

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo

Modalidad: Práctica Profesional

IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE
AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL SUR DE
CÓRDOBA.

Cignetti Nicolás
31334695

Director: Ing. Agr. Dr. Espósito Gabriel
Tutor Externo: Ing. Agr. Espina Federico

Río Cuarto – Córdoba
Noviembre/2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE
AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL SUR DE
CÓRDOBA.

Autor: Cignetti, Nicolás
DNI: 31.334.695

Director: Ing. Agr. Dr. Gabriel Espósito.
Tutor Externo: Ing. Agr. Espina, Federico.

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

Ing. Agr. MSc. Sergio González_____

Ing. Agr. MSc. Guillermo Cerioni_____

Ing. Agr. Dr. Gabriel Espósito_____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	IV
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
INTRODUCCIÓN	1
DESCRIPCION DE LA EMPRESA	3
OBJETIVOS PLANTEADOS	4
OBJETIVOS ALCANZADOS	4
DESCRIPCION DE LAS TAREAS REALIZADAS	5
ANTECEDENTES	7
MATERIALES Y METODOS	9
I. Ubicación y descripción del establecimiento sobre el cual se centró el trabajo.....	9
II. Recopilación y procesamiento de mapas de rendimiento	9
III. Determinación de zonas de manejo homogéneas	11
IV. Realización de muestreos de suelos y determinaciones analíticas. Descripción de los suelos presentes en cada zona de manejo	12
V. Ensayos de densidad y fertilización cruzando zonas de manejo	12
VI. Optimización de funciones	16
VII. Calibración y regulación de la maquinaria utilizada para el mapeo de rendimiento y para la siembra variable.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
I. Resultados del análisis del ensayo de densidades	26
II. Resultados del análisis del ensayo de fertilización	30
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFIA	35
ANEXOS	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de Regresión Ensayo Densidades. Método Clásico.....	27
Cuadro 2. Análisis de Regresión Ensayo Densidades. Error Espacial.	28
Cuadro 3. Presupuesto Parcial Ensayo Densidades.	29
Cuadro 4. Análisis de Regresion Ensayo Fertilización. Método Clásico..	31
Cuadro 5. Análisis de Regresión Ensayo Densidades. Error Espacial.	31
Cuadro 6. Presupuesto Parcial Ensayo Fertilizacion.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tratamientos Ensayo Densidades.....	152
Figura 2. Tratamientos Dosis Ensayo Fertilización.	153
Figura 3. Matriz “Queen” de ponderadores espaciales.....	15
Figura 4. Mapa de Rendimiento de Cosechadora.	23
Figura 5. Mapa de Rendimiento Procesado	24
Figura 6. Mapa de Ambientes	24
Figura 7. Mapa de Ambientes del Establecimiento.....	25
Figura 8. Ubicación de Ensayos en el Establecimiento	26
Figura 9. Cuadrícula de Zonas de Ensayo Densidades.....	26
Figura 10. Cuadrícula de Rendimiento de Ensayo Densidades	27
Figura 11. Gráfico de Rendimientos por ambientes según densidades	29
Figura 12. Cuadrícula de Zonas de Ensayo Fertilización	30
Figura 13. Cuadrícula de Rendimiento de Ensayo Fertilización.....	30
Figura 14. Gráfico de Rendimiento por ambientes según Dosis MAP	31

AGRADECIMIENTOS

A los docentes e Ingenieros Agrónomos de la Cátedra de Producción de Cereales de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Gabriel Esposito, Guillermo Balboa, Ricardo Balboa y Carlos Castillo por su profesionalismo y siempre buena predisposición.

Al Personal de A&T y Asociados por el tiempo brindado.

A mis compañeros y amigos por compartir cada momento y apoyar desde lo humano y profesional.

A mis padres, hermanos y esposa por el constante apoyo, cariño, paciencia, ejemplos y enseñanzas.

RESUMEN

La Agricultura de Precisión (AP) comienza en la Argentina con el proceso de tecnificación de las maquinarias y desarrollo de equipos electrónicos que generan información geoespacial tales como mapas de rendimiento o equipos de dosificación variable. El incremento en el uso de estas tecnologías ha incentivado la capacitación agronómica para manejarlas. El objetivo de este trabajo fue integrar las diferentes etapas de la AP para completa utilización en un establecimiento con elevada heterogeneidad ambiental, diagnosticar sus problemáticas y definir las estrategias de manejo a realizar por ambiente. Se realizó la extracción de mapas de rendimiento obtenidos de una cosechadora John Deere 9650 mediante el software GreenStar Apex. La información fue procesada mediante el sistema de información geográfica denominado Quantum GIS empleando el análisis estadístico de intervalo intercuantil (IIQ). El programa Management Zone Analyst (MZA) fue empleado para delimitar los ambientes y dividirlos en zonas. Se realizaron ensayos de densidad de siembra y fertilización fosforada en maíz cruzando ambientes y se calibró la maquinaria utilizada. Los resultados estadísticos de dichos ensayos dieron como resultado que para el caso de densidades por ambiente, con las densidades más bajas de semilla se pueden lograr los mayores rendimientos. En el caso del ensayo de fertilización no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos por lo tanto se recomienda usar la dosis más baja. Las condiciones de sequía regional durante el periodo de cultivos, explicarían los bajos rendimientos alcanzados. Luego del análisis de los ensayos, las prescripciones para el próximo año se realizarán con el programa Promap para efectuar las dosis variables por ambientes.

Palabras Claves: Agricultura de Precisión, Dosis Variable, Zonas de Manejo.

SUMMARY

Precision farming begins in Argentina with the modernization of machinery and geospatial tools like yield mapping, variable rate application equipment and satellite positioning systems. This increase in the use of technology has encouraged more and better agronomic training in order to manage it. The aim of this project is the integration of AP steps for its full application on a farm with high environmental heterogeneity, make a diagnosis of its problems and define management strategies to each environment. Records of yield mapping were taken from a John Deere 9650 harvester through the management GreenStar Apex software system. The information was then processed by the geographical information system called Quantum GIS using interquartile interval statistic analysis (IIQ). The Management Zone Analyst (MZA) program was used to delimit environment and divide them in zones. Tests of plant density and Phosphorous Fertilization of corn were made crossing environments and the machinery was calibrated in order to carry out the process. Statistics results of the tests show that for the case of plant density by environment, with the lowest density seed the highest yield can be achieved in the different zones. In the case of fertilization test, were not detected statistical differences between doses so the convenience dose to use is the lowest. The low yield obtained may be caused by the serious draught that the region suffered last year. After the analysis of tests, decisions for the following year will be thus taken using the Promap program to measure out variable doses for each management zone.

Key words: Precision Agriculture, variable dose, management zone.

1. INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión es la tecnología que ha comenzado a implementarse en el país y seguirá innovando la agricultura con maquinarias de precisión y herramientas que integran la electrónica, la informática, las telecomunicaciones y la electromecánica. Las mismas permitirían realizar un manejo diferenciado de la potencial productividad de un lote dividiéndolo por ambientes y así maximizar los resultados físicos en cada uno de ellos (Bragachini, 2007).

Esta tecnología contribuye al mejoramiento de la eficiencia en el uso de los recursos productivos, a la rentabilidad de las empresas, y a la disminución del impacto ambiental. Por ello es indispensable tener los conocimientos adecuados para emplearla de la manera más eficiente posible y así poder visualizar mejores resultados de la misma (Bragachini *et al.*, 2009b).

La delimitación de las tierras por su potencial productivo permite el uso racional de los recursos naturales y la correcta asignación de los recursos humanos, tecnológicos y económicos involucrados en la producción. Para ello se pueden realizar agrupamientos de tierras en función de propiedades o características que integradas definen “cualidades o atributos y limitantes”, que posibilitan o restringen respectivamente su aptitud para una actividad determinada (Cantero *et al.*, 2002).

Una vez determinado el uso potencial de las tierras, y sus respectivas limitaciones, la tecnología de Agricultura de Precisión se desarrolla siguiendo una jerarquía de etapas que toma como base de estudio la unidad “lote”; allí se analiza la variabilidad de los factores productivos para diagnosticar, planificar y ejecutar los diferentes manejos por ambiente.

El protocolo creado por la empresa A&T, determina las siguientes etapas a seguir (Espina, 2007):

- Determinar y cuantificar el grado de heterogeneidad: para realizar esto hay que disponer de herramientas como el mapeo de rendimientos, imágenes satelitales, mapas de altimetría, fotografía aérea, mapas de CE y sensores de tiempo real. De esta forma se puede lograr identificar numerosas citaciones de heterogeneidad ambiental, pudiendo separar en ambientes de alta, media y baja producción, y áreas no aptas para la agricultura.

- Diagnosticar las causas de la heterogeneidad observada: se realizan diferentes estudios relacionados con las características físicas y químicas de los suelos que ayudan a determinar problemas que limitan la producción y el potencial de rendimiento esperado en cada situación. Así se podrán identificar factores de variabilidad inducidos por el hombre (riego, sectores erosionados, historia y manejo de un lote) con mayor control de manejo e impacto en la

producción y factores estructurales (relieve, textura, estructura, presencia de sodio, profundidad de napa, etc.).

- Definir estrategias de manejo por ambiente: se diseñan diferentes estrategias de manejo para cada ambiente, que deben ser coherentes con las técnicas y prácticas que se disponen. Estos criterios de manejo en un determinado lote cambian de año a año, es por esto que esta tecnología tiene una alta sensibilidad al diagnóstico y a la implementación de diferentes estrategias de manejo.

- Diseñar la forma en que se van a implementar dichas estrategias: consiste en realizar en forma práctica, exacta y automática las distintas estrategias de manejo elegidas por ambiente dentro de un mismo lote, realizando prescripciones. Las mismas permiten indicar en forma georreferenciada diferentes dosis fertilizantes o densidades de siembra para los diferentes ambientes. Realizar calibraciones y controles periódicos de la aplicación de insumos, para asegurar que lo prescripto se cumpla a campo.

- Gestión de la información: de la información generada por ambiente de cada lote, es necesario almacenar esta información georreferenciada en forma ordenada y clasificada, para poder relacionarla en el tiempo y espacio mediante la utilización de software.

2. DESCRIPCION DE LA EMPRESA EN LA QUE SE DESARROLLO LA PRACTICA PROFESIONAL.

Nombre: A&T y Asociados S.A.

Domicilio: Humberto Primo 251, 10° Piso, 5800 Río Cuarto, Córdoba Argentina.

Rubros:

- Administración de empresas agropecuarias
- Administración de empresas vitivinícolas
- Asesoramiento y dirección técnica de establecimientos agropecuarios
- Asesoramiento y dirección técnica en Agricultura de Precisión
- Diagnóstico y recomendación de fertilización de cultivos
- Monitoreo de plagas, malezas y enfermedades
- Monitoreo y control de sistemas de riego
- Embolsado y extracción de granos.

Área en que se desarrolló la práctica profesional: Asesoramiento y dirección técnica en Agricultura de Precisión.

Horarios de la práctica: 8 a 13 hs y de 15 a 20 hs.

Breve Descripción:

A&T y Asociados se dedica a desarrollar y administrar negocios y servicios dentro del sector agropecuario. El vasto conocimiento obtenido en casi dos décadas de trayectoria le ha permitido generar alternativas de inversión en Argentina y Uruguay.

Sus actividades están relacionadas a dos grandes áreas de negocios. Por un lado, el Agrícola en el que la empresa es reconocida por el uso y desarrollo de agricultura de precisión, por otro lado, el Vitivinícola dedicado a la producción de vinos de alta gama.

La consultora está integrada por un equipo de jóvenes profesionales, dirigidos y supervisados por un directorio de ingenieros agrónomo.

3. OBJETIVOS DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

General

- Adquirir conocimientos y capacitación para entender cómo se desarrolla la tecnología de Agricultura de Precisión e implementarla eficientemente.

