and reserch-based advice to farmers. **4th International Conference on Precision Agriculture**: 661-674. St. Paul, MN (EUA).

DOERGE, T. 1999. **Management zone concepts**. Site-specific management guideline No. 2. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.

ESSER, A. Y R. ORTEGA BLU. 2002. **Aplicaciones de la viticultura de precisión en Chile: Estudio de casos**. Agronomía y Forestal UC 5 (17):17-21.

FLEMING, K.; D. WESTFALL; D. WIENS. 1999. **Field testing management zones for VRT**. Site-specific management guideline No. 21. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.

FLORES, L.; S. BEST; N. RODRÍGUEZ; J. SOTOMAYOR; E. RUZ. 2002. Variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo y su influencia en el rendimiento y calidad de las uvas. **Actas IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo**. SCCS - Universidad de Talca. Talca, Chile.

FRANZEN, D. W. Y N. R. KITCHEN. 1999. **Developing management zones to target nitrogen applications**. Site-specific management guideline No. 5. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.

FREEMAN, K.W.; K. GIRMA; B.D ARNALL;W. MULLEN; W.R. RAUN. 2006. **By-Plant Prediction of Corn Forage Biomass and Nitrogen Uptake at Various Growth Stages Using Remote Sensing and Plant Height**. En: Agron J 100:1094-1100

GARCÍA, F. 2002. Beneficios potenciales del uso de las herramientas de agricultura de precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes. **III Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América**. Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

GARCIA, F. 2008. **“Fertilización y eficiencia”**. Suplemento agropecuario Clarín Buenos Aires. Noviembre 2008. 20p.

GREGORET, M. C.; J. DARDANELLI; R. BONGIOVANNI. 2006. **Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en un haplustol**. En: *Cienc. Suelo*, ago. /dic. 2006. Volumen.24 (2). p: 147-159.

GOOGLE MAPS. 2010. **Google datos de mapa, Europa technologies**. En: <http://maps.google.com/> Consultado: 11/10/09.

HATFIELD, J. 2000. **Precision Agriculture and Environmental Quality: Challenges for Research and Education**. Agricultural Research Service, USDA, Ames, IA (EUA). En: <http://www.arborday.org>. Consultado: 29-11-08.

INTA. 2003. **Suelos y Ambientes de la Republica Argentina**. En: <http://www.inta.gov.ar/info/mapa/suelosambientes/cordoba.jpg> Consultado: 11/10/09.

KATSVAIRO, T. W.; W.J COX,; H.M VAN ES. 2003. **Spatial growth and nitrogen uptake variability of corn at two nitrogen levels**. *Agron. J.* 95:1000–1011

LINSLEY, C. Y F. BAUER. 1929. **Test Your Soil for Acidity**. University of Illinois, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station. Circular 346, Agosto, 1929.

LOWENBERG-DEBOER J. y S. SWINTON. 1997. **Economics of Site-Specific Management in Agronomic Crops**. En: Pierce, F. y E. Sadler (eds) *The State of Site-Specific Management for Agriculture*. ASA-CSSA-SSA. Madison, Wisconsin, EE.UU. Cap.16. p: 369-396.

LUCHIARI, A.; J. SHANAHAN; D. FRANCIS; M. SCHLEMMER; J. SCHEPERS; M. LIEBIG. 2000. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. **5th International Conference on Precision Agriculture**. Precision Agriculture Center, ASA, CSSA and SSSA, MN (EUA). En CD.

MALLARINO, A. 2001. Manejo de nutrientes sitio-específico con énfasis en el muestreo de suelos y la fertilización variable con fósforo y potasio. **Tercera Jornada de**

Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2001”. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

MELCHIORI, R.; F. GARCIA; H. ECHEVERRÍA. 2000. Variabilidad espacial en algunas propiedades del suelo. II. Manejo del N por sitio específico en el cultivo de trigo. **Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Mar del Plata, Buenos Aires. AACs. En CD.

MELCHIORI, R. 2002. Manejo sitio-específico de nitrógeno en maíz: Evaluación del N-sensor. **Actas X Congreso Nacional de AAPRESID.** Rosario, Santa Fe.

