

“ Evaluación económica -  
financiera sobre la implementación  
de técnicas de agricultura de  
precisión”

Licenciado en Administración Agraria  
Federico A. Proietti

2003

## 1. Introducción

Tradicionalmente se identificó a Argentina, en el ámbito mundial, como un país de neto perfil agropecuario, con una multiplicidad de climas y con los recursos naturales necesarios para la producción de casi todos los productos alimenticios. Estas características lo proyectó en el marco mundial con un claro liderazgo como un abastecedor confiable de los mismos.

El crecimiento de sus principales competidores mundiales, basado generalmente en fuertes estructuras proteccionistas y la aplicación de una serie de políticas internas que restaron incentivos a su crecimiento, fueron relegando la participación argentina en la producción y en el comercio de productos primarios y agroindustriales (S.A.G.y.P, 2001).

Esta tendencia se revirtió en alguna medida en la última década (1990-2000) donde se registraron profundos cambios estructurales, que se tradujeron en un marcado incremento en la producción agropecuaria. En tal sentido se destaca que el sector productor de materias primas o manufacturas de origen agropecuario aporta aproximadamente la mitad de las divisas del país (S.A.G.y.P, 2001).

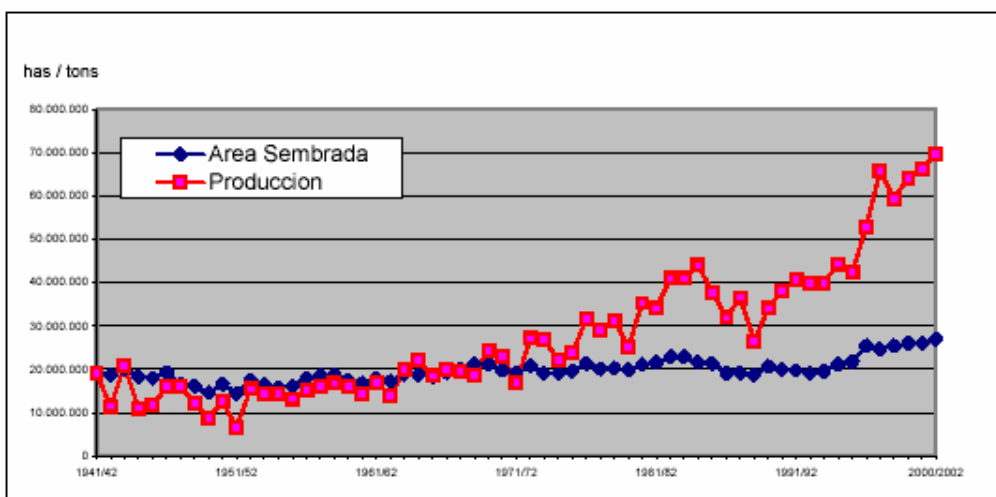
La producción de granos en Argentina excede significativamente el nivel de consumo interno, por lo cual se la puede definir como producción orientada a satisfacer los requerimientos del mercado exterior (S.A.G.y.P, 2001).

En ese contexto y por largos años se sostuvo el concepto de un país con marcado perfil agro-exportador, en particular de materias primas en su forma

natural, con una pequeña participación de la industria agropecuaria. Esta industria atendía una demanda restringida del mercado interno argentino, que creció lentamente al ritmo de la población, y que exportó los márgenes (reducidos) no consumidos internamente.

El gráfico 1 muestra que luego de mantenerse por más de treinta años (1940-1970) producciones totales de granos que difícilmente superaron los 40 millones de toneladas, entre los 80's y los fines del siglo XX se asiste a un fuerte incremento en la productividad y el área sembrada, lo que permitió alcanzar niveles de aproximadamente 70 millones de toneladas en la campaña 2001-2002. Debe destacarse, que área sembrada creció marginalmente en relación a la productividad.

Gráfico 1: Evolución del área sembrada (has) y producción de granos (ton) total en Argentina.



Fuente: Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación

En las últimas décadas y particularmente en la de los 90', se observó un cambio en la estructura de producción de granos, que muestra una disminución

de la participación relativa de los cereales y un fuerte incremento de las oleaginosas. Ese cambio, basado en el dinamismo que presentó la demanda mundial, y en coincidencia con excelentes condiciones de mercado permitieron, expandir la industria procesadora de tales productos.

En el contexto de la producción nacional el sector agropecuario de la provincia de Córdoba tiene una singular importancia económica para el país, ubicándose en segundo lugar detrás de Buenos Aires. Las características ambientales del territorio provincial posibilitan una gran variedad de actividades agropecuarias (cereales, oleaginosas, hortícolas, frutales, industriales).

En la campaña 1999-2000 en la provincia de Córdoba se dedicaron a la agricultura una superficie estimada de 5.540.050 has, lo que representa poco más del 30 % del área útil total. El área destinada a esta actividad muestra una tendencia creciente que se verifica en un aumento del orden del 14 % en las últimas campañas (Cuadro 1) impulsado por la mayor cantidad de hectáreas destinadas principalmente a soja (S.A.G.y.P, 2001).

Cuadro 1: Superficie destinada a cultivos extensivos en miles de hectáreas de la provincia de Córdoba (Campañas 1996/97 - 2000/2001).

Cultivos	Superficie Sembrada (hectáreas)				
	Años				
	96/97	97/98	98/99	99/2000	00/2001
Trigo	618,75	395,15	561,15	731,35	854,70
Maíz	927,10	895,10	775,10	852,60	906,70
Sorgo	285,10	366,300	333,100	331,10	242,95
Soja	1.596,70	1.833,65	1.946,95	2.215,90	2.966
Girasol	397,12	466,60	516,70	502,80	319,40
Maní	311,65	402,90	342,60	217,30	250,30
<b>Total</b>	<b>4.136,42</b>	<b>4.359,70</b>	<b>4.475,60</b>	<b>4.851,05</b>	<b>5.540.05</b>

Fuente: Secretaría de Agricultura y Ganadería - Córdoba.

Los seis principales cultivos, según la superficie ocupada, son: soja, maíz, trigo, girasol, maní y sorgo. El resto corresponde a otros cereales y oleaginosas; cultivos industriales y hortalizas y frutas.

El sector agropecuario conforma una de las principales fuentes de divisas para la economía provincial. Durante el año 1998 se exportó por valor de 1.932 millones de dólares lo que representa el 62 % de las exportaciones de la provincia, las que alcanzaron un valor de 3.133 millones de dólares (S.A.G.y.P, 2001).

Lo descrito en los párrafos anteriores pone de manifiesto la fuerte influencia que tiene el sector agropecuario en aspectos, tanto económicos como sociales, para el desarrollo del país; por lo que es indispensable tornarlo en una ventaja comparativa, que puede ser determinante para el crecimiento.

Tradicionalmente, el crecimiento de la agricultura dependió de la incorporación creciente de tierra, capital y trabajo. El cambio tecnológico, como fuente dinámica de incremento de la producción, es un fenómeno que adquiere importancia en la segunda mitad del siglo XX (Reca y Parellada, 2001).

Los mismos autores señalan que en el período 1990-1997, la tasa de cambio tecnológico alcanzó el 1,2% anual, explicando el 40% del crecimiento de la producción, en tanto que el empleo de fertilizantes, con un crecimiento del 27% anual, sólo explica el 14% del crecimiento y el capital alrededor del 12% del crecimiento. Por su parte, el área cultivada, que se incrementó a una tasa anual del 3,2%, explicaría el 16% del incremento anual de la producción en dicho período.

En el pasado, la ventaja comparativa fue una función de la posesión de recursos naturales y proporción de los factores (razones capital- tierra- trabajo). En este siglo la ventaja comparativa será creación humana (Thurrow, L 1992).

Cómo la tecnología es la base de la ventaja comparativa creada por el hombre, la investigación y el desarrollo se convierten en factores decisivos. En siglo XXI, la ventaja comparativa provendrá mucho más de las tecnologías de los nuevos procesos que de la tecnología de los nuevos productos (Thurrow, L 1992).

En la economía, la información es un insumo en el proceso de producción. El valor de la información puede ser más difícil de cuantificar que el valor de los insumos tradicionales, pero es rol de la economía analizarlos de la misma manera que el resto de los insumos. La recolección y análisis de la información cuestan dinero (Davis y Olson, 1985).

La información sólo tiene valor si cambia las decisiones administrativas (Davis et al, 1985). La información puede servir de diagnóstico, para ayudar a identificar problemas inesperados, o puede ser usado para determinar la correcta mezcla de insumos o en la toma de decisiones empresariales.

La agricultura de precisión no se restringe al uso de alta tecnología, como también a la adquisición y uso inteligente de la información obtenida por dicha tecnología (Vanden Heuvel, 1996).

Se define como agricultura de precisión al control electrónico aplicado a la recolección de datos, procesamiento de información y apoyo al proceso de

toma de decisiones, para la ubicación temporal y espacial diferenciada de insumos en los cultivos, (Lowenberg - DeBoer y Swinton, 1995).

El concepto de agricultura de precisión es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto, (Heermann D F, Hoeting J. et al, 2002).