Específicos

- Evaluación de las tierras para su caracterización Integral, de acuerdo a la clasificación de capacidad de uso de los suelos (USDA).
- Aprender a utilizar diferentes herramientas de alta complejidad como ser monitores de siembra y cosecha, banderilleros satelitales, sensores de tiempo real y diferencias de software.
- Conocer los diferentes métodos de recompilar información y las decisiones a tomar en cada situación en especial.
- Interpretar como administrar y dosificar insumos productivos en tiempo y espacio.
- Obtener conocimientos de la metodología utilizada para la evaluación de los ensayos a campo y su adecuada interpretación.
- Verificar la eficiencia en el uso de los recursos productivos, en cada ambiente y el resultado de los diferentes ensayos a campo.
- Controlar los insumos utilizados y rindes obtenidos, comparando con años anteriores en que no se utilizó esta tecnología.

4. OBJETIVOS ALCANZADOS

- Se logró obtener los conocimientos para el desarrollo de Agricultura de Precisión en su totalidad, entendiendo el proceso y las diferentes etapas en que esta se genera.
- Se consiguió utilizar los recursos productivos de cada ambiente de forma eficiente.
- Se aprendió a utilizar las diferentes herramientas, pudiendo así administrar y dosificar insumos como también controlar información obtenida.
- Se adquirió conocimiento para interpretar información para luego tomar decisiones de manejo por ambientes de manera eficiente.

5. DESCRIPCION DE LAS TAREAS REALIZADAS

Las tareas realizadas fueron las previstas para la implementación de la tecnología de agricultura de precisión como un proceso, debido a que, la obviedad de alguna de las tareas no harían posible su desarrollo y ésta tecnología dejaría de brindar eficiencia y rentabilidad al sistema.

Las tareas fueron las siguientes:

- Análisis y procesamiento de la totalidad de los mapas de rendimiento de las campañas anteriores. Realizando correlaciones de diferentes años.
- Delimitación de ambientes de manejo a través de la utilización de mapas de rendimiento, análisis de suelo, software específico y estudios a campo.
- Muestreo de suelos dirigido por ambientes georreferenciado en presiembra.
- Confección y ejecución de ensayo en Lote 3, Densidad de siembra con 4 tratamientos (45.000-55.000-65.000-75.000 semillas/ha) y 3 repeticiones cruzando ambiente.
- Confección y ejecución de ensayo en Lote 9, Fertilización a la Siembra con 4 tratamientos (0-100-200-300 kg/ha MAP Costado) y 3 repeticiones cruzando ambientes.
- Cosecha, se verificó el correcto funcionamiento de equipos de mapeo de rendimiento. Se realizaron calibraciones.
- Cosecha de Ensayos Maíz 2010.
- Análisis y evaluación de ensayos, mediante presupuesto parcial para determinar dosis óptima económica para justificar la implementación de la tecnología.
- Recomendación de fertilización a la siembra y de densidad de siembra por ambiente.
- Confección de prescripciones para siembra maíz con densidad y fertilización variable.
- Calibración y ajuste de sembradoras. Agrometal IOM de 16 surcos a 52 cm con equipo de dosificación variable CS-ORO MAX.

- Evaluación de Calidad de siembra.
- Conteo de plantas para evaluar el stand de emergencia por ambiente.

6. ANTECEDENTES

Históricamente el desarrollo de la tecnología agropecuaria ha sido más rápido que el conocimiento agronómico. En Argentina el incremento de la productividad impulsada por la innovación tecnológica generó la necesidad de satisfacer demandas de conocimiento científico agronómico que diera sustento teórico a esos avances (Bragachini, 2007).

La incorporación de nuevas tecnologías fue paulatina pero constante; el aumento de la siembra directa asociada al aumento del rendimiento sorprende a los productores y a los especialistas en el tema. Surge entonces la necesidad de conocer mejor las variables que mejoren su funcionamiento. En este sentido son fundamentales los aportes de la siembra directa, la fertilización estratégica, el manejo ecofisiológico de los cultivos, los avances en genética y maquinarias, como así también la incorporación de la agricultura de precisión, entre otros. (Andrade, 2011).

La novedad del monitoreo de rendimiento satelital surge en los años 1994/1995 y brinda un mapa de rendimiento geoposicionado, es decir, más de 300 puntos de referencia de rendimiento por hectárea identificados en el espacio. A partir de 1996, comienza a tener mayor popularidad al comercializarse sistemas de posicionamiento geo-referenciados (GPS) y sistemas de mapeo de productividad basados en GPS (monitores de rendimiento). Con esta tecnología, productores y técnicos agropecuarios comienzan a ver y valorar la importancia del conocimiento de la variabilidad y la identificación de ambientes dentro de una unidad productiva, llamada comúnmente lote (Bragachini, 2007).

La generación de mapas de rendimientos despierta una doble motivación para continuar con el resto de la tecnología que consiste en el análisis de los ambientes, las causas o factores que explican la variabilidad del rendimiento, para luego llegar al manejo de los insumos por ambientes. Los mapas de rendimiento permiten cuantificar la variabilidad existente en lotes de cultivo, donde la variabilidad de éstos puede ser natural o inducida, en cuanto la variabilidad natural depende del relieve, propiedades físicas y químicas de los suelos, malezas, etc. Por otro lado la variabilidad inducida presenta dos aspectos, uno de ellos es la historia del lote, (rotaciones, prácticas anteriores, etc.) y el otro, es el manejo actual (como ser genética, fertilización, herbicidas, labores, riegos, etc.) (Amuchástegui, 1999).

La tecnología de la agricultura de precisión aporta una gran cantidad de herramientas para el monitoreo de la productividad de diferentes áreas dentro de los lotes de producción. Además, el mercado dispone de una variada gama de maquinaria con GPS (sistema de posicionamiento global) incorporado, que permite realizar labores geo-referenciadas como: pulverizadores de caudal variable, sembradoras inteligentes, fertilizadoras para aplicación variable de nutrientes, muestreadores de suelo, medidores de conductividad eléctrica, etc. (Bongiovanni y Lowenberg-DeBoer, 2006).

La adopción de herramientas de agricultura de precisión como ser: monitores de rendimiento, sensores remotos, sistemas de guiado y aplicación variable de insumos, ha sido intensa en varios países agrícolas durante las últimas dos décadas, no obstante es necesario un mayor conocimiento agronómico que relacione la variabilidad productiva de los suelos con el manejo variable de la nutrición, mediante métodos que aseguren la conveniencia económica de la esta práctica (Kyveryga *et al.*, 2011).

Los análisis de suelos, permiten conocer e identificar las principales limitantes y potencialidades, y de este modo implementar diferentes manejos. Mediante estos análisis se pretende determinar grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes vegetales, así como condiciones adversas que puedan perjudicar a los cultivos (Bragachini *et al.*, 2009c).

Uno de los criterios utilizados para manejar la variabilidad espacio-temporal de los factores de producción es la delimitación de zonas de manejo. Estas han sido definidas como subregiones dentro de los lotes que expresan una combinación homogénea de factores determinantes del rendimiento y para los cuales resulta apropiada una proporción única de insumos (Doerge, 1999).

Argentina cuenta con numerosas empresas de consultorías especializadas en el tema y hay una gran cantidad de información sobre la variabilidad natural cuantificada con la productividad de los principales cultivos. Se conoce como responde cada ambiente, se caracterizan los ambientes y se manejan los insumos de forma variable (ej. genética, época de siembra, espaciamiento entre hileras, densidad, fertilización nitrogenada, correcciones de pH, correcciones de fosforo, manejo del azufre, entre otras.). El manejo de estos factores son los que justifican el uso de esta tecnología, debido al beneficio que lleva la disminución del uso de insumos, disminución de los costos de producción y optimización del uso de las tierras disponibles para explotación (Bragachini, 2007).

7. MATERIALES Y METODOS

I. Ubicación y descripción del establecimiento sobre el cual se centró el trabajo.

La Práctica se desarrolló durante la campaña 2009/2010 en el establecimiento “El Manantialito” a 5 km de la localidad de Cuatro Vientos y a 21 km de la ciudad de Río Cuarto.

Situado en la región denominada planicie periserrana; el relieve es fuertemente ondulado, haciéndose suavemente ondulado hacia el este. Los suelos se desarrollan sobre materiales loésicos franco-arenosos dando lugar a Haplustoles y Hapludoles típicos y énticos. Son áreas con alta susceptibilidad a la erosión hídrica y degradación física y biológica (González *et al.*, 1997).

El clima de la región corresponde a un régimen de precipitación monzónico concentrando el 80 % de las lluvias en el período de octubre a abril, con una media entre 700-800 mm anuales, presentando un déficit hídrico en los meses invernales. La temperatura media anual es de 16,5 °C, mientras que la media del mes más cálido (enero) es de 23,5 °C y la del mes más frío de 8,8 °C con una amplitud media anual de 14,7 °C. Los vientos predominantes corresponden en dirección NE-SO. El periodo libre de heladas se concentra en 240 días. (Meteorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC).

El predio bajo estudio posee 450 ha productivas y se caracteriza por presentar un relieve ondulado, pendientes suaves a moderadas en donde se puede diferenciar claramente las lomas de los bajos, encontrándose pendientes mayores al 1% en ciertos lotes. La textura es franco arenosa. Presenta susceptibilidad moderada de erosión hídrica con zonas de anegamiento ocasionales por el mal drenaje de las vías de escurrimiento. De acuerdo a estas limitaciones se clasifica en una capacidad de uso de clase II, presentando subclase limitada por suave erosión hídrica en zonas de pendiente siendo esta II e y en ambientes anegamiento ocasional, II w. (Cantero *et al.*, 2002).

La necesidad de implementación de la tecnología de dosis variable comienza con la obtención de mapas de rendimientos de años anteriores, presentándose así la problemática de cómo optimizar mediante el manejo cada zona a delimitada.

II. Recopilación y procesamiento de mapas de rendimiento

El proceso da inicio cuando se extraen los mapas de rendimiento de la computadora GreenStar Original de la máquina cosechadora John Deere 9650 a un programa específico de la misma empresa denominado GreenStar Apex siendo este el primer paso del análisis de los mapas de rendimiento.

Se realizó la descarga de la tarjeta de memoria hacia el programa y de éste se exportó en un archivo con formato de forma "shape" (nombre.shp) o con formato de texto separado por comas "csv" (nombre.csv) luego se procesan con otro sistema de información geográfica (GIS).

El procesamiento de los mapas de rendimiento o capas vectoriales se realizó mediante la utilización del sistema de información geográfica denominado Quantum GIS (Quantum GIS Development Team, 2010) en donde se gestionaron archivos con formato .shp (shapefile). El primer paso a realizar luego de haber cargado una capa vectorial es efectuar la "limpieza" del mismo eliminando datos erróneos generados por distintos motivos los cuales pueden ser producidos por 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 (por 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, atascamientos 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).

Con este fin se utilizó el análisis de Intervalo Intercuartil (IIQ) (Tukey, 1977). El enfoque del IIQ es un método de la estadística descriptiva, analítico, no paramétrico que identifica los valores extremos a través de una determinación estadística detallada de la distribución de datos. Los puntos extremos o valores atípicos (observaciones numéricamente distantes del resto de los datos) se definen entonces como los valores de los datos que se encuentran más allá de una "valla interior", también llamados "outliers", definidos por la Ecuación:

$$x < Q1 - 1,5 \cdot IIQ \text{ ó } x > Q3 + 1,5 \cdot IIQ$$

donde Q1 y Q3 son los cuantiles primero y tercero, y $IIQ = Q3 - Q1$.

Los lotes pueden presentar distintos tipos de variabilidad: por topografía, por génesis de suelo, por distintos tipos de manejo, entre otras causas. Y existen herramientas a través de las cuales se pueden recolectar información tal como: mapas de rendimiento de cultivos, fotografías aéreas, mapas topográficos, análisis de suelos, altimetría, imágenes satelitales, cartas de suelo, mapas de conductividad eléctrica, muestreo en grilla de suelos, etc. Estos datos asociados a la experiencia del productor o asesor permiten definir dentro de un lote, sitios con potencialidad de rendimiento diferentes que tendrán distintos requerimientos de insumos. (Bragachini *et al.*, 2009b).