MELCHIORI, R. 2006. El desplazamiento del borde rojo en el diagnóstico del estado nutricional nitrogenada en maíz. **XX congreso Argentino de la ciencia del suelo.** Salta-Jujuy, Argentina. 280p.

MELCHIORI, R. 2007. Estado actual del manejo sitio específico de nitrógeno en argentina p.: 77-84. En: Villarroel, D. y A. Méndez (eds) Libro 7mo. **Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Maquinas Precisas.**

MIGUEZ, F. 2006. **Análisis de la rentabilidad del cultivo de soja en argentina.** En: www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/Contenidos/Workshops/agroneg_02.pdf. Consultado: 29-11-08

PIERCE, F. J. y P. NOWAK. 1999. **Aspects of precision agriculture.** En: D Spark (ed) Advance in Agronomy Academic Press 67: 1-85.

PORTUGAL, A. 2006. **Aporte del maíz a la sustentabilidad del sistema de producción agrícola pampeano.** En: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=228>. Consultado: 29-11-2008

RAUN R. W. Y G. V. JOHNSON. 1999. **Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production.** En: Agron. J. 91:357-363.

RAUN, R. W.; R.K TEAL; B. TUBANA; K. GIRMA; W.K FREEMAN; O. WALSH. 2006. **In-Season Prediction of Corn Grain Yield Potential Using Normalized Difference Vegetation Index.** En: Agron. J 98:1488-1494

REETZ, H. 1999. La fertilización con P y K en los cultivos de maíz y soja. **Actas VII Congreso Nacional de AAPRESID**. Mar del Plata, Buenos Aires.

SCHARF, P. Y J. LORY. 2000. Calibration of remotely-sensed corn color to predict nitrogen need. **Proceedings of the V International Conference on Precision Agriculture**. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU.

SCHEPERS, J. 2002. Nitrogen management: New technologies for management and diagnosis of nitrogen fertilization. **Actas X Congreso Nacional de AAPRESID**. Rosario, Santa Fe.

SIQUEIRA, G.; R.G GREGO; S. VIEIRA; M. CEDDIA. 2006. Variabilidad espacial y temporal de la permeabilidad del suelo en el cultivo de Triticale en sistemas de siembra directa. **Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina. 179p.

SOLBRIG, O. 2005. “Diez mil años en tres días”. Suplemento agropecuario Clarín Buenos Aires. Junio 2005. 24p.

SOLIE, J. B.; W.R RAUN; R.W WHITNEY; M.L STONE; J.D. RINGER. 1996. **Optical sensor based field element size and sensing strategy for nitrogen application**. Trans. ASAE 39(6):1983–1992.

STONE, M.L; J.B SOLIE; W.R RAUN; R.W WHITNEY; S.L TAYLOR,; J. D. RINGER. 1996. **Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat**. Trans. ASAE 39:1623–1631.

VIEIRA, S. R.; C.R GREGO; G.M SIQUIERA; F.M MIGUEL; F. A. PAVLU. 2006. Variabilidad espacial del almacenamiento de agua del suelo bajo siembra directa. **Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**: Salta-Jujuy, Argentina. 178p.

ZUBILLAGA M.M.; P.A CIPRIOTTI; M. J. BARROS. 2006a. Asociaciones espaciales entre el N mineralizado y otras variables edáficas a nivel de lote. **Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina. 247p.

ZUBILLAGA M.M.; M. CARMONA; M.A LATORRE; M. FALCON; M.J. BARROS. 2006b. Estructura espacial de variables edáficas a nivel de lote en Vedia-Provincia de Buenos Aires. **Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina. 288p.

ANEXOS

Tabla 10: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa ENVI para la franja sin fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica loma.