Pocos estudios intentan determinar los factores que contribuyen a la variabilidad de la producción. Sudduth et al (1996) estudiaron la relación entre la producción, las propiedades del suelo y las propiedades de las zonas de rendimiento homogéneo. Ellos concluyeron, que para entender la variación de la producción, la determinación de zonas de rendimiento homogéneo es dificultoso, dada la cantidad de factores interrelacionados que afectan al rendimiento.

Bullock (1999) notó que los aspectos tecnológicos de la agricultura de precisión son conocidos, pero aún falta conocer como usar esta tecnología para incrementar las ganancias.

En este sentido Lowenberg- DeBoer y Swinton, (1995) afirman que las características económicas de esta nueva tecnología, jugarán un papel fundamental, determinando la prevalencia de esta herramienta en el tiempo o solo a una tecnología sin futuro.

La esencia de la agricultura de precisión es obtener datos del proceso de producción y convertir estos datos en información que puede ser usada para manejar y controlar dicho proceso. El concepto de información es útil para entender el impacto potencial y la oportunidad de la agricultura de precisión en dos dimensiones (Lowenberg-DeBoer y Boehlje, 1996):

- 1) Qué contiene esta información; costos y beneficios de las herramientas y técnicas de la agricultura de precisión.
- 2) Dónde y como los agricultores obtienen información sobre las herramientas y las técnicas de manejo sitio específico.

### **1.1. Situación de la agricultura de precisión en Argentina**

La aplicación variable de insumos de acuerdo a las características propias de los lotes, es una propuesta tan vieja como la propia agricultura (Lowenberg - DeBoer y Swinton, 1995); sólo que en la última década, el desarrollo tecnológico del posicionamiento satelital, GPS, sumado al gran avance en softwares específicos, a los sistemas de información geográfica (GIS) y al desarrollo de sensores en tiempo real, permitieron el manejo de información georreferenciada. Esto permitió el inicio de lo que actualmente se denomina agricultura de precisión (Cuadro 2).

La agricultura de precisión en Argentina tiene un desarrollo incipiente pero apoyado sobre bases firmes, dado que a sólo 3 años de sus primeros pasos ya existen 2 antenas Beacon DGPS, 300 monitores de rendimiento, 150 con DGPS, más de 100 banderilleros satelitales, unos 10 equipos de siembra y

fertilización variable, un proyecto del INTA con sede en Manfredi y unas 3 o 4 empresas privadas de servicio con asesoramiento integral del tema y muy buen nivel técnico (Bragachini, von Martín, Méndez, 2001)

Cuadro 2: análisis comparativo

<b>Agricultura Tradicional</b>	<b>Agricultura de Precisión</b>
<b>Aplicación de fertilizantes</b>	
<p>La cantidad de fertilizante a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno. Finalmente se hace una aplicación uniforme de lo que se cree es una buena estimación de la cantidad adecuada (se trata de una media).</p>	<p>Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos:</p> <p>Empleo de GPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño arbitrario, posibilitando el acceso preciso a un punto de cada celda, recolección de muestras y aplicación de los fertilizantes adecuada para cada celda.</p> <p>Empleo de fotografías aéreas. Éstas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de fertilizante a aplicar en cada punto exacto del terreno. El GPS se encargará posteriormente de proporcionar cada coordenada a la fertilizadora, así como la cantidad a aplicar.</p>
<b>Mapas de rendimiento</b>	
<p>Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo.</p>	<p>Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de rendimiento, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.</p>

### 1.1.1. Componentes de la agricultura de precisión

#### 1.1.1.1. *Sistema de posicionamiento global*

El sistema de posicionamiento global o GPS, según su sigla en inglés, utiliza 24 satélites que transmiten información sobre la posición en términos de coordenadas terrestres, de un objeto con un sistema de recepción.

La utilidad de este sistema en la agricultura de precisión es la de posicionar exactamente una máquina en tiempo real; lo cual permite ubicar cualquier punto del lote, o cambiar dosis de aplicación de insumos en posiciones marcadas en mapas de aplicación digitalizados.

Las principales estaciones terrestres de corrección diferencial instaladas en Argentina se encuentran en San Carlos Sur (Sta. Fé) y en Bolívar (Bs.As.).

#### 1.1.1.2. *Monitor de rendimiento*

El monitoreo de rendimiento consiste en la medición de la porción cosechada de un cultivo en el espacio y el tiempo y la presentación de esas medidas en forma de mapa. Con estos mapas es posible identificar las áreas de un lote donde los rendimientos pueden ser mejorados o donde es necesario ajustar los insumos para optimizar la rentabilidad y minimizar la contaminación.

El monitoreo de rendimiento se fundamenta en el sensor instantáneo o en tiempo real del rendimiento. Este mecanismo mide y registra los rendimientos durante la cosecha a intervalos predeterminados; para ello determina: flujo de grano por unidad de tiempo, humedad del grano por unidad

de tiempo, velocidad de avance de la cosechadora y ancho de corte del cabezal. Los componentes necesarios de un monitor son sensor de flujo de grano, sensor de humedad del grano, sensor de velocidad de avance, conmutador de posición del cabezal, consola del monitor y receptor de DGPS

Estos componentes de agricultura de precisión tienen un costo directo, asociado a su compra y utilización en dólares estadounidenses. El primero es de \$18300 y comprende la inversión inicial, la cual se puede ver desglosado en el cuadro 3; el segundo hace referencia a las erogaciones de dinero provocado por estos durante el transcurso del año monto que asciende \$840 en concepto de señal correctora. También, hay un ingreso obtenido a su implementación.

Cuadro 3: Componentes necesarios para un sistema de siembra con aplicación de dosis variables de insumos para agricultura de precisión y sus costos en dólares estadounidenses.

	<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Consolas PF 3000</b>		2	\$3.000,00	\$6.000,00
<b>Accu-Rate</b>	Consola y dos motores	1	\$6.900,00	\$6.900,00
<b>GPS</b>		1	\$3.400,00	\$3.400,00
<b>Circuito Hidráulico</b>	Bombas, tanque, válvulas, mangueras	1	\$2.000,00	\$2.000,00
<b>Total</b>		6		18.300,00

## **1.2. Definición del problema**

La incorporación de la tecnología denominada agricultura de precisión, que permite la aplicación de dosis variables de insumos y modifica sustancialmente la estructura de costos de la empresa agropecuaria, no ofrece evidencias consistentes de ser, en todos los casos, conveniente financieramente para la misma.

## **1.3. Causas del problema**

Las principales causas de este problema son: la necesidad de incorporar maquinaria con tecnologías complejas, la poca experiencia en su manejo, el alto costo de las imágenes satelitales, la desactualización de las fotos aéreas panorámicas disponibles (Bongiovanni, 2001), la falta de criterios objetivos para la subdivisión del lote en zonas de diferentes potencial de rendimiento y las diferencias en las estructuras de costos de los países desarrollados desde los cuales provienen la mayor parte de dicha tecnología

## 2. Marco conceptual

### 2.1. Concepto de continuidad y variabilidad espacial

La geoestadística se sustenta conceptualmente en la expectativa de que datos obtenidos en sitios cercanos en el espacio presentan una mayor similitud en sus atributos, comparados con aquellos que están más alejados. Esta tendencia a la mayor similitud entre vecinos cercanos es cuantificada mediante medidas de autocorrelación y continuidad espaciales. Aunque, en geoestadística el complemento de la continuidad, la variabilidad, es normalmente el objeto del análisis (Eastman, 1999)

Una de las primeras tareas al representar superficies geográficas mediante técnicas geoestadísticas consiste en la descripción exhaustiva de la naturaleza de la variabilidad espacial presente en los datos muestreados. Esta variabilidad es evaluada en términos de distancia y dirección y el análisis se realiza sobre pares de puntos muestreados. Cada uno de los puntos es apareado con todos los otros y cada par puede ser identificado y caracterizado por la distancia (distancia lineal o euclidiana) y la dirección (el azimut en grados de la dirección desde un punto al otro) de esta separación (Eastman, 1999).

Una técnica de representación visual para explorar la variabilidad espacial presente en pares de observaciones es la construcción de un gráfico de dispersión **h**. Sucintamente, en el eje **X** se presenta el valor del atributo de un punto del par (el punto “desde”) y sobre el eje **Y** se presenta el valor del mismo atributo del otro punto del par (el punto “hacia”).

El semivariograma, otra herramienta para explorar y describir la variabilidad espacial, resume la información presente en los gráficos de dispersión  $h$ . Ésta medida de dispersión puede ser mostrada como un gráfico de superficie o de dirección. El gráfico de superficie muestra la variabilidad promedio a diferentes distancias en todas las direcciones.

La otra representación gráfica del semivariograma, el gráfico direccional, es empleado para desarrollar las estructuras que describen los patrones de variabilidad de los datos. En este tipo de gráfico, un solo punto, que resume la información sobre la variabilidad, es representado para cada distancia. En el eje de  $X$  se representan las distancias de separación ( $h$ ) y en el de  $Y$  la variabilidad promedio para los pares de observaciones localizadas dentro de la distancia de separación. El gráfico puede restringirse solo a los pares de datos dentro de un rango particular de direcciones, o pueden representarse todos los pares sin considerar la dirección (gráfico onmidireccional) (Eastman, 1999).