III. Determinación de zonas de manejo homogéneas

La delimitación de zonas de manejo a partir de los mapas de rendimiento es la herramienta más frecuentemente utilizada ya que brinda información del potencial productivo de cada zona. No obstante se recomienda utilizar varias capas de información, además del mapa de rendimiento, para generar zonas estables en el tiempo.

Es importante lograr una correcta interpretación de los mapas de rendimiento por lo que es necesario el conocimiento de las condiciones bajo las cuales se sembraron, desarrollaron y cosecharon los cultivos, ya que el seguimiento de éstos ayuda a entender las causas de la variabilidad en el rendimiento y estar seguros que los datos son fieles con la realidad.

En general, el tamaño mínimo de las zonas de manejo en las que se puede subdividir un lote está determinado por la capacidad técnica de realizar una gestión diferenciada dentro de un campo y del tamaño y rapidez de los equipos en variar de una dosis a otra. (Bragachini *et al.*, 2009c).

La zonificación se realizó mediante el estudio de los parámetros recién mencionados conjuntamente con el empleo del programa de computación Management Zone Analyst (MZA, Mizzou-ARS, 2000) el cual divide al campo en grupos naturales a partir de clasificaciones o número de zonas especificados mediante un análisis “cluster”. El MZA entrega sus resultados a través de la representación gráfica del desempeño de dos índices: el FPI (índice de borrosidad) y el NCE (clasificación entrópica normalizada) (Fridgen, 2004) para evaluar visualmente la cantidad óptima de ambientes.

El FPI da una medida del grado de dispersión entre ambientes y sus valores pueden variar de 0 a 1. Valores cercanos a 0 indican clases distintas con escasa pertenencia a un mismo grupo mientras que los valores cercanos a 1 indican clases indistintas con un alto grado de pertenencia al mismo grupo. El NCE modela el grado de homogeneidad de las zonas. Valores bajos de este indican alto grado de organización y valores altos, bajo grado de organización. En la representación gráfica el número óptimo de ambientes se produce cuando ambos índices están en su mínimo. En caso de divergencia entre los números óptimos otorgados por cada índice, la decisión final sobre cuántas unidades ambientales delimitar, debe realizarse considerando agregar otras variables al análisis (Fridgen *et al.*, 2004).

Cabe aclarar que, para la delimitación de zonas se encuentran más herramientas disponibles que las utilizadas en éste trabajo, por ejemplo, imágenes satelitales, índices de productividad, relevamientos de altimetría, etc, que aumentan el grado de exactitud de los datos y afectan positivamente a la hora de tomar decisiones.

IV. Realización de muestreo de suelos y determinaciones analíticas. Descripción de los suelos presentes en cada zona de manejo

La toma de muestras de suelo fueron realizadas por ambientes, con una profundidad 0-20 cm. Estas se llevaron al laboratorio de Tecnoagro S.R.L, donde realizaron análisis de materia orgánica, fósforo, azufre, nitratos, arena, limo, arcilla, textura, densidad, pH, conductividad eléctrica (C.E.), capacidad de intercambio catiónico (CIC), calcio, magnesio, potasio, sodio y porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Mediante los métodos de Bray N°1; AcONH₄. pH 5; Snedd; agua 1:2,5; conducción 25°C extra doble sat.; AcNOH₄ 1N. pH 7; AcNOH₄ 1N. pH 7 y AA; AcNOH₄ 1N. pH 7 y FLL. Tecnoagro S.R.L es un laboratorio de análisis químico, que orienta su accionar a la identificación de las características y propiedades de las tierras y a la detección de los factores que limitan su productividad.

V. Ensayos de densidad y fertilización cruzando zonas de manejo

Ya delimitados los diferentes ambientes, se planificaron ensayos cruzando los ambientes para evaluar la conveniencia de la aplicación de insumos variables.

El primer ensayo (Ensayo 1) consistió en la siembra de maíz en diferentes tratamientos variando la densidad de semillas, siendo estas las que se presentan en la figura 1:

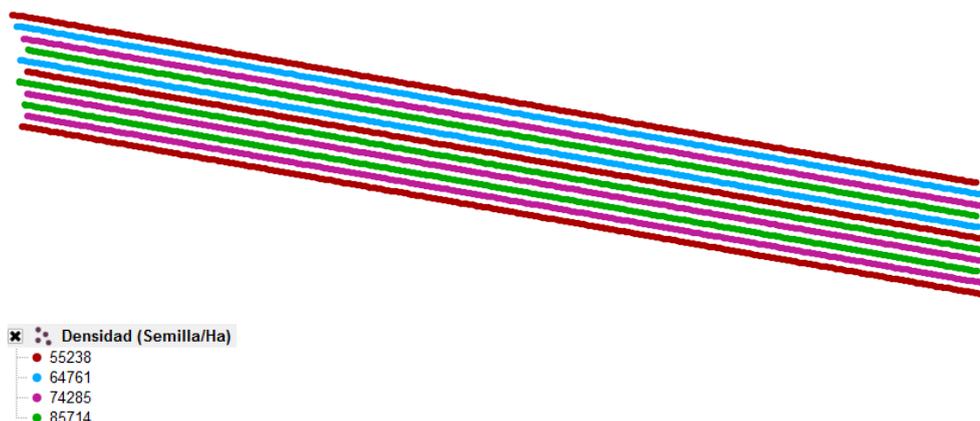


Figura 1. Tratamientos Ensayo Densidades en establecimiento "El Manantialito", Córdoba, 2009/10, Ensayo 1.

La fecha de siembra fue el 03-10-2009, utilizando el híbrido DK 190 MGRR con sembradora Agrometal IOM 16 surcos a 0,52 m, se re fertilizó con 90 l ha⁻¹ de UAN (NPK, 32-0-0) el 10-11-2009, y se finalizó con la cosecha el 03-05-2010.

El segundo ensayo (Ensayo 2) analizado fue sobre diferentes dosis de MAP (NPK, 12-52-0) sobre el cultivo de maíz, se visualizan los tratamientos en la Figura 2:

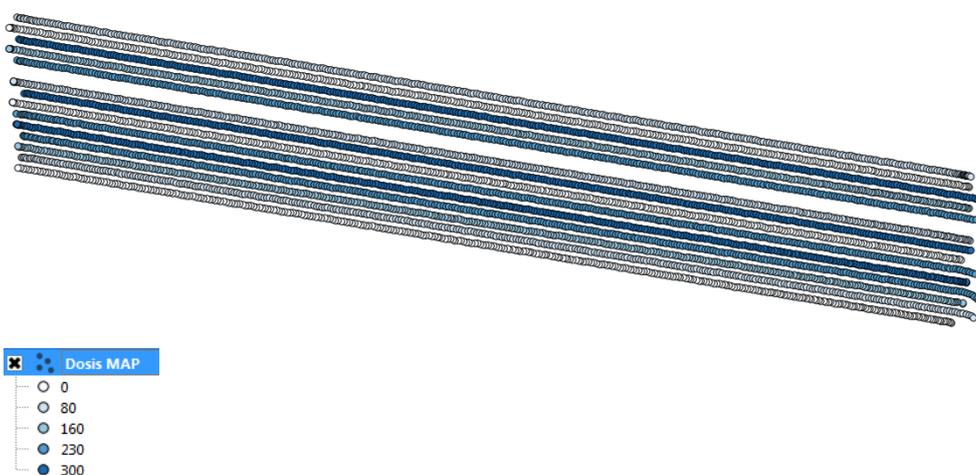


Figura 2. Tratamientos Dosis Ensayo Fertilización en establecimiento "El Manantialito", Córdoba, 2009/10, Ensayo 2.

La fecha de siembra fue el 02-10-2009, siendo utilizado el mismo híbrido y maquinaria que el ensayo de densidades, la refertilización fue el 11-11-2009 con 85 l ha⁻¹ de UAN, la cosecha de este ensayo fue realizada el 14-03-2010.

El objetivo de cada ensayo fue identificar la densidad óptima de plantas por zona de manejo (Ensayo 1) y la dosis óptima económica de fosfato monoamónico (NPK, 12-52-0) MAP (Ensayo 2). La aplicación de las distintas dosis de MAP fueron las mismas para cada ambiente, analizando luego su respuesta en cada una de ellas. Los restantes insumos utilizados (densidad de semilla y dosis de N) no fueron modificados.

En el ensayo de densidades, se mantuvo la fertilización fija en todos los ambientes, variando las densidades por franjas, las cuales se orientaron cruzando los ambientes identificados.

Una vez generado el mapa de rendimiento, se descargó de la computadora de la máquina, se limpió (como se indicó anteriormente) y se proyectó en un sistema de coordenadas planares (esto último permite realizar diferentes mediciones). A partir de ésta capa se realizó un sistema de grillas con polígonos cuadrados de lado igual al ancho de la máquina cosechadora. Se superpuso la grilla sobre el mapa de rendimiento y se la rotó de modo que coincidió la dirección de la cosecha con la dirección de los ejes de la grilla para respetar la posición espacial de cada dato de rendimiento en relación a sus vecinos. Ya ubicada la grilla, sobre cada polígono de la misma se promedió los atributos de todos los puntos del mapa de rendimiento que quedaran bajo su superficie. Este procedimiento se realizó porque los puntos de rendimiento son más

próximos sobre la línea de cosecha que entre líneas, lo cual introduce una dependencia espacial no natural y puede afectar la interpretación de los mapas de rendimiento (Bongiovanni, 2006).

Finalmente, se procedió al análisis estadístico donde se aplicaron modelos de Econometría Espacial, especialidad dentro de la Econometría que se ocupa del tratamiento de la interacción espacial (autocorrelación espacial) y de la estructura espacial (heterocedasticidad) en los modelos de regresión (Anselin, 1999). Esto es así porque uno de los problemas es que la estadística tradicional que se usa en el análisis de parcelas experimentales y de ensayos a campo asume que las observaciones son independientes y homocedásticas. En el caso de los datos de agricultura de precisión, este supuesto de independencia ya no es válido. Las observaciones recogidas con monitor de rendimiento están claramente relacionadas con las observaciones vecinas. Los rendimientos del cultivo se deben a una respuesta a los insumos que se aplican, a las características predeterminadas del sitio, y a los factores climatológicos aleatorios (Bullock y Bullock, 2000).

Una de las herramientas usadas en Econometría es el análisis de regresión. Su objetivo primordial es estimar el valor de una variable aleatoria (la variable dependiente: por ej.: el rendimiento de un cultivo), dado que los valores de una o más variables asociadas (la o las variables independientes, por ej.: dosis de fertilizante MAP) son conocidos. La ecuación de regresión es la fórmula algebraica por la cual se determina el valor estimado de la variable dependiente o de respuesta (Anselin, 1999).

Para realizar el análisis de regresión se recurrió a una aplicación especializada en el trabajo con datos espaciales georeferenciados llamado OpenGeoDa 0.9.8.8 (Geoda Center for Geospatial Analysis and Computation, Arizona State University.). Fue diseñado para análisis espacial y análisis multivariado exploratorio de datos (globales y locales) de autocorrelación espacial. Realiza regresión lineal básica incluyendo modelos espaciales como el modelo de retardo espacial y el modelo de error espacial, ambos estimados por máxima verosimilitud.

En primer lugar se usó el modelo clásico de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS, por sus siglas en inglés). 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. En otras palabras, 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). Igualmente, 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. A los fines de corregir dicha dependencia espacial, cada observación fue ponderada a través de la confección de una matriz de ponderadores espaciales con una estructura “Queen” (W) de 8 vecinos con

bordes y esquinas en común (Anselin, 1988), estandarizada por fila. La misma se esquematiza en la Figura 3.

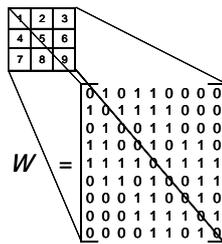


Figura 3. Matriz “Queen” de ponderadores espaciales.

Los parámetros estadísticos observados fueron:

- R^2 : proporción de la variabilidad en un conjunto de datos que se explica por el modelo estadístico. Proporciona una medida de qué tan bien los resultados futuros es probable que sean predichos por el modelo.