<i>Foto N°</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Píxeles Totales</i>	<i>Píxeles Pintados en rojo</i>	<i>%hoja (FCVV)</i>
<i>Franja SN loma 109</i>	3072	2304	7077888	3176343	44,9
<i>Franja SN loma 110</i>	3072	2304	7077888	4066950	57,5
<i>Franja SN loma 111</i>	3072	2304	7077888	3468174	49,0
<i>Franja SN loma 112</i>	3072	2304	7077888	3504560	49,5
<i>Franja SN loma 113</i>	3072	2304	7077888	3309853	46,8
<i>Franja SN loma 114</i>	3072	2304	7077888	4877720	68,9
<i>Franja SN loma 115</i>	3072	2304	7077888	3453367	48,8
<i>Franja SN loma 116</i>	3072	2304	7077888	3105387	43,9
<i>Franja SN loma 117</i>	3072	2304	7077888	3150147	44,5
<i>Franja SN loma 118</i>	3072	2304	7077888	3783650	53,5
<i>Franja SN loma 119</i>	3072	2304	7077888	3602403	50,9
<i>Franja SN loma 120</i>	3072	2304	7077888	3309401	46,8
<i>Franja SN loma 121</i>	3072	2304	7077888	3359001	47,5
<i>Franja SN loma 122</i>	3072	2304	7077888	3006016	42,5
<i>Franja SN loma 123</i>	3072	2304	7077888	4218648	59,6
<i>Franja SN loma 124</i>	3072	2304	7077888	2817153	39,8
<i>Franja SN loma 125</i>	3072	2304	7077888	2643166	37,3
<i>Franja SN loma 126</i>	3072	2304	7077888	2818801	39,8
<i>Franja SN loma 127</i>	3072	2304	7077888	4212513	59,5
<i>Franja SN loma 128</i>	3072	2304	7077888	3622110	51,2
				Promedio FCVV (%):	49,1

Tabla 11: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa ENVI para la franja con alta fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica loma.

<i>Foto N°</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Píxeles Totales</i>	<i>Píxeles Pintados en rojo</i>	<i>% hoja (FCVV)</i>
<i>Franja N loma 088</i>	3072	2304	7077888	3823610	54,0
<i>Franja N loma 089</i>	3072	2304	7077888	3955491	55,9
<i>Franja N loma 090</i>	3072	2304	7077888	4567260	64,5
<i>Franja N loma 091</i>	3072	2304	7077888	4107513	58,0
<i>Franja N loma 092</i>	3072	2304	7077888	4616294	65,2
<i>Franja N loma 093</i>	3072	2304	7077888	4114320	58,1
<i>Franja N loma 094</i>	3072	2304	7077888	4360157	61,6
<i>Franja N loma 095</i>	3072	2304	7077888	4415471	62,4
<i>Franja N loma 096</i>	3072	2304	7077888	3950123	55,8
<i>Franja N loma 097</i>	3072	2304	7077888	4254961	60,1
<i>Franja N loma 098</i>	3072	2304	7077888	3647560	51,5
<i>Franja N loma 099</i>	3072	2304	7077888	4335713	61,3
<i>Franja N loma 100</i>	3072	2304	7077888	3624425	51,2
<i>Franja N loma 101</i>	3072	2304	7077888	4410970	62,3
<i>Franja N loma 102</i>	3072	2304	7077888	3888380	54,9
<i>Franja N loma 103</i>	3072	2304	7077888	4252157	60,1
<i>Franja N loma 104</i>	3072	2304	7077888	4985964	70,4
<i>Franja N loma 105</i>	3072	2304	7077888	4729663	66,8
<i>Franja N loma 106</i>	3072	2304	7077888	5176888	73,1
<i>Franja N loma 107</i>	3072	2304	7077888	4577701	64,7
				Promedio FCVV (%) :	60,6

Tabla 12: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa ENVI para la franja sin fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica bajo.