El semivariograma emplea la semivarianza para determinar la tasa de cambio de la variable georreferenciada a lo largo de la dirección especificada. Esto se logra mediante el cálculo un tipo de varianza (suma de cuadrados / grados de libertad):

$$\gamma_{(h)} = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+h})^2 \times 2n^{-1} \quad (1)$$

Donde:

$n$  es el número de puntos

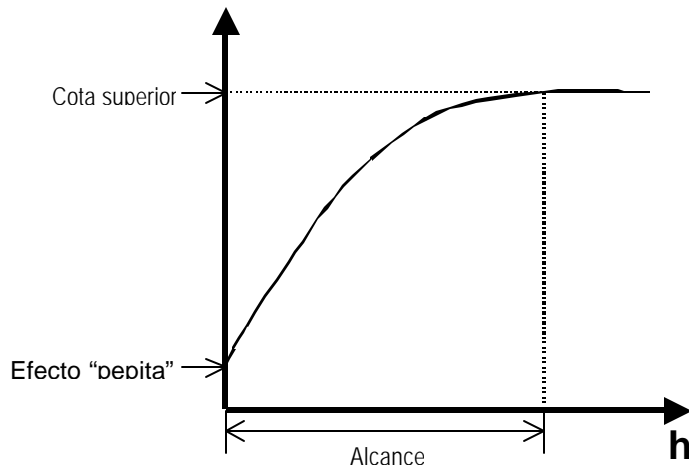
$h$  es la distancia entre pares; por ejemplo, si  $h = 10$  se emplean todos los puntos separados hasta 10 unidades.

$x_i$  representa a las distintas muestras.

Se espera que el semivariograma adopte una forma que muestre un incremento de la semivarianza ( $\gamma$ ) a medida que la distancia ( $h$ ) aumenta. Eventualmente, se alcanza una distancia a la que la semivarianza se estabiliza en un plató o cota superior.

El gráfico 2 muestra el esquema de un semivariograma típico, donde el alcance es la distancia dentro de la cuál las muestras están correlacionadas espacialmente. La cota superior es el valor de semivarianza que corresponde al alcance. Desde este punto en adelante, se considera que no existe dependencia espacial entre las muestras, ya que la diferencia entre pares de muestras se torna invariante ante el aumento de la distancia (Horgan y Sharp, 1998). El efecto “pepita” representa el error que se atribuye fundamentalmente al muestreo, errores del ensayo y distancias entre muestras (Tandogdu Y. 2003).

Gráfico 2: Esquema de representación de un semivariograma ideal.

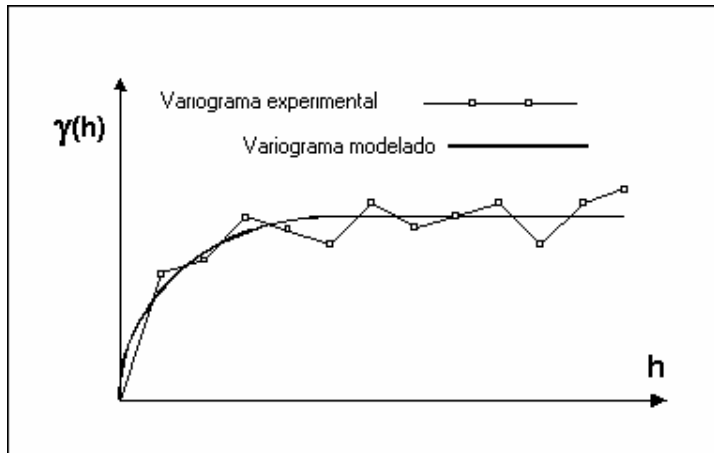


## **2.2. Ajuste del modelo teórico del semivariograma**

El gráfico del semivariograma experimental,  $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$ , calculado a través de la ecuación (1), está formado por una serie de valores sobre los que se hace necesario ajustar una función. Es fundamental que el modelo teórico ajustado represente fielmente la tendencia de  $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$  en función de la distancia  $\mathbf{h}$ , para que las estimaciones a realizar fundadas sobre éste sean lo más exactas, y por lo tanto confiables, posible (INPE, 2002).

El modelo de semivariograma tiene la ventaja de poder representar la variabilidad espacial a distancias de separación cercanas, incluyendo aquellas próximas al cero. Por lo tanto, la ecuación que utiliza el modelo tiene una forma continua suavizada. Un modelo que este bien ajustado al variograma, sobre todo a distancias de separación cercanas, es crítico para la calidad de las estimaciones (gráfico 3) (Eastman, 1999).

Gráfico 3: Esquema de un modelo experimental y un modelo teórico ajustado de un semivariograma.



Según lo descrito previamente, los variogramas calculados a partir de la muestra pueden revelar un modelo de variabilidad / continuidad espacial pero no pueden definirlo claramente. Las observaciones poseen una representatividad desigual a través de una superficie, como así también la información espacial derivada. Se puede confiar más en la interpretación de variogramas múltiples que de un solo variograma y se debe utilizar la experiencia y conocimiento para seleccionar el modelo óptimo a ajustar (Department of Defense, 2003).

### **2.3. Estimación e interpolación: Kriging**

La predicción y estimación espacial emplea, en general, métodos que incorporan modelos de dependencia espacial. Un método simple y muy difundido es el kriging ordinario. Esta técnica emplea como modelo de continuidad, o dependencia, espacial la covarianza o el semivariograma.

La palabra kriging deriva nombre de Daniel G. Krige, pionero en el empleo de media móviles para evitar la sobrestimación sistemática de reservas mineras. Inicialmente fue empleado para solucionar problemas de mapeos geológicos y luego se expandió a los mapeos de suelos, hidrológicos y atmosféricos.

La diferencia clave entre el kriging y otros métodos de predicción y estimación es la manera en que se realiza la ponderación de los valores de las muestras. Por ejemplo, en el caso de la estimación o de la interpolación lineal simple los pesos son iguales a  $1/N$ , representando  $N$  el número de muestras; en la estimación o interpolación basadas en la inversa del cuadrado de las distancias, las ponderaciones son definidas como la inversa del cuadrado de la distancia que separa el valor estimado o predicho de las observaciones.

El kriging es semejante a la interpolación por media móvil ponderada, con la excepción de que las ponderaciones son estimadas en base a un análisis espacial basado en el semivariograma experimental. Además, los estimadores y las predicciones obtenidos empleando esta metodología son los mejores estimadores lineales insesgados o las mejores predicciones lineales insesgadas, respectivamente, con varianza mínima; BLUE o BLUP, según sus siglas en inglés (Best Linear Unbiased Estimator, Best Linear Unbiased Prediction) (Eastman, 1999, )

Se deduce inmediatamente que la estimación o la predicción espacial se realiza en dos etapas. En la primera se modela la covarianza o el semivariograma, lo que requiere la elección de un modelo matemático y de la

estimación de los parámetros asociados. En la segunda, se resuelve el sistema de ecuaciones del kriging sobre un grupo específico de puntos localizados espacialmente, que origina las estimaciones y predicciones y sus respectivos errores estándar.

El kriging ordinario calcula una suma ponderada de las observaciones conocidas, para estimar un valor desconocido mediante la ecuación:

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (2)$$

Donde

$\hat{Z}_0$  es el valor a estimar,

$Z_i$  representa las n observaciones seleccionadas dentro de un entorno definido por el rango del semivariograma del conjunto de muestras y

$W_i$  son los pesos asignados a cada una de las observaciones (Department of Defense, 2003).

Las covarianzas se calculan a partir de las observaciones ubicadas dentro del entorno definido mediante el modelo del semivariograma. El kriging calcula un peso para cada observación basado en la distancia estadística, no en la Euclídeana, entre todas y para cada una de las observaciones dentro del entorno, como también para la posición a estimar. Por lo tanto, emplea una combinación lineal ponderada de las observaciones dentro del entorno para estimar el nuevo valor.

El kriging ordinario combina un conjunto de matrices en un sistema de ecuaciones lineales,  $n+1$ , que deben ser resueltas para eliminar el sesgo en el entorno de los vecinos más cercanos constituido por las  $n$  observaciones. Esto se cumple al incorporar la restricción de que la suma de los pesos derivados de cada observación en el entorno es igual a uno (Eastman, 1999):

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (3)$$

Según Isaaks y Srivastava (1989), para cada posición estimada los pesos son derivados de cada observación del entorno mediante la ecuación siguiente:

$$W = C^{-1} \times D \quad (4)$$

Donde  $C$  es la matriz de covarianzas entre observaciones y  $D$  la matriz de covarianzas entre las observaciones y la posición a estimar.