- Criterio de información de Akaike (AIC, Akaike, 1974) para cuantificar la validez de selección del modelo a aplicar. Dado un conjunto de modelos candidatos para los datos, el modelo preferido es el que tiene el valor mínimo de AIC.

- Índice “I” de Moran (Moran, 1950) para evaluar la autocorrelación entre los datos. El mismo asume valores entre -1 (que indica dispersión perfecta) y 1 (correlación perfecta). Un valor de cero indica una distribución espacial al azar.

- Multiplicadores de Lagrange (ML): procedimiento para encontrar los máximos y mínimos de funciones de varias variables sujetas a restricciones. Son estadísticas para las pruebas de dependencia espacial en los modelos lineales. Se evaluaron los ML simples y robustos tanto para la variable dependiente como para la dependencia del error.

El otro modelo, denominado de error espacial autorregresivo (SAR), utiliza la metodología de máxima verosimilitud para la determinación de los campos de interés y parámetros estadísticos. Dicho modelo 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 según la Ecuación:

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Donde Y es el vector (n por 1) de observaciones de la variable dependiente, X es la matriz de observaciones de las variables independientes, β es el vector de parámetros estimados, y ε es el término de error espacial, obtenido mediante la Ecuación:

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

Donde μ es el error de muestreo aleatorio que sigue una especificación autoregresiva espacial (SAR) con un coeficiente autoregresivo λ (lambda), corregido también por la matriz de ponderadores espaciales (W).

VI. Optimización de funciones

Para obtener en cada ZM las dosis óptimas económicas de densidad y MAP (DOEd y DOEMap) o cantidad de insumo necesario para alcanzar el máximo retorno económico, se realizó una optimización tradicional de las funciones (Dillon y Anderson, 1990) según la Ecuación 8 y su primera derivada en la Ecuación 9:

Para densidad:

$$\pi = py(\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2) - pS - F$$

$$DOEd = \frac{\left(\left(\frac{pS}{py} \right) - \beta_1 \right)}{2 * \beta_2}$$

donde π es el retorno económico a la densidad de siembra, py es el precio del Maíz (\$ kg^{-1}), β_0 , β_1 y β_2 , son los parámetros de la ecuación de regresión, D es la densidad de semillas (semillas ha^{-1}), pS : precio de la semilla de Maiz (\$ kg^{-1}), y F son los costos fijos.

Para fertilización con MAP:

$$\pi = py(\beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 P^2) - pP - F$$

$$DOEMap = \frac{\left(\left(\frac{pP}{py} \right) - \beta_1 \right)}{2 * \beta_2}$$

donde π es el retorno económico a la fertilización con MAP, py es el precio del Maíz (\$ kg^{-1}), β_0 , β_1 y β_2 , son los parámetros de la ecuación de regresión, P es la dosis de fósforo (MAP) (kg ha^{-1}), pP : precio del fósforo (MAP) (\$ kg^{-1}), y F son los costos fijos.

Estas funciones deben ser interpretadas de modo que el uso de una menor cantidad de insumo estaría sobre pagando ese insumo, y que una mayor cantidad de insumo no alcanzaría a cubrir su costo (Bongiovanni y Lowenberg-DeBoer, 2006).

Los precios utilizados de Maíz, semilla y fósforo fueron de 0,087, 0,016 y 0,6 \$ kg^{-1} respectivamente, en moneda constante Enero 2002 - Octubre 2010, ajustado por el Índice de Precios Internos al por Mayor (IPIM) nivel general (AACREA, 2011).

VII. Calibración y regulación de la maquinaria utilizada para el mapeo de rendimiento y para la siembra variable

La cosecha de los ensayos comenzará por la calibración de la maquinaria utilizada. Las diferencias de calibración del monitor de rendimiento se debieron a que este incluyó la medición de la porción cosechada de un cultivo en el espacio y tiempo, y la síntesis de esas medidas en forma de mapa de rendimiento. El monitoreo de rendimiento de los cultivos y su ubicación dentro de los lotes fue posible gracias al advenimiento de sensores apropiados, sistemas de posicionamiento precisos y avances en la tecnología de las computadoras. El producto final fue un mapa con distintos colores o tonos que muestran rangos de rendimiento dentro de un lote.

El rendimiento en grano expresado en términos de kilogramos por hectárea o quintales por hectárea. Por otro lado, el contenido de humedad del grano tiene un alto impacto en los rendimientos medios. Contenidos diferentes de humedad harán que un mismo volumen de dos muestras de un mismo grano tenga distinto peso. Los rendimientos de granos son establecidos en términos de peso por unidad de área a un contenido de humedad específico.

Para determinar el rendimiento instantáneo de los cultivos se debieron conocer tres cosas: el flujo de grano a través del sistema de grano limpio de la cosechadora, la velocidad de avance de la cosechadora y el ancho de corte del cabezal. El flujo de grano se midió en la cosechadora cerca de la tolva de grano, en unidades de volumen o masa por unidad de tiempo. La velocidad de avance puede ser medida en un número diferente de maneras, en unidades de distancia por unidad de tiempo. El ancho de corte puede ser medido en metros o en número de surcos.

El control del sistema se hace a través de la consola ubicada en la cabina de la máquina. Esta permitió encontrar objetivos como información general de lotes, cargas, velocidad, flujo de trabajo, rendimiento, pantalla de calibración de peso, distancia, humedad.

El monitor utilizado en la práctica es la versión GreenStar Original de John Deere.

Para la correcta calibración, el primer paso fue identificar correctamente el campo en donde se confeccionó el mapa y cargando los datos necesarios como: nombre de productor, campo, lote, tipo de cultivo, entre otros, ya que algunos parámetros están preestablecidos y se activan automáticamente dependiendo del cultivo que se trate.

Mediante las mediciones de fuerza, desplazamiento, volumen, velocidad del flujo del material, contenido de humedad del grano, velocidad de cosecha y ancho de labor fueron combinados para producir una estimación de rendimiento en grano de un cultivo.

La calibración comprende la selección de constantes y procedimientos para determinar coeficientes de calibración y convertir señales eléctricas en medidas de parámetros deseados.

Además se verificaron los siguientes sensores de la cosechadora:

1. Sensor de flujo de grano (placa de impacto o volumétrico).

El rendimiento se puede medir poniendo una placa de impacto en el camino del flujo del grano. La fuerza es medida por una celda de carga, dispositivo que transforma una carga incidente en una señal eléctrica. Esta conversión es lograda a través de una banda extensométrica adosada a la celda. Una muy pequeña deformación de la celda de carga ocasiona un cambio medible en la resistencia ofrecida por la banda al flujo de corriente eléctrica.

Este sistema presenta poco desgaste con el uso al no tener piezas móviles, lo que significa que no ocurrirán cambios en la calibración debido al desgaste de las piezas del sensor. Sí pueden ocurrir cambios en la calibración (de hecho ocurren y son de gran importancia) por desgaste de las piezas de las cosechadoras, como por ejemplo, baldes de la noria, pared de la noria o tensión de la cadena de esta.

2. Sensor de humedad del grano.

Los granos están constituidos de varios componentes que incluyen proteínas, almidón, agua, aceite. La calidad del grano que está determinada por estos componentes es de importancia creciente en el mercado.

El contenido de humedad del grano al momento de cosecha afecta la cantidad, la cantidad de grano dañado y cómo el grano debe ser manipulado y almacenado luego de la misma. De gran importancia es su efecto en el peso y volumen de la misma.

Los contenidos de humedad pueden variar mucho dentro de un lote y ciertamente variaran con el tiempo. Es necesario considerarlos al momento de la cosecha para que luego puedan ser convertidos en valores estándar.

Estos sensores se ubicaron en el elevador de grano limpio, con entrada en la zona de elevación y salida regulada por un motor eléctrico en el regreso de la noria.

El sensor mide las propiedades dieléctricas del grano que fluye entre las placas metálicas, mientras más alto es el contenido de humedad de grano, más alta es la constante dieléctrica, y ello indica la cantidad de humedad del grano.

Este necesita de una calibración, por ello se debió tomar simultáneamente la humedad de grano indicada en el monitor y las muestras de humedad en la tolva, para cargar el dato real y también leer la humedad promedio para luego sacar muestras representativas de varios lugares del lote y compararla para ingresar el dato real, luego de calibrado el mismo medirá con precisión.

Para su calibración se comparó el dato medido por el monitor con el dato que arrojó un medidor externo; se efectuó en cada cambio de cultivo y después se debe controlar periódicamente. Esto es importante porque el monitor calcula el rendimiento en seco corrigiendo con el dato de sensor de humedad del equipo.

3. Sensor de velocidad de avance.

En cuanto a la medición de velocidad, tenemos 3 tipos:

El sensor magnético, mide las vueltas del palier o de las ruedas delanteras de la cosechadora, es el medidor original, son exactos cuando existen condiciones de buen piso y el neumático no se entierra ni patina.

El radar, emite una señal de micro ondas que es dirigida al suelo y vuelve al sensor cuando es reflejado.

La señal satelital por GPS.

4. Switch de posición del cabezal.

Mediante el sensor de posición del cabezal se calculó de superficie realizada por la cosechadora. Cuando se levantó el cabezal, el sensor suspende la medición de área, cuando el cabezal bajó a una altura razonable y regulable, el equipo comenzó a contar distancia recorrida y área (esta mediante el ingreso del ancho de trabajo).

Mediante el software del monitor se pudo estimar el retraso de paso, hasta que el grano llega desde el cabezal hasta el sensor de flujo. El mapa de rendimiento, fue corregido por el software, colocando el dato en el lugar lo más aproximado donde fue tomado.

El ancho del cabezal junto con la distancia recorrida, definieron el área cosechada, pudiendo subestimar en caso de que el ancho de la plataforma programada sea mayor a la real o sobre estimar en caso de que sea menor.

Se midió distancia mediante estaca en el terreno luego se ubicó la cosechadora, se baja el cabezal y se recorrió la distancia que separa las dos estacas y se verifica si la distancia que nos marca el monitor coincide con la marcada en el terreno.

El sensor de altura de cabezal le indicó al monitor cuándo la maquina está cosechando y cuándo no. Para cada cultivo hay una altura diferente de cosecha. Esto se hizo poniendo el cabezal a la altura de trabajo y se mueve la constante hacia arriba o hacia abajo hasta que la luz indicadora de conteo de superficie este apagada.

Si al llegar a los extremos del lote no se levanta el cabezal lo suficiente como para que prenda la luz indicadora, el monitor interpretará que hay zonas de rendimiento cero, esto arruinaría los promedios al aumentar la superficie para una misma cantidad de grano.

5. Receptor de GPS.

La antena de GPS debe ir al centro de la máquina para que las sucesivas pasadas queden a la misma distancia unas de otras y nada debe interferir la información que se recibe de los satélites.

Por otro lado, además de la calibración de los sensores, la calibración del peso de grano, temperatura y vibración son pasos importantes a realizar para lograr el mejor desempeño de cada una de las partes de la cosechadora.

La manera de calibrar peso es:

Ingresando el peso real (incluido por una balanza externa).

El monitor utilizado es simple de utilizar debido a que con una sola pesada se obtiene el factor de corrección y una vez ingresado ese factor traza una curva de calibración estimada en base a ese punto único. También tiene la posibilidad de ingresar dos pesadas, una para la zona de alto rendimiento y uno para los de bajo rendimiento.

En cuanto a la temperatura, el sensor de humedad posee un sensor que mide la temperatura del grano para corregir la humedad medida.

Para realizar esta calibración se toma la temperatura ambiente e ingresa como dato de calibración al monitor. La temperatura ambiente debe ser medida después de que se haya estabilizado por un par de horas. El sensor mide la temperatura del grano que es muy similar a la ambiente a lo largo del día.

El último punto a considerar, y no de menor importancia, es la calibración por vibración, este se hace cada vez que se repare o modifique la máquina o una vez por campaña, sirve para la vibración propia de la cosechadora cuando está funcionando y no sea interpretada como grano que impacta en la placa, básicamente es una tara de la balanza. Para llevar a cabo esta operación se mueve el valor de calibración hacia arriba o hacia abajo hasta que el monitor no produzca lecturas de rendimiento.