<i>Foto N°</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Píxeles Totales</i>	<i>Píxeles Pintados en rojo</i>	<i>%hoja (FCVV)</i>
<i>Franja SN bajo 135</i>	3072	2304	7077888	5104328	72,1
<i>Franja SN bajo 136</i>	3072	2304	7077888	4966205	70,2
<i>Franja SN bajo 137</i>	3072	2304	7077888	5499105	77,7
<i>Franja SN bajo 138</i>	3072	2304	7077888	4388993	62,0
<i>Franja SN bajo 139</i>	3072	2304	7077888	5155806	72,8
<i>Franja SN bajo 140</i>	3072	2304	7077888	5517761	78,0
<i>Franja SN bajo 141</i>	3072	2304	7077888	5113992	72,3
<i>Franja SN bajo 142</i>	3072	2304	7077888	4134460	58,4
<i>Franja SN bajo 143</i>	3072	2304	7077888	5295721	74,8
<i>Franja SN bajo 144</i>	3072	2304	7077888	5336925	75,4
<i>Franja SN bajo 145</i>	3072	2304	7077888	4760235	67,3
<i>Franja SN bajo 146</i>	3072	2304	7077888	4977847	70,3
<i>Franja SN bajo 147</i>	3072	2304	7077888	4630079	65,4
<i>Franja SN bajo 148</i>	3072	2304	7077888	5105646	72,1
<i>Franja SN bajo 149</i>	3072	2304	7077888	5246701	74,1
<i>Franja SN bajo 150</i>	3072	2304	7077888	4956062	70,0
<i>Franja SN bajo 151</i>	3072	2304	7077888	5439544	76,9
<i>Franja SN bajo 152</i>	3072	2304	7077888	5225279	73,8
<i>Franja SN bajo 153</i>	3072	2304	7077888	5684254	80,3
<i>Franja SN bajo 154</i>	3072	2304	7077888	5685680	80,5
				Promedio FCVV (%) :	72,2

Tabla 13: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa ENVI para la franja con fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica Bajo.

<i>Foto N°</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Dimensión (en píxeles)</i>	<i>Total</i>	<i>Píxeles Pintados en rojo</i>	<i>% hoja(FCVV)</i>
<i>Franja N bajo 064</i>	3072	2304	7077888	5308945	75,0
<i>Franja N bajo 065</i>	3072	2304	7077888	5152859	72,8
<i>Franja N bajo 066</i>	3072	2304	7077888	5499048	77,7
<i>Franja N bajo 067</i>	3072	2304	7077888	5755378	81,3
<i>Franja N bajo 068</i>	3072	2304	7077888	5392718	76,2
<i>Franja N bajo 069</i>	3072	2304	7077888	5704448	80,6
<i>Franja N bajo 070</i>	3072	2304	7077888	5796233	81,9
<i>Franja N bajo 071</i>	3072	2304	7077888	5708853	80,7
<i>Franja N bajo 072</i>	3072	2304	7077888	5172194	73,1
<i>Franja N bajo 073</i>	3072	2304	7077888	5680817	80,3
<i>Franja N bajo 074</i>	3072	2304	7077888	5130183	72,5
<i>Franja N bajo 075</i>	3072	2304	7077888	5131770	72,5
<i>Franja N bajo 076</i>	3072	2304	7077888	4964728	70,1
<i>Franja N bajo 077</i>	3072	2304	7077888	5099388	72,0
<i>Franja N bajo 078</i>	3072	2304	7077888	5468446	77,3
<i>Franja N bajo 079</i>	3072	2304	7077888	5636152	79,6
<i>Franja N bajo 080</i>	3072	2304	7077888	5453278	77,0
<i>Franja N bajo 081</i>	3072	2304	7077888	5308006	75,0
<i>Franja N bajo 082</i>	3072	2304	7077888	5086811	71,9
<i>Franja N bajo 083</i>	3072	2304	7077888	5196289	73,4
<i>Franja N bajo 084</i>	3072	2304	7077888	5452023	77
				Promedio FCVV (%) :	76,1

Tabla 14: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa SISCOB para la franja sin fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica loma.

<i>Foto N°</i>	<i>% hoja (FCVV)</i>	<i>%suelo</i>	<i>%suelo luz</i>
<i>Franja SN loma 109</i>	68,6	21,3	9,9
<i>Franja SN loma 110</i>	64,8	29,9	5,2
<i>Franja SN loma 111</i>	56,3	35,5	8,1
<i>Franja SN loma 112</i>	58,6	33,8	7,5
<i>Franja SN loma 113</i>	52,9	35,8	5,5
<i>Franja SN loma 114</i>	80,5	14,1	5,3
<i>Franja SN loma 115</i>	60,9	30,9	8,1
<i>Franja SN loma 116</i>	55,7	36,4	7,7
<i>Franja SN loma 117</i>	55,6	36,5	7,6
<i>Franja SN loma 118</i>	63,7	29,2	7,0
<i>Franja SN loma 119</i>	62,2	30,6	7,1
<i>Franja SN loma 120</i>	55,2	36,9	7,8
<i>Franja SN loma 121</i>	57,5	32,9	9,4
<i>Franja SN loma 122</i>	51,6	40,1	8,2
<i>Franja SN loma 123</i>	69,9	25,9	4,1
<i>Franja SN loma 124</i>	52,0	39,6	8,8
<i>Franja SN loma 125</i>	50,9	39,5	9,4
<i>Franja SN loma 126</i>	55,6	34,0	10,2
<i>Franja SN loma 127</i>	70,6	24,3	5,0
<i>Franja SN loma 128</i>	66,9	26,2	6,9
<i>Promedio:</i>	60,5	31,7	7,7