## **2.4. Función de producción**

De acuerdo con Dillon (1977) una formulación general de la función para la agricultura es

$$Y = f(X_1 + X_2 + K + X_N + X_{N+1} + K + X_K + X_{K+1} + K + X_M) \quad (5)$$

Donde

Y = rendimiento

$X_1, X_2, \dots, X_n$  = variable de decisiones de insumos

$X_{n+1}, \dots, X_k$  = variables predeterminadas de insumos

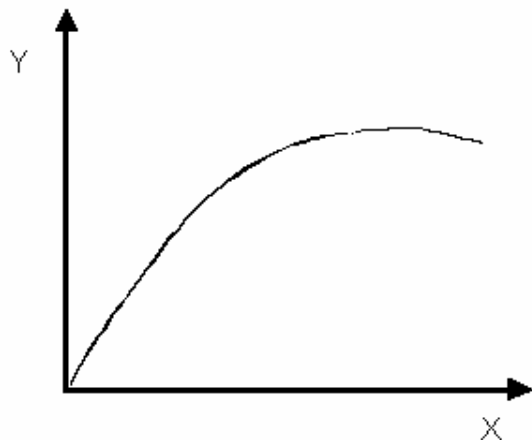
$X_{k+1}, \dots, X_m$  = variables de incertidumbre.

Desde el punto de vista teórico, las variables de decisión se refieren a insumos variables, a parte de las variables como insumos fijos y al resto de las variables como variables de incertidumbre del entorno, que influyen la producción. Mientras que las influencias ambientales no son insumos tradicionales, esta especificación hace las influencia del entorno explicitas. Muchas de las variables de decisión no están incluidas en este modelo; la asunción implícita de este modelo es que muchas de las decisiones de insumos son predeterminadamente ilimitadas para los rangos de decisión de las variables del modelo (Musser and Tew, 1984).

En este trabajo se busca determinar las respuestas al cultivo en función del nitrógeno suministrado, para tal cometido se toman el resto de las variables como fijas.

En la gráfico 4 se representa una función de producción de una empresa en el corto plazo, la que se muestra como cóncava y creciente a una tasa decreciente en la variable dependiente. Esto es debido a la ley de rendimientos decrecientes, la que postula que manteniendo constante la tecnología y todos los insumos, excepto unos de ellos a medida que el insumo variable se incrementa en montos iguales, más allá de cierto punto la tasa de incremento del nivel de producción resultante disminuirá. Dicho de otra manera, después de cierto punto, el producto físico marginal del insumo variable comienza a disminuir. (Luna, M 1997)

Gráfico 4: función de producción de una empresa en el corto plazo



En este gráfico se puede presumir que el que la función debe ser cuadrática para poder representar más fielmente el comportamiento de la curva y el termino cuadrático debe negativo.

### 3. Objetivos

Evaluar la conveniencia económico- financiera de la adopción de agricultura de precisión en un cultivo de maíz durante la campaña 2000/01 y determinar la dosis de fertilizante nitrogenado que maximice su valor actual, basándose en los datos proporcionados por la tecnología de manejo sitio específico

#### 3.1. Objetivos específicos

- Determinar en el lote bajo estudio zonas de rendimiento homogéneo
- Determinar las respuestas del cultivo a la aplicación de dosis variables y fija
- Determinar los costos e ingresos diferenciales de la aplicación de dosis variables de nitrógeno respecto a la aplicación de dosis fija.

#### 4. Materiales disponibles para el estudio

La información relevada, al igual que las imágenes fueron proporcionadas por los ingenieros agrónomos José María Borleto, Axel Von Martini, Mario Bragachini y Andrés Méndez, y son gentileza del Establecimiento “El Paraíso” y del INTA Manfredi.

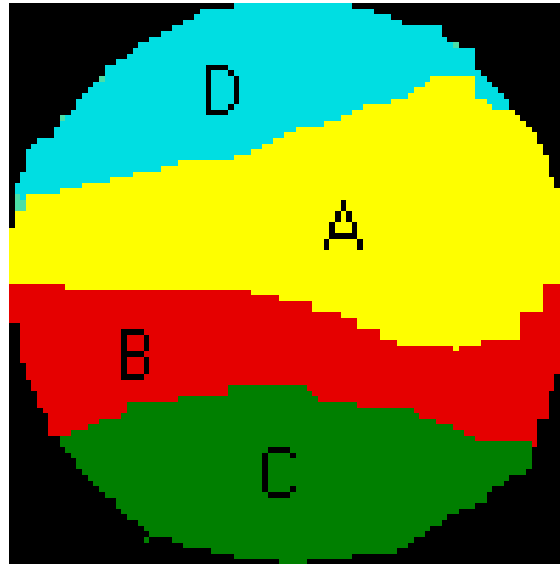
El lote bajo estudio es un círculo, de una superficie de 50 hectáreas y se encuentra en su totalidad bajo riego con un sistema de pivote central.

Al comenzar el trabajo se dispuso del mapa de rendimiento de maíz campaña 2000-01 con sus respectivos costos de implantación, cosecha e insumos necesarios para la implementación de agricultura de precisión.

Otros materiales, como los datos de los ensayos de fertilización y sus características y las dosis de fertilizante aplicadas, se extrajeron de publicaciones del INTA sobre el lote bajo estudio e información personal brindada por los técnicos del INTA.

La dosificación de nitrógeno en estos ensayo fue planteada basándose en zonas de rendimiento homogéneas (A,B,C,D), previamente establecidas por el análisis de los cultivos anteriores sobre el mismo lote; las zonas pueden observarse en el mapa 1 (Proietti y Bocco, 2001)

Mapa 1: zonas de rendimientos homogéneos determinadas en base a los rendimientos de los cultivos anteriores.



A: rendimientos mayores a 120 qq/ha de maíz.

B: entre 120 qq/ha y 105 qq/ ha maíz.

C: entre 90 qq/ha y 105 qq/ha maíz.

D: menos de 90 qq/ha maíz.

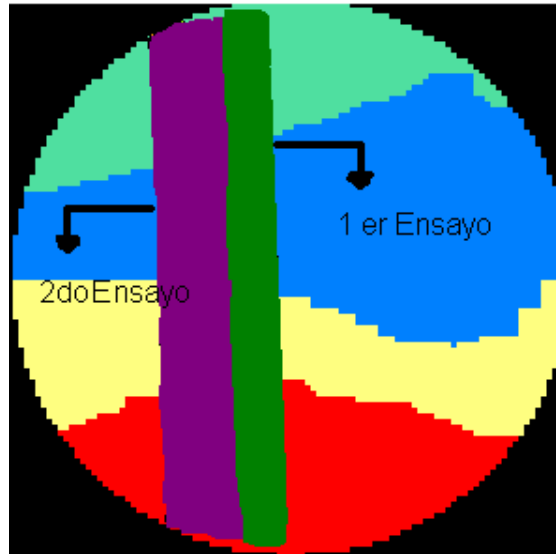
Se realizaron tres ensayos de fertilización con dosis variables de nitrógeno, de los cuales sólo dos fueron considerados para este trabajo (Mapa 2). Estos consistieron en cuatro tratamientos aplicados en franjas con dosis variables de fertilizantes nitrogenados y una dosis fija como testigo por ensayo. El ancho de las franjas coincide con el trayecto ida y vuelta de una cosechadora con un ancho de corte equivalente a nueve surcos distanciados 52 cm entre sí.

En el primer ensayo los tratamientos consistieron en tres franjas donde se aplicaron 56.32 Kg de Nitrógeno como testigo y tres franjas de 70,18; 60,94; 51,70; 43,21 Kg de Nitrógeno respectivamente, como dosis variables. Las dosis variaron según las cuatro zonas de rendimientos homogéneos previamente

establecidas, correspondiendo la dosis más alta a la zona que se suponía sostenía el mayor rendimiento potencial. Las dosis menores corresponden zonas con supuestos rendimientos potenciales decrecientes.

En el segundo ensayo se emplearon seis franjas con dosis fija de 52,18 Kg de Nitrógeno (testigo) y seis franjas con dosis variable de 65; 56,30; 48,52; 40,28 Kg de N. En ambos ensayos cada franja atravesó completamente el lote en sentido norte-sur con una longitud promedio de 800 m. En ninguno de los dos ensayos se repitió cada dosis en cada una de las zonas de rendimiento homogéneo, por lo que sólo el testigo contaba con repeticiones en cada una de estas zonas

Mapa 2: Disposición de los ensayos



#### **4.1. Caracterización de la zona de estudio**

##### **4.1.1. Clima**

El clima es templado, sin una gran amplitud térmica, con una temperatura media anual de 17.6 C° con una media máxima en el mes de enero de 23.6 C°, y la media mínima de 9.4 C° en el mes de julio. El promedio anual de precipitaciones alcanza los 786 mm, concentrándose en el período primavera-estival cerca del 40% de las mismas. Entre los meses de septiembre y febrero la precipitación promedio es de 573 mm. El déficit anual es de 138 mm (Borleto, 2001)

##### **4.1.2. Topografía**

El establecimiento se encuentra en una zona constituida por los faldeos de las sierras chicas y parte de éste se presenta como una llanura más o menos uniforme (Borleto, 2001).