Si todas las calibraciones son realizadas con exactitud, es de esperar que los monitores de rendimiento entreguen los datos con una variación menor al 5% del rendimiento real del cultivo.

El sistema de almacenamiento de datos que se van recolectando durante la cosecha consta de tarjetas de uso externo, denominadas ATA Flash, la cual posee una memoria de 32 Mb, debiendo descargar los datos periódicamente para tener mayor seguridad en cuanto al registro de los mismos.

Luego de que las calibraciones son adecuadas, se procedió a la cosecha de los ensayos, en donde el procedimiento para la obtención de los datos consistió en vaciar la tolva de la cosechadora y las monotolvas, calibrando las balanzas, luego comenzando la trilla en cada franja, y tomando al final de cada una los pesos promedios del monitor de la cosechadora y monotolva, cuando los dividimos por la superficie de cada franja nos da el rendimiento correspondiente, donde este se analiza con el tratamiento realizado.

Los datos de cada franja, mapas de rendimiento se observan en anexo 1 y 2, y en resultados el Rendimiento, Respuesta, Margen y Presupuesto Parcial.

Una vez analizados los ensayos, luego de realizar los análisis de dosis óptima económica para cada zona, se procedió a confeccionar las recomendaciones de fertilización y densidades a aplicar en cada ambiente para la próxima siembra.

A partir de esta información, se inició la confección de la prescripción de semilla y fertilizante variable dentro del lote a sembrar con sus correspondientes coordenadas GPS. Prescripción es lo que el asesor indica que tiene que ir dosificando la sembradora en cada sitio del lote. Para esto se utiliza el software específico de Agrometal llamado Promap (Desarrollado por Computadoras de Siembra TIM), el cual lee archivos con el formato .shp (Shapefile), antes utilizado para el procesamiento de los mapas de rendimiento, pudiendo así con éste programa realizar la prescripción para luego almacenarla en una tarjeta de memoria la cual va ubicada en la computadora de la sembradora.

La computadora de siembra que se utilizó es la consola CS-ORO MAX, de Agrometal ubicada en la sembradora IOM Inteligente de 16 surcos.

Todo el equipo posee una calibración previa en forma estática, para cargar las constantes en el monitor. Estas constantes son la cantidad de semilla a poner en 10 m lineales de surco y el peso del fertilizante arrojado en una determinada cantidad de vueltas que da el tren cinemático de la sembradora.

También se cargaron datos de lote, datos específicos de la máquina como lo son cantidad de surcos, distancia entre surcos, número de agujeros que posee la placa de semilla, se controlan sensores de velocidad de avance y posición de siembra.

Por último se realizó un test de semilla y fertilizante poniendo la velocidad en modo simulador. Además el monitor posee alarma que indica si el giro de los motores tanto de semilla como de fertilizantes es alto o bajo, alarma de giro de la rueda de velocidad, alarma de válvulas de semilla y fertilizante en posición máxima o mínima, también si la sembradora está en posición de siembra o levantada y por último, también entrega información sobre la comunicación eléctrica con el control ubicado en la sembradora (Bragachini *et al.*, 2004).

Terminada la calibración, se procedió a la siembra, donde se realizó conteos para evaluar el correcto funcionamiento y comprobar que se está logrando a campo lo que se prescribió.

En cuanto a la semilla, ésta se controló midiendo 10 m lineales (debido a que la máquina, la prescripción, la solicita cada 10 m lineales) y se realizaron conteos de semillas en los diferentes ambientes verificando si coincide con lo prescripto previamente, de no ser así se vuelven a realizar las calibraciones en donde sea necesario. En este proceso también se visualizó la profundidad y distribución de semillas, la cual es importante y nos da referencia si tenemos que ajustar alguna parte en el tren de siembra.

En cuanto al fertilizante, se colocaron bolsitas en las boquillas de los dosificadores, en este caso se realiza un recorrido de 100 m y al promedio de todas las bolsas se lo divide por la

distancia entre surco, el resultado es el peso en kg ha^{-1} , este se verifica con lo prescrito controlando así que la calibración estática haya sido correcta.

Finalizada la siembra y tras la emergencia del cultivo se procedió a evaluar la cantidad de plantas por ambientes, en este procedimiento se midieron 19,23 m lineales de surco, los cuales multiplicados por la distancia entre surco (0,52 m) equivalen a 10 m^2 . Multiplicando esta cantidad por 1000 se obtuvo la población de plantas por hectárea, pudiéndose así verificar si se logró la población prescrita.

8. RESULTADOS DE LOS ANALISIS

Como el principal resultado de todo el proceso fue la obtención de los mapas de rendimiento. Se presenta en la figura 4 como hubiera quedado el mapa sin el proceso de limpieza propuesto en la metodología. Como se puede observar en el siguiente ejemplo y por razones de mala calibración del ancho de trabajo, la cosechadora deja uno o dos surcos sin cosechar a lo largo de una pasada debiendo ser esa franja vuelta a cosechar pero sin haber modificado el ancho de trabajo, generando así poco flujo de grano para el ancho establecido. Debido a esto, el dato de rendimiento es muy bajo a lo largo de toda la pasada de la máquina, debiendo ser eliminado ya que modifica los valores del rendimiento en la totalidad del mapa (Figura 4).

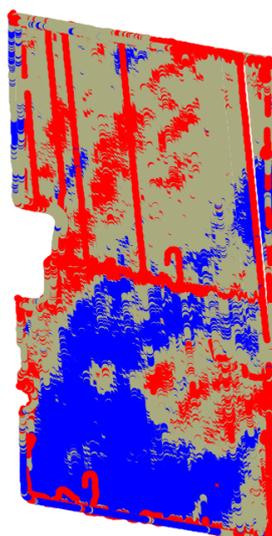


Figura 4. Mapa de Rendimiento de Cosechadora

Luego de realizar el procesamiento mediante la eliminación de datos extremos según el Intervalo Intercuartil, se ve claramente la eliminación, de los sectores en donde la maquina cosechadora tomo datos erróneos (Figura 5).

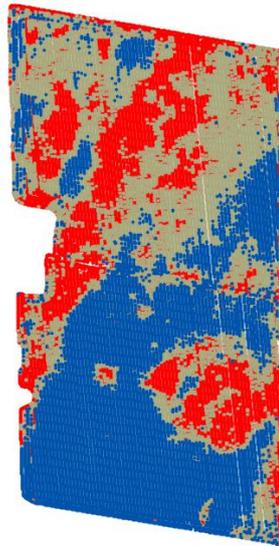


Figura 5. Mapa de Rendimiento Procesado.

Una vez realizado esto, se puede apreciar en la siguiente imagen el mapa de ambientes del mismo lote zonificado con el programa MZA, mencionado anteriormente. El mismo fue clasificado en tres zonas de manejo diferentes, debido a que existen diferencias del 62% de variación en los rendimientos entre el ambiente de baja producción (loma o Q1) con respecto al de media producción (Q1-Q2); del 43% entre este último y el ambiente de alta producción (bajo o Q3); y una diferencia de 79% entre los ambientes extremos (Q1 y Q3 respectivamente) (Figura 6).

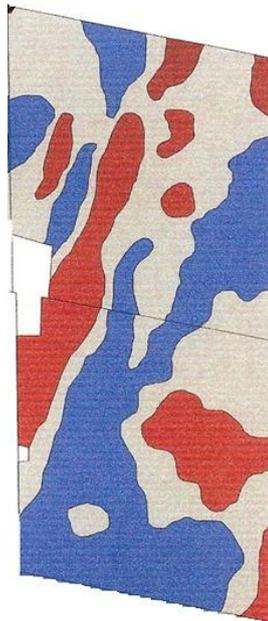


Figura 6. Mapa de Ambientes. Rojo, bajo rendimiento. Gris, rendimiento medio. Azul, alto rendimiento.

El mismo procedimiento se realizó para la totalidad de los lotes del establecimiento, obteniendo así el mapa de ambientes para toda la superficie. En este se encuentran suelos del tipo Haplustoles énticos en zonas de bajo rendimiento (Rojo), y Haplustoles típicos en zonas de alto rendimiento (azules). En cuanto a las zonas de producción promedio, se observan los dos tipos de suelos dependiendo de la cercanía a uno u otro tipo. También se delimitaron zonas de anegamiento donde la maquinaria no pudo ingresar, no teniendo datos de rendimiento (Rosa, verde claro y verde oscuro). (Figura 7).



Figura 7. Mapa de Ambientes del Establecimiento " El Manantialito", Córdoba.

Como se mencionó en materiales y métodos, una vez confeccionado el mapa de ambiente, se planificó los ensayos cruzando las diferentes zonas de manejo en lote 3 y 9. Como se puede apreciar en la Figura 8.



Figura 8. Ubicación de Ensayos en el Establecimiento " El Manantialito", Córdoba.

I. Resultados del análisis del ensayo de densidades.

El análisis estadístico de los ensayos requirió la confección de diversos mapas, como por ejemplo la utilización de cuadrículas para determinar la matriz de ponderadores espaciales (vecinos) que requiere el modelo econométrico utilizado (Figura 9).

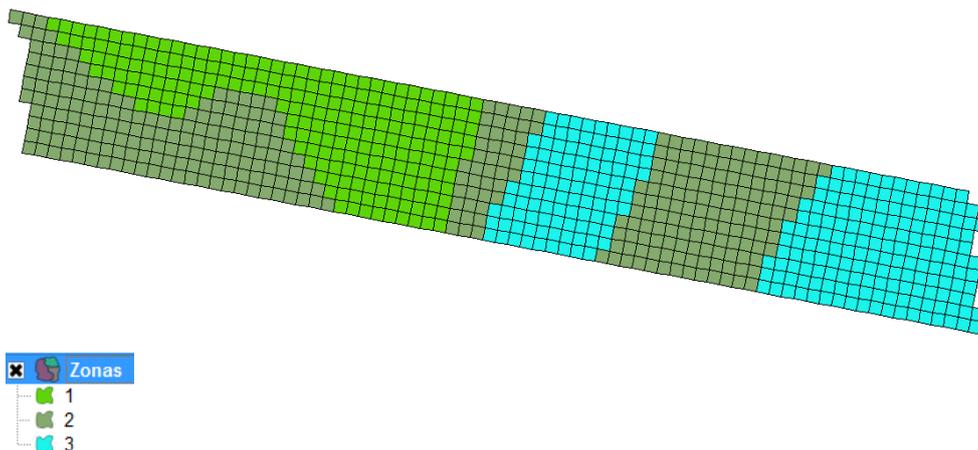


Figura 9. Cuadrícula de Zonas de Ensayo Densidades.

El mapa de rendimiento, el de zonas de manejo y la cuadrícula se fusionan para luego realizar el análisis estadístico del efecto del tratamiento (densidad de siembra o dosis de MAP)

sobre el rendimiento evaluado por zonas de manejo. En la Figura 10 se puede apreciar como las ZM (1, 2 y 3, AP, PP y BP respectivamente) se asocian con los rendimientos obtenidos de maíz.

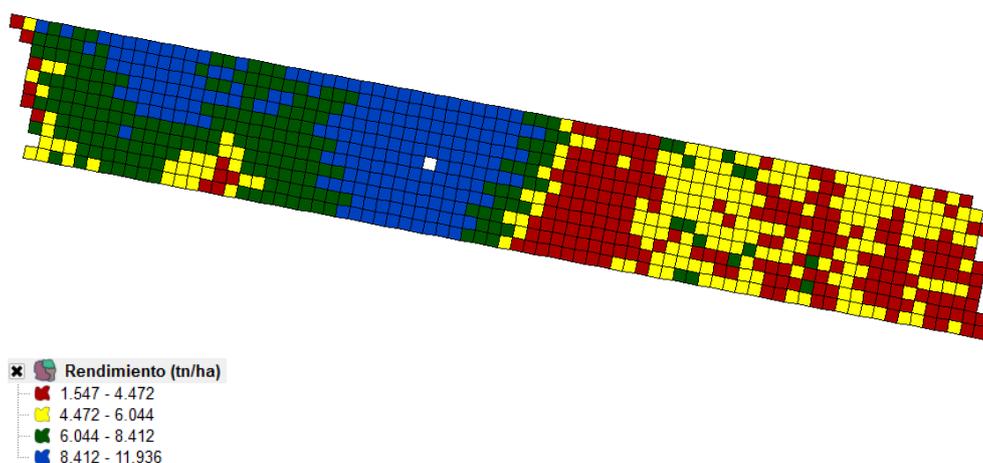


Figura 10. Cuadrícula de Rendimiento de Ensayo Densidades.