Tabla 15: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa SISCOB para la franja con fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica loma.

<i>Foto N°</i>	<i>% hoja (FCVV)</i>	<i>%suelo</i>	<i>%suelo luz</i>
<i>Franja N loma 088</i>	62,4	30,6	6,8
<i>Franja N loma 089</i>	63,2	29,7	7,0
<i>Franja N loma 090</i>	69,1	24,2	6,5
<i>Franja N loma 091</i>	63,4	29,3	7,1
<i>Franja N loma 092</i>	72,1	23,3	4,5
<i>Franja N loma 093</i>	66,9	28,3	4,6
<i>Franja N loma 094</i>	66,2	28,5	5,2
<i>Franja N loma 095</i>	67,9	25,0	7,0
<i>Franja N loma 096</i>	62,3	30,6	7,0
<i>Franja N loma 097</i>	64,6	28,9	6,3
<i>Franja N loma 098</i>	57,8	35,2	6,9
<i>Franja N loma 099</i>	65,2	28,4	6,2
<i>Franja N loma 100</i>	57,3	35,1	7,5
<i>Franja N loma 101</i>	65,0	28,1	6,8
<i>Franja N loma 102</i>	61,1	32,6	6,2
<i>Franja N loma 103</i>	63,5	31,9	4,5
<i>Franja N loma 104</i>	75,2	19,8	4,8
<i>Franja N loma 105</i>	70,7	25,4	3,7
<i>Franja N loma 106</i>	81,1	16,0	2,8
<i>Franja N loma 107</i>	72,5	20,3	7,1

Tabla 16: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa SISCOB para la franja sin fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica bajo.

Promedio:	66,4	27,6	5,9
<i>Foto N°</i>	<i>% hoja (FCVV)</i>	<i>%suelo</i>	<i>%suelo luz</i>
<i>Franja SN bajo 135</i>	76,5	20,6	2,8
<i>Franja SN bajo 136</i>	77,6	19,7	2,5
<i>Franja SN bajo 137</i>	84,6	14,0	1,2
<i>Franja SN bajo 138</i>	75,3	22,0	2,6
<i>Franja SN bajo 139</i>	83,1	14,2	2,5
<i>Franja SN bajo 140</i>	84,6	13,9	1,3
<i>Franja SN bajo 141</i>	79,4	18,3	2,2
<i>Franja SN bajo 142</i>	70,4	26,0	3,6
<i>Franja SN bajo 143</i>	78,5	20,6	1,0
<i>Franja SN bajo 144</i>	81,1	18,0	0,8
<i>Franja SN bajo 145</i>	75,8	23,1	1,1
<i>Franja SN bajo 146</i>	77,5	21,7	0,7
<i>Franja SN bajo 147</i>	73,4	25,9	0,7
<i>Franja SN bajo 148</i>	81,7	16,1	2,1
<i>Franja SN bajo 149</i>	81,1	17,6	1,3
<i>Franja SN bajo 150</i>	78,6	20,5	0,9
<i>Franja SN bajo 151</i>	82,8	13,1	1,0
<i>Franja SN bajo 152</i>	80,3	17,3	2,3
<i>Franja SN bajo 153</i>	87,3	12,6	0,5
<i>Franja SN bajo 154</i>	87,5	11,4	0,9
Promedio:	79,8	18,3	1,6

Tabla 17: Porcentajes de FCVV obtenidos mediante el programa SISCOB para la franja con fertilización nitrogenada a la siembra para la posición topográfica bajo.