##### **4.1.3. Suelo**

El complejo de suelos esta compuesto por la serie de Matorrales 40%, Costa Sacate 30%, y Villa del Rosario 30%. El símbolo es Mt6 y la capacidad de uso es IIIc. Presenta un relieve de pendientes largas y suaves hacia el Río Segundo y áreas ligeramente deprimidas que bordean antiguos cursos de dicho río. Los suelos son bien drenados y, si bien no se observa erosión hídrica, los sectores con pendientes pueden resultar susceptibles, por lo cual se aconseja la adopción de prácticas de manejo que contemplen este factor (Borleto, 2001).

## 5. Metodología

### 5.1. Procedimiento para determinar las respuestas del cultivo a la aplicación de dosis variables y fija

Es bien conocido que el análisis estadístico de parcelas experimentales y de ensayos a campo basado en modelos lineales asume que las observaciones son independientes. En el caso de los datos de agricultura de precisión, el supuesto de independencia no es válido, ya que las observaciones recogidas con monitor de rendimiento están claramente relacionadas con las observaciones vecinas. (Bongiovanni, 2001).

En este sentido, el trabajo de Lambert et al (2002) sintetiza cuatro metodologías presentadas en la literatura para modelar la correlación espacial de forma explícita en los modelos de regresión: (1) econometría espacial; (2) una regresión polinomial con tendencia; (3) el análisis de vecinos cercanos; y (4) el modelo de campo aleatorio en que se basan las técnicas geoestadísticas.

Para determinar la respuesta del cultivo a los tratamientos, dada la ausencia de repeticiones por dosis, se consideró a cada una de las zonas de rendimientos homogéneos como bloques en los que sólo se repetía el testigo (dosis fija). Así, se calculó el efecto de bloque mediante la estimación del rendimiento promedio de cada una de las zonas de rendimiento homogéneo para cada uno de los dos ensayos, el que se descontó de los rendimientos observados en cada parcela. El rendimiento observado en cada parcela al que se le descontó el efecto bloque se llamará, a los fines expositivos, rendimiento ajustado.

A fin de contar con una estimación del rendimiento promedio a nivel de cada parcela, ya que se dispone de una serie de observaciones sobre una grilla regular de muestreo registradas con un monitor de rendimientos, se realizó la estimación utilizando el kriging ordinario (Matheron, 1967), procedimiento incluido en el sistema de información geográfica IDRISI32 (Eastman, J.R. 1999). Esta metodología de estimación y predicción se basa en una combinación lineal de los datos observados en la grilla que quedan ubicados dentro de un radio dado por el rango de la función de semivariograma (Matheron, 1967). Esta función es estimada en base al semivariograma experimental, calculado mediante,

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+h})^2$$

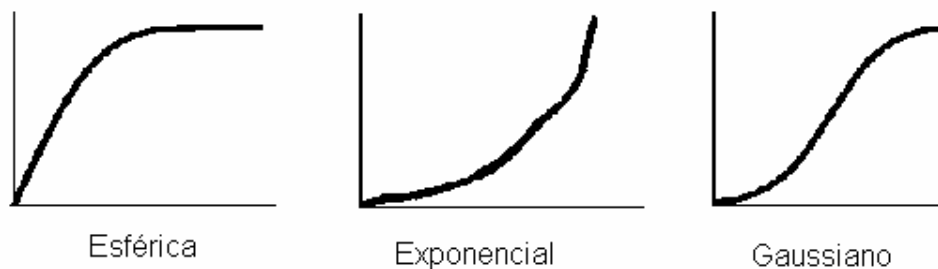
Donde:

n: es el número de puntos

h: es la distancia entre pares; por ejemplo, si h = 10 se emplean todos los puntos separados hasta 10 unidades.

$x_i$ : representa a las distintas muestras.

Una vez obtenido el semivariograma experimental, se debe ajustar un modelo teórico de semivariograma seleccionado. Entre los recomendados por la literatura. Estos son:



Una vez que se dispone del modelo teórico de variograma, que mejor explica el variograma experimental, este se utiliza para construir el kriging. Tanto el variograma experimental, como el ajuste del modelo teórico y el estimador lineal se construyeron con el software IDRISIS32,

Con los datos de cada parcela se calculó su media ponderada dentro de cada zona homogénea (factor de bloque), lo que estima el efecto de la zona homogénea correspondiente (efecto bloque). El efecto de bloque se descontó de cada uno de los tratamientos, para modelar luego una función de producción. Esta postula que el rendimiento ajustado por bloques es función del nitrógeno aplicado.

Para modelar la relación entre el nitrógeno y el rendimiento ajustado se utilizó la siguiente función de producción,

$$\text{Rendimiento}_{ij} = a_i + b_i N_{ij} + g_i N_{ij}^2 + e_{ij}$$

Donde:

Rendimiento: es el rendimiento del cultivo en el área de coordenadas  $i, j$  ajustado por el efecto del bloque,

$a$ : es una constante general (ordenada al origen),

$b$  y  $g$  son coeficientes de regresión que explican en forma conjunta la contribución de cada unidad de nitrógeno aplicada el suelo sobre el rendimiento ajustado,

$N_{ij}$ : Cantidad de nitrógeno aplicada.

$e_{ij}$ : Término de error aleatorio con esperanza cero y varianza.

$i$ : zona de ensayo

$j$ : ensayo

## 5.2. Optimización económica

Se considera optimización económica la maximización del ingreso neto. Este problema de maximización (del ingreso neto para un año dado) puede ser expresado como:

$$\text{Ingreso neto} = \sum_i^n \sum_j^m \left[ p * f_{ij}(x_{ij}) - r * x_{ij} - g - v \right] - F$$

Donde:

p = precio

f<sub>ij</sub> = Función continua y diferenciable de repuesta del cultivo a las características del manejo cultural del área i, j.

x<sub>ij</sub> = insumos suministrados en el área i, j.

r = costo de los insumos

i, j = coordenadas de ubicación del área estudiada

n = números de filas de la grilla en el área estudiada

m = números de columnas de la grilla en el área estudiada

g = costos cuasi fijos por la recolección de datos y análisis en cada área i, j.

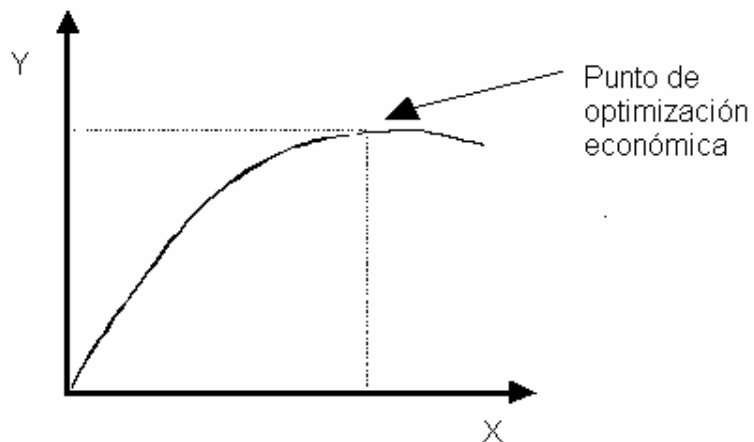
v = costos cuasi fijos por la aplicación variable de insumos.

F = costos fijos

La maximización del ingreso se presenta cuando el ingreso marginal (ingreso adicional provocado por una nueva unidad vendida) es igual al costo marginal (costo adicional de producir una nueva unidad). Si la empresa sobrepasa este nivel de producción las ganancias totales serán menores,

puesto que, por cada unidad adicional vendida, los costos aumentarían más que los ingresos (gráfico 5).

Gráfico 5: Gráfico de producción óptima donde X representa ingresos marginales, y Y costos marginales.



### **5.3. Procedimientos para el cálculo de la conveniencia financiera**

Una vez identificado el rendimiento medio ponderado por ensayo por zona, se procedió a calcular los flujos de efectivos diferenciales de la tecnología.

El análisis se efectuó para un horizonte de 10 años, con un valor residual de la inversión del 20% de su valor inicial (precio de venta al término del proyecto). El precio que se utilizó fue del día 11/03/03 del mercado a término de Rosario. Estos flujos de efectivo fueron calculados en dólares estadounidenses al ser esta una moneda estable y por que las cotizaciones de los insumos importados.

Los flujos de efectivos diferenciales para la evaluación de un proyecto consideran todos los cambios en ingresos o egresos de la empresa, que son consecuencia directa de la ejecución del proyecto (Ross, Westerfield, Jordan, 2001).

Esta definición tiene una consecuencia importante, ya que cualquier flujo de efectivo existente independientemente del proyecto emprendido no es relevante (Ross, Westerfield, Jordan, 2001).

En definitiva, los flujos diferenciales son la diferencia para cada ítem considerado en la tabla de ingresos y egresos, que compara una nueva alternativa y la situación inicial o del año base.

Cómo resultado se obtiene un nuevo cuadro de fondos que arrojan cómo resultado un flujo efectivo de operación (FEO), que se define cómo el flujo efectivo de dinero que origina la empresa en sus actividades operativas normales. Se calcula de la siguiente manera:

$$FEO = Utilidad después de impuestos + Depreciaciones$$

Donde la depreciación al no ser una partida real de dinero, permanece en la empresa.