Para el caso del ensayo de densidad por ambientes, los resultados del análisis de regresión entre el rendimiento y la densidad de plantas en su interacción con las ZM mediante el método clásico (Cuadro 1) y el método econométrico (Cuadro 2) se presentan a continuación:

Análisis de Regresión Ensayo Densidades

Cuadro 1. Método Clásico:

Variable	Coefficiente	Est.Error	t-Estadístico	Probabilidad
CONSTANT	6.62	2.30	2.87	0.0041
D	-9.34e-007	6.69e-005	-0.014	0.99
D2	2.26e-011	4.74e-010	0.047	0.96
Z2	0.98	3.07	0.32	0.75
DZ2	-3.75e-005	8.91e-005	-0.42	0.67
D2Z2	2.45e-010	6.32e-010	0.39	0.70
Z3	-7.71	3.26	-2.37	0.018
DZ3	0.00016	9.45e-005	1.71	0.088
D2Z3	-1.18e-009	6.70e-010	-1.76	0.079

Cuadro 2. Método Error Espacial:

Variable	Coeficiente	Est.Error	z-valor	Probabilidad
CONSTANT	7.16	1.07	6.67	0.00
D	-2.17e-005	2.83e-005	-0.76	0.44
D2	1.14e-010	1.96e-010	0.58	0.56
Z2	0.89	1.30	0.22	0.82
DZ2	-4.67e-006	3.70e-005	-0.13	0.90
D2Z2	2.17e-011	2.58e-010	0.084	0.93
Z3	-4.01	1.40	-3.16	0.0016
DZ3	0.000106	3.95e-005	3.06	0.0022
D2Z3	-8.54e-010	2.74e-010	-3.12	0.0018
LAMBDA	0.95	0.011	87.55	0.00

Comparando ambos métodos de análisis (clásico y econométrico) se desprende que el modelo econométrico presentó un mejor desempeño dado que los criterios de Akaike y Swartz fueron menores, además se detectó efecto significativo del coeficiente autoregresivo espacial LAMBDA y con ello una mejora en el coeficiente de regresión R^2 en este último (ver Anexo). A partir de los resultados encontrados mediante el modelo de error espacial (econométrico) se puede identificar en el Cuadro 1 y 2 que se encontró efecto significativo a la densidad de siembra solamente en la ZM Baja Producción (ver probabilidad de parámetros Z3, DZ3 y D2Z3).

Si bien, se puede concluir que las ZM interactuaron significativamente sobre la densidad de siembra, para las tres ZM del lote la densidad recomendada fue las más baja, dado que en dos de ellas no se encontraron efectos significativos y por ello se debe utilizar la menor densidad evaluada y en la restante la respuesta a la densidad fue del tipo negativa, es decir cualquier aumento en la misma genera una disminución del rendimiento, por ello en esta también debe utilizarse la menor densidad (Figura 11).

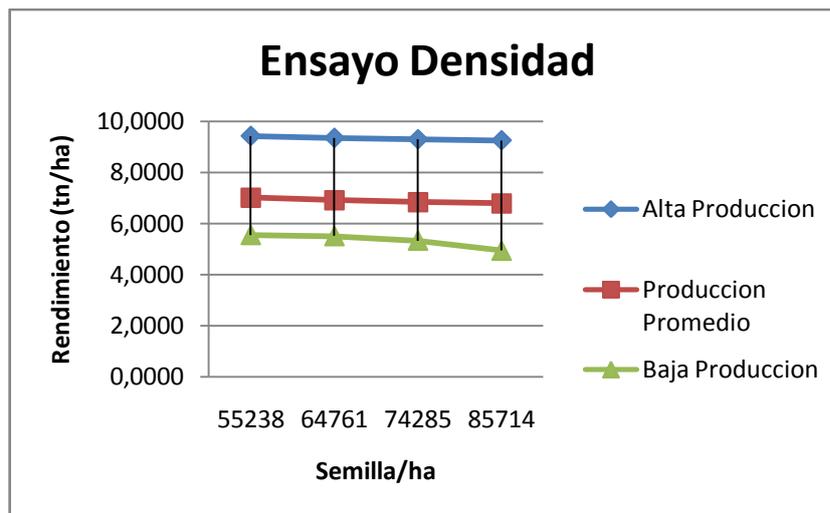


Figura 11. Relación entre el rendimiento por zona de manejo (ZM) ante aumentos en la densidad de siembra.

Como en la tres ZM se debe recomendar utilizar la menor densidad de siembra carece de sentido realizar un análisis económico de la conveniencia de practicar siembra variable. Por ello, se propuso evaluar la diferencia de retorno entre la densidad utilizada por el productor para ese lote durante esa campaña (Productor) y la densidad óptima obtenida mediante el ensayo (Óptima), para ello se utilizó la presupuestación parcial según Bragachini *et al* (2009a), cuyos resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Presupuesto Parcial Ensayo Densidades.

	Densidad	Rto Promedio (kg/ha)	Ingreso Bruto Promedio (USD/ha)	Gasto Semilla Promedio (USD/ha)	Ingreso Parcial Promedio (USD/ha)
Densidad Productor	74285	7155,33	\$ 622,51	\$ 118,86	\$ 503,66
Densidad Óptima	55238	7327,67	\$ 637,51	\$ 88,38	\$ 549,13
Diferencia		-172,33	\$ -14,99	\$ 30,48	\$ 45,47

Precio Semilla, 0,0016 USD/semilla. Precio Maíz, 0,087 USD/kg.

En esta campaña el productor tuvo una pérdida económica por no haber utilizado la densidad óptima de 45,47 USD/ha, dicha diferencia se origina por el ahorro de semilla al disminuir la densidad de siembra y en menor medida por el aumento de rendimiento que esta disminución generó.

II. Resultados del análisis del ensayo de fertilización.

El mapa de zonas de manejo del lote donde se realizó el ensayo de fertilización con MAP se presenta en la Figura 12.

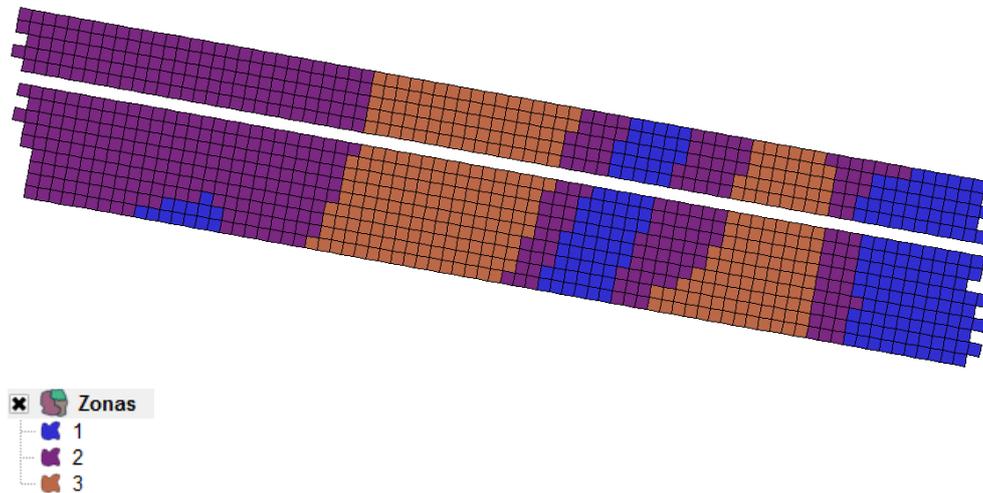


Figura 12. Cuadrícula de Zonas de Ensayo Fertilización.

Similarmente a lo presentado para el ensayo de densidad de siembra, las ZM del ensayo de fósforo (Figura 12) también se relacionan con el rendimiento del maíz (Figura 13), dado que los mayores rendimientos se observan en la ZM 1 (AP) y los menores en la ZM 2 (BP).

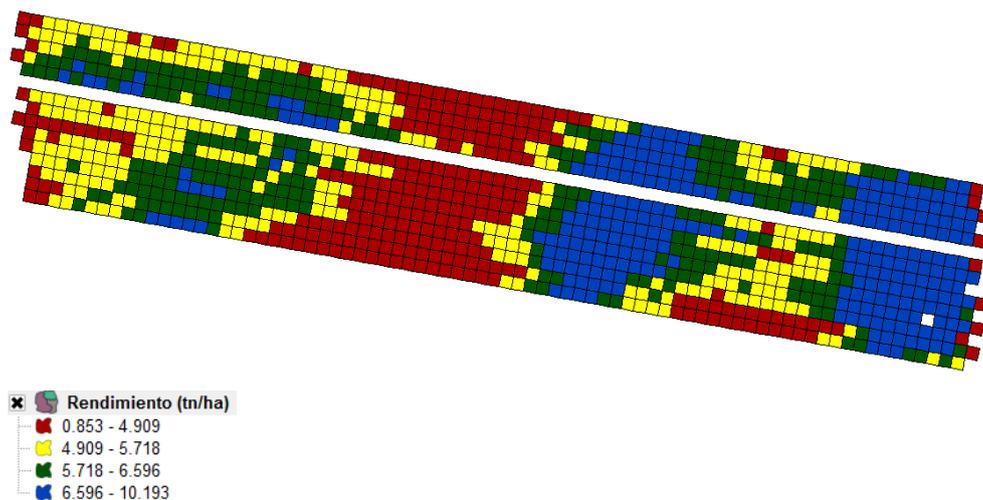


Figura 13. Cuadrícula de Rendimiento de Ensayo Fertilización.

El análisis de la regresión entre el rendimiento de maíz y las dosis de MAP por ZM se presenta para el método clásico en el Cuadro 4 y para el econométrico en el Cuadro 5.

Análisis de Regresión Ensayo Fertilización con MAP.

Cuadro 4. Método Clásico:

Variable	Coficiente	Est. Error	t-Estadístico	Probabilidad
CONSTANT	5.53	0.062	88.51	0.00
P	0.0038	0.0010	3.63	0.00029
P2	-3.11e-007	3.34e-006	-0.093	0.93
Z2	-1.16	0.087	-13.41	0.00
PZ2	-0.0016	0.0014	-1.12	0.26
P2Z2	2.24e-006	4.64e-006	0.48	0.63
Z3	-0.23	0.081	-2.85	0.0045
PZ3	0.0010	0.0013	0.77	0.44
P2Z3	-6.15e-006	4.27e-006	-1.44	0.15

Cuadro 5. Método de Error Espacial:

Variable	Coficiente	Est. Error	z-valor	Probabilidad
CONSTANT	5.49	0.19	29.46	0.00
P	-0.00073	0.00076	-0.96	0.34
P2	7.14e-006	2.37e-006	3.01	0.0026
Z2	-0.095	0.11	-0.84	0.40
PZ2	-0.0015	0.0010	-1.48	0.14
P2Z2	4.0028e-006	3.25e-006	1.23	0.22
Z3	-0.065	0.081	-0.80	0.42
PZ3	0.00027	0.00094	0.29	0.77
P2Z3	-2.57e-006	2.93e-006	-0.88	0.38
LAMBDA	0.90	0.014	62.99	0.00

Como puede apreciarse en los Cuadros 4 y 5, no se detectaron diferencias estadísticas significativas debidas a la fertilización fosforada en ninguno de los ambientes, como así tampoco interacción dosis de MAP por ZM significativa. En el año en que se realizó este ensayo (2010), la disponibilidad de fósforo al momento de la siembra en las diferentes zonas pudieron haber sido suficientes (ver en anexo) para el rendimiento alcanzado, estimado en 5,49 t ha⁻¹. De este modo la recomendación de fertilización indica que para el logro de estos rendimientos no se necesita aplicación alguna de este nutriente (Figura 14).