<i>Foto N°</i>	<i>% hoja (FCVV)</i>	<i>%suelo</i>	<i>%suelo luz</i>
<i>Franja N bajo 064</i>	83,0	16,5	0,4
<i>Franja N bajo 065</i>	84,9	14,8	0,2
<i>Franja N bajo 066</i>	89,5	9,1	1,3
<i>Franja N bajo 067</i>	77,1	21,7	1,1
<i>Franja N bajo 068</i>	85,3	14,2	0,3
<i>Franja N bajo 069</i>	84,3	14,9	0,7
<i>Franja N bajo 070</i>	91,1	8,4	0,3
<i>Franja N bajo 071</i>	83,5	15,0	1,4
<i>Franja N bajo 072</i>	82,0	17,4	0,5
<i>Franja N bajo 073</i>	86,1	12,9	0,9
<i>Franja N bajo 074</i>	85,5	13,1	1,4
<i>Franja N bajo 075</i>	81,7	15,1	3,1
<i>Franja N bajo 076</i>	83,0	16,4	0,6
<i>Franja N bajo 077</i>	78,3	21,0	0,6
<i>Franja N bajo 078</i>	85,6	13,7	0,7
<i>Franja N bajo 079</i>	83,0	16,3	0,6
<i>Franja N bajo 080</i>	82,0	16,9	0,5
<i>Franja N bajo 081</i>	80,1	18,5	1,2
<i>Franja N bajo 082</i>	76,5	23,1	0,3

<i>Franja N bajo 083</i>	82,6	15,6	1,6
<i>Franja N bajo 084</i>	82,7	15,4	1,7
<i>Promedio:</i>	83,2	15,7	0,9

Planillas obtenidas luego de la salida del programa estadístico geoda mostrando los resultados de distintos modelos planteados:

REGRESSION
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set : Ensayo_ZM_sin sba
Dependent Variable : AVG_YIELD Number of Observations: 1270
Mean dependent var : 92.0378 Number of Variables : 6
S.D. dependent var : 14.5201 Degrees of Freedom : 1264

R-squared : 0.416092 F-statistic : 180.145
Adjusted R-squared : 0.413782 Prob(F-statistic) : 0
Sum squared residual: 156346 Log likelihood : -4858.34
Sigma-square : 123.691 Akaike info criterion : 9728.68
S.E. of regression : 11.1217 Schwarz criterion : 9759.56
Sigma-square ML : 123.107
S.E of regression ML: 11.0954

```
-----
Variable   Coefficient   Std.Error   t-Statistic   Probability
-----
CONSTANT   85.11871     0.6838522   124.4695     0.0000000
N          0.1241083    0.02279836   5.443737     0.0000001
N2         -0.0007900847 0.000145897  -5.415358    0.0000001
ZM2        10.82426     0.6838522   15.82836     0.0000000
ZM2XN     0.0002776254 0.02279836   0.01217743   0.9902080
ZM2XN2    -8.482469e-005 0.000145897  -0.581401    0.5610945
-----
```

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER 20.278156
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST DF VALUE PROB
Jarque-Bera 2 108.4952 0.0000000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST DF VALUE PROB
Breusch-Pagan test 5 7.022719e+011 0.0000000
Koenker-Bassett test 5 4.170495e+011 0.0000000

SPECIFICATION ROBUST TEST
TEST DF VALUE PROB
White 20 N/A N/A

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : Ensayo_ZM_sin sba.gal
(row-standardized weights)
TEST MI/DF VALUE PROB
Moran's I (error) 0.490057 N/A N/A

Lagrange Multiplier (lag) 1 662.3163683 0.0000000
 Robust LM (lag) 1 30.8634683 0.0000000
 Lagrange Multiplier (error) 1 636.7608225 0.0000000
 Robust LM (error) 1 5.3079225 0.0212287
 Lagrange Multiplier (SARMA) 2 667.6242908 0.0000000

===== END OF REPORT =====

REGRESSION

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

Data set : Ensayo_ZM_sin sba
 Spatial Weight : Ensayo_ZM_sin sba.gal
 Dependent Variable : AVG_YIELD Number of Observations: 1270
 Mean dependent var : 92.037788 Number of Variables : 6
 S.D. dependent var : 14.520083 Degrees of Freedom : 1264
 Lag coeff. (Lambda): 0.645767