El FEO puede adoptar valores positivos o negativos. Que el FEO sea positivo no significa que la inversión que lo provoca sea conveniente para la empresa, dado que ese flujo inicial, al ajustarlo a la tasa de costo de oportunidad, puede no recuperar la erogación inicial. Para evaluar esta alternativa, se utilizó el criterio del valor actual neto (VAN), que se define cómo

el valor actual de los flujos de efectivo futuros descontados a la tasa de descuento apropiada, menos la inversión que sostiene estos flujos (Sapag Chaín N, Sapag Chaín R, 2000). En síntesis, es el valor que añade la alternativa bajo estudio a la empresa y se calcula de la siguiente manera:

$$VAN = I_0 \left( \frac{FEO^1}{(1+i)^1} + \frac{FEO^2}{(1+i)^2} + \frac{FEO^3}{(1+i)^3} + \frac{K}{K} + \frac{FEO^n}{(1+i)^n} \right)$$

Donde :

*VAN*: Valor actual neto

*I*<sub>0</sub> : inversión inicial

*FEO*: Flujo de efectivo de la operación

*n*: periodo de ocurrencia.

*i*: Tasa de descuento

En nuestro caso la tasa de descuento elegida, también llamada tasa del costo de oportunidad, es del 9%. Ésta es la rentabilidad esperada de un planteo de invernada en esa zona. Se eligió esta alternativa ya que es posible de implementar sin ningún tipo de inconvenientes ni inversiones excepcionales en el establecimiento bajo estudio.

Cómo regla general una inversión que provoca un VAN positivo debe ser aceptada y una con VAN negativo rechazada, dado que en este último caso nuestra empresa perdería valor de mercado (Ross, Westerfield, Jordan, 2001).

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados de las respuestas del cultivo a la aplicación de dosis variables y fija

A continuación se detallan los resultados, para el primer ensayo zona A y C; y para el segundo zonas B y D. El resto de los resultados se presentan en el anexo.

Los gráficos 6, 7, 8, 9 muestran los semivariogramas calculados de las zonas y ensayos antes mencionados. En estos ensayos por zona se observa que la variación de las muestras difiere entre las zonas y los ensayos. Los semivariogramas omnidireccionales (gráficos 6, 7, 8, 9) afirman lo dicho anteriormente, en los que muestran zonas con una gran variación como la del gráfico 9, y otras con una variación menor como el gráfico 6.

En estos variogramas, también, se observa “efecto pepita” muy elevado, lo cual puede ser ocasionado por una deficiente recolección de datos.

Gráfico 6: primer ensayo zona A

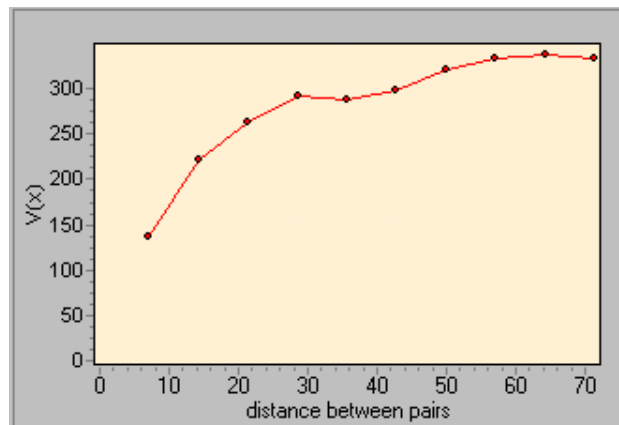


Gráfico 7: primer ensayo zona C

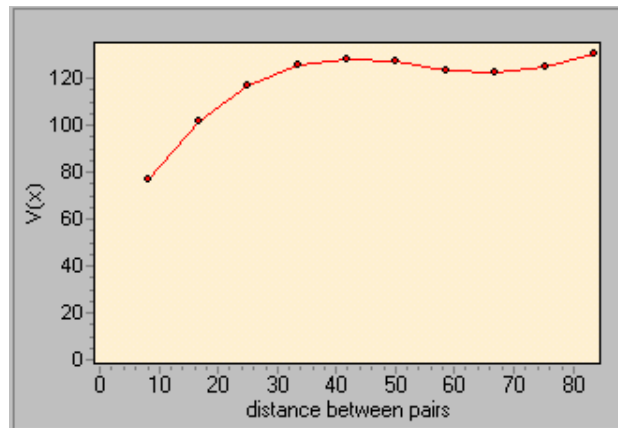


Gráfico 8: segundo ensayo zona B

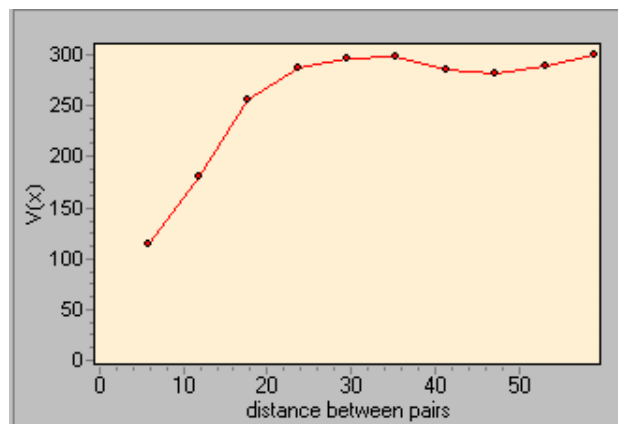
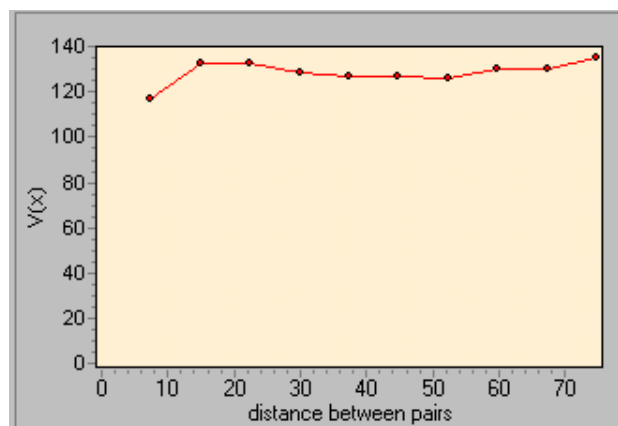


Gráfico 9: segundo ensayo zona D.



Los modelos que mejor representan al semivariograma y la bondad de ajuste del mismo, se presentan en el cuadro 4. En este cuadro se puede advertir que el modelo teórico no se ajusta con mucha precisión a los semivariogramas, lo que se indica por la gran magnitud del error de los modelos seleccionados para el ajuste.

Cuadro 4: estructura y errores de las funciones que se ajustan al variograma

Ensayo	Zona	Estructura	Error
1	A	Exponencial	1.36423 E+07
	C	Esférica	2.32034 E+06
2	B	Esférica	1.74691 E+07
	D	Lineal	6.66973 E+06

Los rendimientos promedios por cada zona mencionada y los promedios ponderados estimados por kriging ordinario se presentan en el cuadro 5. Se puede observar que si bien en algunos casos no se presenta una gran diferencia entre ambas medidas, la media aritmética posee un error mayor ya que el kriging produce estimaciones insesgadas con varianza mínima (Eastman, 1999)

Cuadro 5: medias ponderadas y aritméticas de las zonas por ensayo.

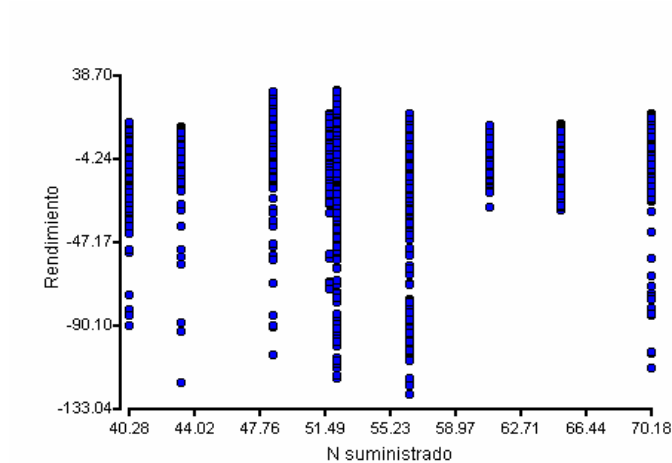
Ensayo	Zona	R.M.P <sup>1</sup>	M.A <sup>2</sup>
1	A	131.22	131.795944
1	C	131.06	128.074944
2	B	138.47	123.401036
2	D	135.78	133.183698

1 rendimiento medio ponderado

2 media aritmética

El gráfico 10, muestra las dosis de nitrógeno (kilogramos por hectárea) en el eje de las X, y el rendimiento ajustado (quintales por hectárea) en el eje de las Y. De este gráfico se infiere que el rendimiento promedio ponderado ajustado por la media de la zona homogénea no difiere entre las diferentes dosis de nitrógeno suministradas en cada zona y los resultados en la grilla muestreada son muy variables.