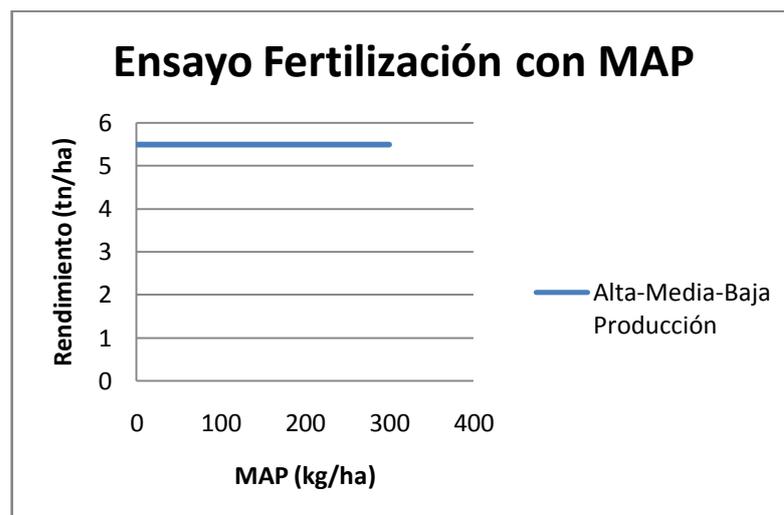


Figura 14. Gráfico de Rendimiento por ambientes según Dosis MAP.

De acuerdo a los resultados se realiza la optimización económica comparando el manejo de densidad variable por ambientes respecto densidad fija.

Cuadro 6. Presupuesto Parcial Ensayo Fertilización.

	MAP (kg/ha)	Rto Promedio (kg/ha)	Ingreso Bruto Promedio (USD/ha)	Gasto MAP Promedio (USD/ha)	Ingreso Parcial Promedio (USD/ha)
Productor	80	5490	\$ 477,63	\$ 48,00	\$ 429,63
Óptima	0	5490	\$ 477,63		\$ 477,63
Diferencia		0	\$ 0	\$ -48,00	\$ -48

Precio MAP, 0,6 USD/kg. Precio Maíz, 0,087 USD/kg.

Similarmente a lo presentado para el estudio de densidad de siembra, los resultados del ensayo de fertilización con MAP se utilizaron para comparar la dosis óptima vs la dosis productor. Como se puede apreciar en el Cuadro 6, la dosis de 80 kg ha⁻¹ empleada por el productor no generó ingresos extras de producción razón por la cual generó una pérdida de \$ 48. No obstante, es necesario resaltar que la dosis Productor es una dosis de reposición de los nutrientes extraídos por este rendimiento del cultivo y debido a ello el suelo quedaría en las mismas condiciones de fertilidad. Si bien el óptimo económico fue de 0 usd ha⁻¹ un análisis económico a un mayor plazo (sustentabilidad) podría indicar otro resultado.

A raíz de esto se realiza la prescripción por ambientes como se mencionó anteriormente con el programa Promap, importando el mapa de ambientes de todo el establecimiento (Imagen 4) y colocando las dosis según sus zonas. En ésta situación en particular, en cuanto al manejo de densidad de semilla se deberán realizar nuevos ensayos teniendo en cuenta dosis extremas, tanto menores como mayores, para poder evaluar con mayor exactitud los resultados obtenidos. En cuanto al manejo de fertilización deberá ser mediante el concepto de reposición de este nutriente al suelo, teniendo esto definido se calibran las partes de la sembradora, quedando así cerrado el proceso hasta la obtención de nuevos mapas de rendimiento y nuevos análisis en la siguiente cosecha.

9. CONCLUSIONES

- Aspectos Laborales

En cuanto al lugar de trabajo, considero que fue el indicado para desarrollar el tema abordado en esta práctica. Siendo una empresa pionera en la región se pudo interactuar con profesionales del tema y obtener así conocimiento y capacitación.

La tecnología empleada por la empresa es la óptima para las tareas realizadas y la empresa se mantiene permanentemente informada en nuevos avances, tanto en maquinarias, software, equipos electrónicos que hacen posible mejorar la eficiencia de cada etapa del proceso.

A nivel personal adquirí conocimiento práctico sobre el empleo de Agricultura de Precisión; cómo resolver diferentes problemáticas en tiempo real; cómo controlar y regular las diferentes maquinarias y software y otras experiencias que se fueron presentando a lo largo del proceso.

Desde el comienzo el personal estuvo dispuesto a ayudar, brindándome la información que necesité en cada momento e intentando evacuar cualquier duda que se me presentara.

- Aspecto Profesional y Social-Humano

Como experiencia profesional, considero a la práctica profesional una metodología eficiente a la hora de adquirir conocimientos ya que constantemente se combina lo teórico y lo práctico de un tema en particular, teniendo así mayor grado de interpretación y asimilación de las metodologías y tareas.

De esta forma se logra afianzar los conocimientos que nos brinda la Universidad, pudiendo corroborar que éstos, además de estar en constante actualización, han sido muy bien transmitidos.

Con respecto a lo social-humano, la práctica profesional favorece la interacción con otros profesionales, la organización de las tareas que optimicen el tiempo y los recursos reconociendo así el valor del trabajo en equipo para el logro de los objetivos y el crecimiento mutuo.

10. BIBLIOGRAFIA

- AACREA. 2011. **Series de precios agropecuarios**. Área de Economía de AACREA. Capital Federal, Argentina.
- AMUCHASTEGUI, J. 1999. **Interpretación de mapas de rendimiento**. Inta, Manfredi, Córdoba, Argentina.
- AKAIKE, H. 1974. **A new look at the statistical model identification**. IEEE Transactions on Automatic Control. 19(6): 716–723.
- ANDRADE F. 2011. **La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos**. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur. Ediciones INTA, 42 pp.
- ANSELIN, L. 1988. **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- ANSELIN, L. 1999. **Spatial Econometrics**. Staff paper. Bruton Center, School of Social Sciences, University of Texas at Dallas, Richardson. 31 pp.
- 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. 2006. **Viabilidad económica. Libro agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable**. Editorial PROCISUR. Cap.9. p: 171-184.
- BRAGACHINI, M. (2007) **7º Curso Internacional de Agricultura de precisión y 2ª Expo de Máquinas precisas. Resúmenes de trabajos presentados**. Inta, Manfredi, Córdoba, Argentina.
- BRAGACHINI M.; A. MÉNDEZ y F. SCARAMUZZA. 2004. **Agricultura de Precisión y Siembra Variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS**. En: www.agriculturadeprecision.org
- 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.
- BRAGACHINI, M; A. MÉNDEZ; F. SCARAMUZZA; J.P. VÉLEZ y D. VILLARROEL. (2009a). **Determinación de Viabilidad Económica de la Tecnología de Dosis Variable de Insumos en Maíz**. INTA Manfredi. Proyecto Agricultura de Precisión. Manfredi, Córdoba, Argentina. 9 pp.

- BRAGACHINI, M; A. MÉNDEZ; F. SCARAMUZZA; J.P. VÉLEZ y D. VILLARROEL. (2009b). **Monitoreo de Rendimiento**. INTA Manfredi. Proyecto Agricultura de Precisión. Manfredi, Córdoba, Argentina. En: www.agriculturadeprecision.org.
- BRAGACHINI, M; A. MÉNDEZ; F. SCARAMUZZA; J.P. VÉLEZ y D. VILLARROEL. (2009c). **Dosificación variable de insumos, protocolo de trabajo**. INTA Manfredi. Proyecto Agricultura de Precisión. Manfredi, Córdoba, Argentina. En: www.agriculturadeprecision.org.
- BULLOCK, D. S. y D. G. BULLOCK. 2000. **From Agronomic Research to Farm Management Guidelines: A Primer on the Economics of Information and Precision Technology**. Precision Agriculture. 2(1):71-101.
- CANTERO, A.; CISNEROS, J.; CHOLAKY, C. (2002) **Conceptos básicos de uso de las tierras**. (Río Cuarto, Córdoba, Argentina). UNRC.
- DILLON, J. y J. ANDERSON. 1990. **The Analysis of Response in Crop and Livestock Production**. Pergamon Press, New York.
- DOERGE, T. 1999. **Defining management zones for precision farming**. Crop Insight. Pioneer Hi-Bred International Inc. (8):21.
- ESPINA, F. (2007) **7º Curso Internacional de Agricultura de precisión y 2ª Expo de Máquinas precisas. Resúmenes de trabajos presentados**. Inta, Manfredi, Córdoba, Argentina.
- FRIDGEN, J.J.; N.R. KITCHEN; K.A. SUDDUTH; S.T. DRUMMOND; W.J. WIEBOLD y C.W. FRAISSE. 2004. **Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation**. Agron. J. 96: 100-108.
- GONZALEZ, J.; CISNEROS, J.; HAMPP, E. (1997) **Utilización de las tierras en las regiones naturales del país**. (Río Cuarto, Córdoba, Argentina). UNRC.
- KYVERYGA P. M., BLACKMER T. M. AND CARAGEA P. C. 2011. **Categorical Analysis of Spatial Variability in Economic Yield Response of Corn to Nitrogen Fertilization**. Agron. J. 103(3):796–804.
- MIZZOU-ARS. 2000. **Management Zone Analyst Version 1.0.1**. University of Missouri-Columbia & Agricultural Research Service of the United States Department of Agriculture.
- MORAN, P.A.P. 1950. **Notes on Continuous Stochastic Phenomena**. Biometrika 37(1):17–23.
- QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. 2011. **Quantum GIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- TUKEY, J.W. 1977. **Exploratory data analysis**. Addison-Wesley Reading, MA. 688pp.