R-squared : 0.657361 R-squared (BUSE) :-
 Sq. Correlation :- Log likelihood :-4607.016690
 Sigma-square : 72.2396 Akaike info criterion : 9226.03
 S.E of regression : 8.49939 Schwarz criterion : 9256.91

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value	Probability
CONSTANT	85.71691	0.8847945	96.87775	0.0000000
N	0.1550412	0.01932529	8.022707	0.0000000
N2	-0.0009800538	0.0001263916	-7.754107	0.0000000
ZM2	8.294252	0.802384	10.33701	0.0000000
ZM2XN	-0.01311598	0.01920841	-0.6828248	0.4947174
ZM2XN2	-3.339684e-005	0.0001256538	-0.2657846	0.7904052
LAMBDA	0.6457672	0.02150732	30.02546	0.0000000

REGRESSION DIAGNOSTICS

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	5	1.293453e+013	0.0000000

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE

SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : Ensayo_ZM_sin sba.gal

TEST	DF	VALUE	PROB
Likelihood Ratio Test	1	502.648	0.0000000

===== END OF REPORT =====

REGRESSION

SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION

Data set : Ensayo_ZM_sin sba
 Dependent Variable : AVG_YIELD Number of Observations: 1270
 Mean dependent var : 92.0378 Number of Variables : 3
 S.D. dependent var : 14.5201 Degrees of Freedom : 1267

R-squared : 0.017781 F-statistic : 11.468
 Adjusted R-squared : 0.016230 Prob(F-statistic) :1.15897e-005
 Sum squared residual: 262997 Log likelihood : -5188.59
 Sigma-square : 207.574 Akaike info criterion : 10383.2
 S.E. of regression : 14.4074 Schwarz criterion : 10398.6
 Sigma-square ML : 207.084

S.E of regression ML: 14.3904

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	89.65153	0.7983508	112.2959	0.0000000
N	0.124461	0.02640157	4.71415	0.0000027
N2	-0.0008035644	0.00016875	-4.761864	0.0000021

REGRESSION DIAGNOSTICS

MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER 12.458045

TEST ON NORMALITY OF ERRORS

TEST	DF	VALUE	PROB
Jarque-Bera	2	20.98409	0.0000278

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	2	4.540122	0.1033059
Koenker-Bassett test	2	6.423092	0.0402943

SPECIFICATION ROBUST TEST

TEST	DF	VALUE	PROB
White	5	N/A	N/A

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE

FOR WEIGHT MATRIX : Ensayo_ZM_sin sba.gal
(row-standardized weights)

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.718286	N/A	N/A
Lagrange Multiplier (lag)	1	1339.3885778	0.0000000
Robust LM (lag)	1	1.6819415	0.1946667
Lagrange Multiplier (error)	1	1367.9737743	0.0000000
Robust LM (error)	1	30.2671380	0.0000000
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	1369.6557158	0.0000000

===== END OF REPORT =====

REGRESSION

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

Data set : Ensayo_ZM_sin sba
Spatial Weight : Ensayo_ZM_sin sba.gal
Dependent Variable : AVG_YIELD Number of Observations: 1270
Mean dependent var : 92.037788 Number of Variables : 3
S.D. dependent var : 14.520083 Degrees of Freedom : 1267
Lag coeff. (Lambda) : 0.760750

R-squared : 0.662422 R-squared (BUSE) : -
Sq. Correlation : - Log likelihood : -4647.100958
Sigma-square : 71.1726 Akaike info criterion : 9300.2
S.E of regression : 8.43638 Schwarz criterion : 9315.64

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value	Probability
CONSTANT	89.14992	1.089076	81.85834	0.0000000
N	0.1501035	0.01725216	8.700563	0.0000000
N2	-0.0009893143	0.0001138716	-8.687982	0.0000000
LAMBDA	0.7607501	0.01604798	47.40472	0.0000000

REGRESSION DIAGNOSTICS

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	2	1.699234	0.4275786

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE

SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : Ensayo_ZM_sin sba.gal

TEST	DF	VALUE	PROB
Likelihood Ratio Test	1	1082.97	0.0000000

===== END OF REPORT =====