Gráfico 10: gráfico de dispersión de rendimientos ajustados y cantidad de nitrógeno suministrado



Los resultados de la aplicación de la función de producción, mediante regresión lineal múltiple a los datos ajustados se presentan en los cuadros 6 y 7

Analizando las medidas de resumen obtenidas se puede concluir que no hay relación estrecha entre las dosis de nitrógeno suministrado y el rendimiento del cultivo.

El cuadro 6 demuestra que la función ajustada solo explica el 0,89% de la variabilidad total de los datos de rendimiento ajustado ( $R^2 = 0.0089$ ). En síntesis, los rendimientos del cultivo de maíz en los ensayos analizados son prácticamente independientes del nitrógeno dentro de su rango de aplicación.

Cuadro 6: análisis de Regresión Lineal

Variable	N *	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Rendimiento	8696	0.0089	0.0087

\*: cantidad de datos estudiados

Cuadro 7: tabla de análisis de la varianza de la regresión

Fuente de Variación	Grado de libertad	Suma de los cuadrados medios	P <sup>1</sup>
Modelo	2	8789.9913	0.00
N suministrado	2	8789.9913	0.00
Error	8693	224.8667	X
Total	8695	X	X

1: el valor de significación para la prueba de F.

## **6.2. Resultados del análisis de flujos diferenciales.**

Los flujos de costos diferenciales a tener en cuenta son: costos de fertilizantes nitrogenados, (anexo), el costo de tercerizar la cosecha con un proveedor que posea sensores de rendimiento geoposicionados, (estimado en \$2.5 superior al costo de cosecha sin estos servicios), el costo de la señal correctora de posicionamiento, (\$840 anuales) y la depreciación de la inversión en equipo, que se calcula como la inversión inicial dividido por la cantidad de años del proyecto y la cantidad de hectáreas trabajadas por año.

Los ingresos diferenciales se obtienen multiplicando la diferencia de rendimientos medios ponderados entre ambos tratamientos y el precio. De esta

manera se obtienen el ingreso o pérdida propia de la aplicación de la nueva tecnología.

A la diferencia entre los ingresos y los costos diferenciales propios de cada zona, se le aplica la tasa impositiva correspondiente, 30% del ingreso neto. Luego, aplicando la fórmula del FEO se obtiene el ingreso real proporcionado por la agricultura de precisión.

Estos flujos son utilizados en el VAN para así determinar la aceptación o no de cada tratamiento en función de la conveniencia financiera para el establecimiento agropecuario. Para mayor detalle remitirse al anexo

En el cuadro 8 se puede observar el valor actual neto de los flujos de efectivos diferenciales del tratamiento de dosis variable de ambos ensayos en cada zona.

En este trabajo, la dosificación de nitrógeno que maximiza el valor actual neto de la empresa es la utilizada en la zona D del primer ensayo (90 kg de mezcla y 50 kg de FDA). Esto se observa ya que en el lote bajo estudio no hay una respuesta directa a la administración de dosis variables de nitrógeno (cuadro 6). Cualquier dosis de fertilizante nitrogenado que se suministra al lote, produce un resultado similar (gráfico 10), por lo que la dosis de mayor VAN en un ensayo, produciría la misma respuesta en el otro al no observarse diferencias estadísticas en el rendimiento del cultivo (cuadro 8).

Es de destacar que un VAN positivo no implica que se debe adoptar la agricultura de precisión, sino que la dosis utilizada en ese ensayo en particular

es la más conveniente. Si se usa esta dosificación en un planteo de agricultura tradicional también se generaría valor en la empresa, lo que es explicado por la falta de respuesta del cultivo a las distintas dosis aplicadas.

Cuadro 8: flujos efectivos de operación con sus respectivos valores actuales netos

Ensayo	Zona	FEO	Van	Conveniencia
1	A	(\$574.54)	(\$18,753.36)	Negativa
	B	\$1,151.981	(\$8,588.03)	Negativa
	C	(\$1,708.18)	(\$25,427.98)	Negativa
	D	\$3,905.126	\$7,621.82	Positiva
2	A	(\$3,158.95)	(\$33,969.74)	Negativa
	B	\$1,781.61	(\$4,880.93)	Negativa
	C	\$2,906.015	\$1,739.29	Positiva
	D	(\$341.21)	(\$17,379.55)	Negativa

## 7. Conclusión y recomendaciones

El objetivo que motivó este estudio fue determinar la conveniencia económica - financiera de la adopción de agricultura de precisión y la dosificación que más conveniente en el lote bajo estudio.

En general, la agricultura de precisión es recomendable en lotes que presenten una gran variabilidad conjuntamente con una propuesta tecnológica de avanzada. Esta tecnología es difícil de justificar económicamente en planteos de agricultura tradicional, ya que la agricultura de precisión es una herramienta de optimización de paquetes tecnológicos complejos.

Para reducir la variación de los resultados económicos observados, es indispensable partir de un diagnóstico preciso sobre las causas de las diferencias en los potenciales de rendimiento, y un criterio objetivo de subdivisión en zonas de rendimiento homogéneos.

El método de análisis utilizado, para determinar la dosificación de fertilizante óptima para la ecuación financiera de la empresa, puede ser empleado en cualquier planteo de agricultura de precisión siempre que se tenga acceso al soporte informático necesario para su análisis.

Se destaca en este trabajo la falta de respuesta al nitrógeno por parte del cultivo, razón por la cual la función de producción no explica la variabilidad de los resultados. Esto que imposibilitó la evaluación económica de la agricultura de precisión y la determinación de la cantidad óptima de nitrógeno por zona de estudio.

La dosis de fertilizante, que maximiza del valor actual neto de la empresa, es la que se utiliza en la zona D del primer ensayo (43.21 kg de nitrógeno). Los resultados del trabajo indicarían que esta dosis producirían un resultado similar en las demás zonas de rendimiento homogéneo.

Este trabajo se vio dificultado por la falta de una determinación previa de zonas de rendimiento homogéneo, en función de la variable a estudiar, lo cual es una condición indispensable, para la correcta evaluación económica de la tecnología de agricultura de precisión. Es indispensable entender las complejas relaciones entre las variables que afectan el rendimiento del cultivo para poder desarrollar un método objetivo de diferenciación de zonas de rendimiento homogéneas. (Sudduth et al, 1996)

## 8. Anexo

Anexo

Cuadro 1: componentes y costos de los insumos suministrados por zona en el primer ensayo con tratamiento de dosis variable

	Mezcla Kg/ha	Urea perlada (65%)	Sulfato de amonio (34,7%)	Boro (0,26%)	FDA Kg/ha	Total u\$/ha	u\$/ha (IVA 21%)	Dif dv-d f
<b>A</b>	150	97.5	52.05	0.39	80			
<b>\$/Kg</b>	\$1.905	\$0.245	\$0.290	\$1.370	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$38.982	\$23.888	\$15.095		\$25.600	\$64.582	\$78.144	\$15.242
<b>B</b>	130	84.5	45.11	0.338	70			
<b>\$/Kg</b>	\$1.905	\$0.245	\$0.290	\$1.370	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$33.784	\$20.703	\$13.082		\$22.400	\$56.184	\$67.983	\$5.081
<b>C</b>	110	71.5	38.17	0.286	60			
<b>\$/Kg</b>	\$1.905	\$0.245	\$0.290	\$1.370	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$28.587	\$17.518	\$11.069		\$19.200	\$47.787	\$57.822	-\$5.081
<b>D</b>	92	59.8	31.924	0.2392	50			
<b>\$/Kg</b>	\$1.905	\$0.245	\$0.290	\$1.370	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$23.909	\$14.651	\$9.258		\$16.000	\$39.909	\$48.290	-\$14.613

Anexo

Cuadro 2: componentes y costos de los insumos suministrados por zona en el primer ensayo con tratamiento de dosis fija

	Mezcla Kg/ha	Urea perlada (65%)	Sulfato de amonio (34,7%)	Boro (0,26%)	FDA Kg/ha	Total u\$/ha	u\$/ha (IVA 21%)
<b><u>A,B,C,D</u></b>	120	78	41.64	0.312	65		
<b><u>\$/Kg</u></b>	\$1.905	\$0.245	\$0.290	\$1.370			
<b><u>U\$</u></b>	\$31.186	\$19.110	\$12.076		\$20.800	\$51.986	\$62.903

Anexo

Cuadro 3: componentes y costos de los insumos suministrados por zona en el segundo ensayo con tratamiento de dosis variable

	Urea perlada	FDA Kg/ha	Total u\$/ha	Total u\$/ha (IVA 21%)	Dif dv-df
<b>A</b>	110	80			
<b>\$/Kg</b>	\$0.245	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$26.950	\$25.600	\$52.550	\$63.586	\$12.330
<b>B</b>	95	70			
<b>\$/Kg</b>	\$0.245	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$23.275	\$22.400	\$45.675	\$55.267	\$4.011
<b>C</b>	82	60			
<b>\$/Kg</b>	\$0.245	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$20.090	\$19.200	\$39.290	\$47.541	-\$3.715
<b>D</b>	68	50			
<b>\$/Kg</b>	\$0.245	\$0.320			
<b>U\$</b>	\$16.660	\$16.000	\$32.660	\$39.519	-\$11.737