ANEXOS

• Análisis de Suelos por ambientes

El Manantialito.																									
Análisis presiembra																									
Lote	Caracterización ambiente	Has	Has Totales	% Sup	Prof. (cm)	M.O. (%)	P 09-10 (ppm)	S (ppm)	NO3 (ppm)	Are	Lim	Arc	Text	Dens	PH	C.E.	CIC	Ca	Mg	K	Na	PSI			
1	Baja Producción	10.53	56.64	19%	0-20	0.97	6.4	3.3	17	79	12	10	FA	1.40	6.2										
	Producción Promedio	30.01		53%	0-20	1.19	8.0	4.2	15	70	15	15	FA	1.40	6.3										
	Alta Producción	16.10		28%	0-20	2.38	22.7	3.4	34	49	29	23	F	1.35	6.2										
2	Baja Producción	12.77	55.30	23%	0-20	1.09	13.6	3.3	9	75	16	10	FA	1.40	6.2										
	Producción Promedio	18.52		33%	0-20	1.29	14.0	3.8	22	69	17	15	FA	1.40	6.2										
	Alta Producción	24.01		43%	0-20	2.16	21.2	4.6	56	52	27	22	FaA	1.35	6.1										
3	Baja Producción	15.91	56.23	28%	0-20	1.34	6.30	3.3	24.0	65	24	12	FA	1.40	6.2										
	Producción Promedio	24.90		44%	0-20	1.53	6.90	3.3	34.0	64	24	13	FA	1.40	6.2										
	Alta Producción	14.53		26%	0-20	2.47	9.50	3.8	53.0	48	36	17	F	1.35	6.2										
	Compact	0.89		2%	0-20																				
4	Baja Producción	7.95	37.47	21%	0-20	1.00	8.8	4.1	33	78	12	10	FA	1.40	6.2										
	Producción Promedio	22.74		61%	0-20	1.41	5.1	3.2	30	61	27	13	FA	1.40	6.2										
	Alta Producción	6.78		18%	0-20	2.47	10.2	4.1	35	52	30	19	F	1.35	6.1										
5	Baja Producción	5.37	19.46	28%	0-20	0.81	6.6	4.4	6	85	7	9	AF	1.45	6.2										
	Producción Promedio	9.41		48%	0-20	1.43	5.6	3.8	8	69	19	13	FA	1.40	6.3										
	Alta Producción	4.68		24%	0-20	2.12	10.7	4.2	12	56	28	17	FA	1.40	6.4										
6	Baja Producción	6.01	25.20	24%	0-20	0.98	12.5	3.2	9	84	8	9	AF	1.45	6.1										
	Producción Promedio	4.96		20%	0-20	1.71	11.7	4.1	15	70	18	13	FA	1.40	6.3										
	Alta Producción	10.15		40%	0-20	1.95	8.9	3.0	15	64	20	17	FA	1.40	6.3										
	IN Verde Claro	2.78		11%	0-20	1.41	6.0	3.3	18	74	17	10	FA	1.40	6.4	0.2	7.6	4.3	1.2	1	0	0.4			
					20-40											6.6	0.1	8.4	5.1	1.5	0.9	0	0.5		
					40-60											6.8	0.1	8.7	5.5	2	0.9	0	0.3		
IN Verde Osc	1.3	5%	0-20	1.95	24.3	3.2	10	62	22	17	FA	1.40	6.3	0.2	9.8	6.5	1.4	1.1	0	0.3					
			20-40											6.6	0.1	10	6.4	1.6	1	0	0.3				
			40-60											6.8	0.1	8.6	6.2	1.9	0.9	0	0.3				
7	Baja Producción	5.68	50.37	11%	0-20	1.71	5.1	3.9	33	66	23	12	FA	1.40	6.5										
	Producción Promedio	28.84		57%	0-20	2.05	5.9	5.19	57	53	31	17	FA	1.40	6.4										
	Alta Producción	13.49		27%	0-20	2.33	7.4	3.7	63	51	33	17	F	1.35	6.3										
	IN Verde	2.36		5%	0-20	1.53	7.3	4.3	65	68	20	13	FA	1.40	6.2	0.3	8.4	5.7	1.3	1.2	0	0.4			
					20-40											6.8	0.1	8.7	6.2	1.7	1.1	0	0.2		
			40-60											7.0	0.1	9	5.9	1.7	1.1	0	0.2				
8	Baja Producción 8 Norte	10.51	93.78	11%	0-20	1.33	8.0	3.2	30	75	16	10	FA		6.3										
	Producción Prom. 8 Norte	12.20		13%	0-20	1.43	7.4	4.3	37	70	20	10	FA		6.3										
	Alta Producción 8 Norte	9.18		10%	0-20	2.62	11.0	4.5	97	47	33	20	F		6.1										
	Baja Producción 8 Sur	8.16		9%	0-20	0.95	8.7	3.5	45	81	10	9	AF	1.45	6.3										
	Producción Promedio 8 Sur	22.16		24%	0-20	1.38	4.9	4.3	74	71	17	13	FA	1.40	6.2										
	Alta Producción 8 Sur	5.60		6%	0-20	3.22	35.9	4.7	88	45	33	23	F	1.35	6.2										
	Ver	25.97		28%	0-20	0.98	7.7	7.1	28	72	16	13	FA		8.3	0.5	9.5	10	1.5	1.1	0.1	0.8			
					20-40											8.5	0.4	9.2	14	1.5	1.1	0.1	0.8		
			40-60											8.4	0.4	9.6	13	1.8	1.1	0.1	0.8				
9	Baja Producción	11.91	56.46	21%	0-20	1.14	8.00	3.3	29.0	78	14	9	FA	1.40	6.3										
	Producción Promedio	30.71		54%	0-20	1.69	4.30	3.0	48.0	62	24	14	FA	1.40	6.2										
	Alta Producción	13.84		25%	0-20	2.64	9.00	3.8	81.0	50	31	19	F	1.35	6.2										
			450.91																						

- **Análisis estadístico de los ensayos**

Regresión Lote 3

REGRESSION

SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION

Data set : lote3zonas
 Dependent Variable : RTO Number of Observations: 843
 Mean dependent var : 6.46704 Number of Variables : 9
 S.D. dependent var : 2.41098 Degrees of Freedom : 834

R-squared : 0.658061 F-statistic : 200.629
 Adjusted R-squared : 0.654781 Prob(F-statistic) : 0
 Sum squared residual: 1675.58 Log likelihood : -1485.71
 Sigma-square : 2.00908 Akaike info criterion : 2989.43
 S.E. of regression : 1.41742 Schwarz criterion : 3032.06
 Sigma-square ML : 1.98763
 S.E of regression ML: 1.40983

Variable	Coeficiente	Est.Error	t-Estadístico	Probabilidad
CONSTANT	6.62	2.30	2.87	0.0041
D	-9.34e-007	6.69e-005	-0.014	0.99
D2	2.26e-011	4.74e-010	0.047	0.96
Z2	0.98	3.07	0.32	0.75
DZ2	-3.75e-005	8.91e-005	-0.42	0.67
D2Z2	2.45e-010	6.32e-010	0.39	0.70
Z3	-7.71	3.26	-2.37	0.018
DZ3	0.00016	9.45e-005	1.71	0.088
D2Z3	-1.18e-009	6.70e-010	-1.76	0.079

REGRESSION DIAGNOSTICS

MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER 328.210993

TEST ON NORMALITY OF ERRORS

TEST	DF	VALUE	PROB
Jarque-Bera	2	21.3353	0.0000233

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	8	73.46359	0.0000000
Koenker-Bassett test	8	62.40865	0.0000000

SPECIFICATION ROBUST TEST

TEST	DF	VALUE	PROB
White	44	N/A	N/A

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE

FOR WEIGHT MATRIX : lote3zonas.gal

(row-standardized weights)

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.669707	N/A	N/A
Lagrange Multiplier (lag)	1	1413.1116028	0.0000000
Robust LM (lag)	1	124.1618270	0.0000000
Lagrange Multiplier (error)	1	1355.0257246	0.0000000
Robust LM (error)	1	66.0759487	0.0000000
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	1479.1875516	0.0000000

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

REGRESSION

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

Data set : lote3zonas
 Spatial Weight : lote3zonas.gal
 Dependent Variable : RTO Number of Observations: 843
 Mean dependent var : 6.467039 Number of Variables : 9
 S.D. dependent var : 2.410980 Degrees of Freedom : 834
 Lag coeff. (Lambda) : 0.949874

R-squared : 0.919130 R-squared (BUSE) : -
 Sq. Correlation : - Log likelihood : -978.732452
 Sigma-square : 0.470083 Akaike info criterion : 1975.46
 S.E of regression : 0.685626 Schwarz criterion : 2018.1

Variable	Coeficiente	Est.Error	z-valor	Probabilidad
CONSTANT	7.16	1.07	6.67	0.00
D	-2.17e-005	2.83e-005	-0.76	0.44
D2	1.14e-010	1.96e-010	0.58	0.56
Z2	0.89	1.30	0.22	0.82
DZ2	-4.67e-006	3.70e-005	-0.13	0.90
D2Z2	2.17e-011	2.58e-010	0.084	0.93
Z3	-4.01	1.40	-3.16	0.0016
DZ3	0.000106	3.95e-005	3.06	0.0022
D2Z3	-8.54e-010	2.74e-010	-3.12	0.0018
LAMBDA	0.95	0.011	87.55	0.00

REGRESSION DIAGNOSTICS

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	8	44.93024	0.0000004

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
 SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : lote3zonas.gal
 TEST DF VALUE PROB
 Likelihood Ratio Test 1 1013.96
 0.0000000
 ===== END OF REPORT =====

Regresión Lote 9

REGRESSION
 SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
 Data set : ensayo9zonas
 Dependent Variable : RTO Number of Observations: 1097
 Mean dependent var : 5.86705 Number of Variables : 9
 S.D. dependent var : 1.47231 Degrees of Freedom : 1088

R-squared : 0.574516 F-statistic : 183.636
 Adjusted R-squared : 0.571387 Prob(F-statistic) : 0
 Sum squared residual: 1011.78 Log likelihood : -1512.22
 Sigma-square : 0.929949 Akaike info criterion : 3042.44
 S.E. of regression : 0.964339 Schwarz criterion : 3087.45
 Sigma-square ML : 0.92232
 S.E of regression ML: 0.960375

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	5.529319	0.06247146	88.50952	0.0000000
P	0.003762938	0.001035859	3.632673	0.0002936
P2	-3.105359e-007	3.342863e-006	-0.09289	0.92602
Z2	-1.164514	0.08684937	-13.40843	0.0000000
PZ2	-0.001605338	0.001438089	-1.116299	0.2645350
P2Z2	2.242458e-006	4.644719e-006	0.48279	0.6293169
Z3	-0.2304628	0.08092416	-2.847886	0.0044839
PZ3	0.001020874	0.00132915	0.7680654	0.4426111
P2Z3	-6.151201e-006	4.270333e-006	-1.44045	0.1500307

REGRESSION DIAGNOSTICS
 MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER 22.096657
 TEST ON NORMALITY OF ERRORS
 TEST DF VALUE PROB
 Jarque-Bera 2 8198.631 0.0000000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
 RANDOM COEFFICIENTS
 TEST DF VALUE PROB

Breusch-Pagan test	8	321.804	0.0000000
Koenker-Bassett test	8	43.59241	0.0000007
SPECIFICATION ROBUST TEST			
TEST	DF	VALUE	PROB
White	44	N/A	N/A

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : ensayo9zonas.gal
(row-standardized weights)

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.462140	N/A	N/A
Lagrange Multiplier (lag)	1	941.6300279	0.0000000
Robust LM (lag)	1	165.8112703	0.0000000
Lagrange Multiplier (error)	1	797.2450452	0.0000000
Robust LM (error)	1	21.4262875	0.0000037
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	963.0563155	0.0000000

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

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

Data set : ensayo9zonas
Spatial Weight : ensayo9zonas.gal
Dependent Variable : RTO Number of Observations: 1097
Mean dependent var : 5.867051 Number of Variables : 9
S.D. dependent var : 1.472309 Degrees of Freedom : 1088
Lag coeff. (Lambda) : 0.896321

R-squared	: 0.821328	R-squared (BUSE)	: -
Sq. Correlation	: -	Log likelihood	: -1147.416232
Sigma-square	: 0.387307	Akaike info criterion	: 2312.83
S.E of regression	: 0.62234	Schwarz criterion	: 2357.84

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value	Probability
CONSTANT	5.48629	0.1862452	29.45735	0.0000000
P	-0.0007310105	0.0007659	-0.9617599	0.3361702
P2	7.13903e-006	2.370519e-006	3.011589	0.0025990
Z2	-0.09489501	0.1124356	-0.843994	0.3986726
PZ2	-0.001540575	0.001039806	-1.481599	0.1384472
P2Z2	4.002879e-006	3.253351e-006	1.230386	0.2185525
Z3	-0.06519143	0.08142709	-0.8006112	0.4233566
PZ3	0.0002710868	0.0009369002	0.2893444	0.7723180
P2Z3	-2.572638e-006	2.933931e-006	-0.8768573	0.3805641
LAMBDA	0.8963211	0.01422828	62.99573	0.0000000

REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	8	814.7537	
0.0000000			

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : ensayo9zonas.gal
TEST DF VALUE PROB
Likelihood Ratio Test 1 729.6115
0.0000000
===== END OF REPORT =====

- Rendimientos medios por zonas de manejo

Ensayo Densidades

Zonas	Densidad	Rto (kg/ha)
Baja Produccion	55238	5547
	64761	5506
	74285	5329
	85714	4939
Produccion Promedio	55238	7007
	64761	6911
	74285	6840
	85714	6787
Alta Produccion	55238	9429
	64761	9353
	74285	9297
	85714	9258

Ensayo Fertilización

Zonas	MAP	Rto (kg/ha)
Baja Produccion	0	2747
	80	2755
	160	2763
	230	2770
	300	2777
Produccion Promedio	0	7452
	80	7450
	160	7448
	230	7446
	300	7444
Alta Produccion	0	7862
	80	7860
	160	7859
	230	7857
	300	7856