Anexo

Cuadro 4: componentes y costos de los insumos suministrados por zona en el segundo ensayo con tratamiento de dosis fija

	Urea	FDA Kg/ha	Total u\$/ha	u\$/ha (IVA 21%)
<b>A,B,C,D</b>	88	65		
<b>\$/Kg</b>	\$0.245	\$0.320		
<b>U\$</b>	\$21.560	\$20.800	\$42.360	\$51.256

Fuente: Precios obtenidos de la revista márgenes agropecuarios de febrero de 2003 y de la revista marca liquida de noviembre del 2002 pag 4

Anexo

Gráfico 1: 1<sup>er</sup> ensayo zona B

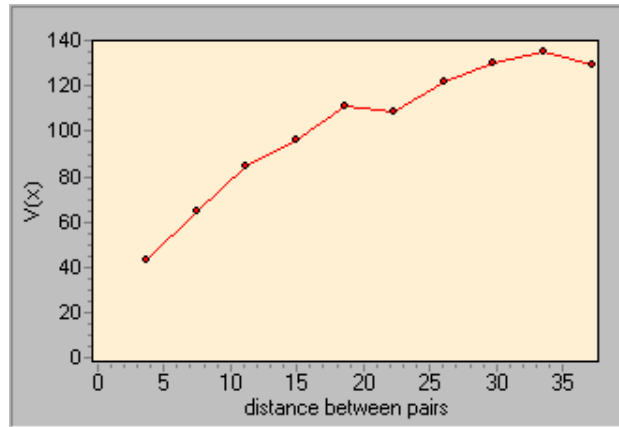


Gráfico 2: 1<sup>er</sup> ensayo zona D

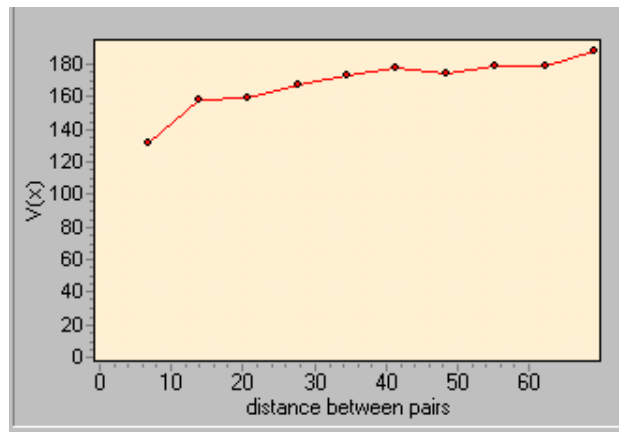


Gráfico 3: 2<sup>do</sup> ensayo zona A

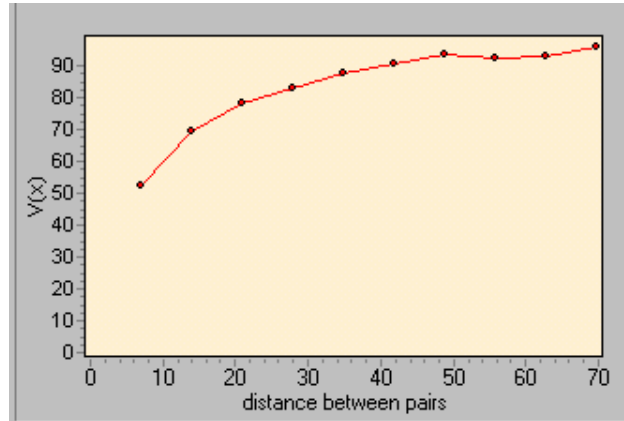
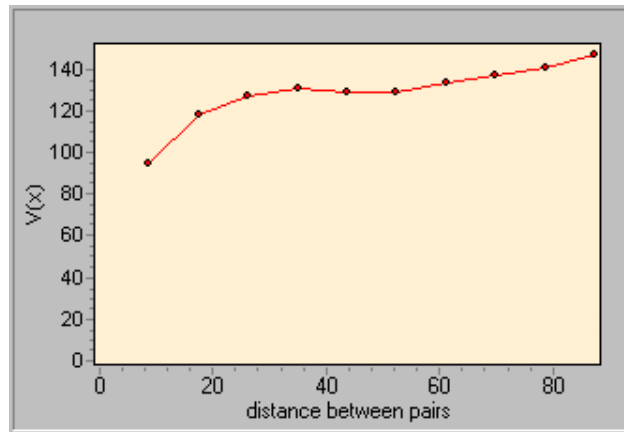


Gráfico 4: 2<sup>do</sup> ensayo zona C



Anexo

Tabla 1: estructura y errores de las funciones que se ajustan a las funciones del variograma

Ensayo	Zona	Estructura	Error
1	B	Esférica	537233
1	D	Exponencial	1.93452 E+06
2	A	Exponencial	480395
2	C	Exponencial	1.34602 E+07

Cuadro 7: medias ponderadas y aritméticas de las zonas por ensayo.

Ensayo	Zona	R.M.P <sup>1</sup>	M.A <sup>2</sup>
1	B	136.96	131.739945
1	D	138.22	131.784219
2	A	135.64	132.437489
2	C	119.01	124.277642

1

1 rendimiento medio ponderado

2 media aritmética

Anexo

# Costos

**Primer Ensayo****Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 1<sup>er</sup> ensayo zona A**

Superficie (Ha)	50.00
Rendimiento qq/ha	0.21
Producción Total (qq)	10.50

Campaña 00/01	Kg
Cantidad de mezcla	30
Cantidad de Fosfato diamónico	15
Nitrógeno kg/ha	14.2461

**Ingresos**

Ingresos	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ventas	10.5	\$75.60	\$15.12	\$7.20

Ingreso Bruto	10.5	\$75.60	\$15.12
---------------	------	---------	---------

**Costos**

Gastos Directos	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	0.105
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	0.094
Fertilizantes	\$762.08	\$15.24	0.572
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	0.229
Total Gastos Directos	\$1,332.08	\$26.64	1.00

Margen Bruto	(\$1,256.48)	(\$11.52)
Impuestos	\$376.94	\$3.46
Ingreso Neto	(\$879.54)	(\$8.07)

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	-0.66
---------------------------------	-------

Rendimiento Indiferencia (qq)	3.70
-------------------------------	------

Feo	-\$574.54
-----	-----------

VAN	(\$18,753.36)
-----	---------------

Anexo

**Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 1<sup>er</sup> ensayo zona B**

Superficie (Ha)	50.00	Campaña 00/01	
Rendimiento qq/ha	5.65	Cantidad de mezcla	10 Kg
Producción Total (qq)	282.50	Cantidad de Fosfato diamónico	5
		Nitrógeno kg/ha	4.7487

**Ingresos**

Ingresos	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ventas	282.5	\$2,034	\$41	\$7.200

Ingreso Bruto	282.5	\$2,034	\$41
---------------	-------	---------	------

**Costos**

Gastos Directos	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	\$0.17
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	\$0.15
Fertilizantes	\$254.03	\$5.08	\$0.31
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	\$0.37
<b>Total Gastos Directos</b>	<b>\$824.027</b>	<b>\$16.481</b>	<b>1.00</b>

Margen Bruto	\$1,209.9726	\$24.199
Impuestos	(\$362.99)	(\$7.26)
Ingreso Neto	\$846.981	\$16.940

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	1.03
---------------------------------	------

Rendimiento Indiferencia (qq)	2.29
-------------------------------	------

Feo	\$1,151.981
-----	-------------

VAN	(\$8,588.03)
-----	--------------

Anexo

**Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 1<sup>er</sup> ensayo zona C**

Superficie (Ha)	50.00	Campaña 00/01	Kg
Rendimiento qq/ha	-7.5	Cantidad de mezcla	-10
Producción Total (qq)	-375.00	Cantidad de Fosfato diamónico	-5
		Nitrógeno kg/ha	-4.75

**Ingresos**

	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq
Ingresos				
Ventas	(375.00)	(\$2,700.0)	(\$54.0)	\$7.200

Ingreso Bruto	(375.00)	(\$2,700.0)	(\$54.0)
---------------	----------	-------------	----------

**Costos**

	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Gastos Directos			
Señal correctora	\$140.000	\$2.800	0.796
Cosecha contratista	\$125.000	\$2.500	0.710
Fertilizantes	(\$254.0)	(\$5.1)	-1.444
Amortización de los Equipos	\$305.000	\$6.10	1.733
Total Gastos Directos	\$175.973	\$3.519	1.00

Margen Bruto	(\$2,876.0)	(\$57.5)
Impuestos	\$862.8	\$17.256
Ingreso Neto	(\$2,013.2)	(\$40.264)

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	-11.44
---------------------------------	--------

Rendimiento Indiferencia (qq)	0.49
-------------------------------	------

Feo	(\$1,708.18)
-----	--------------

VAN	(\$25,427.98)
-----	---------------

Anexo

**Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 1<sup>er</sup> ensayo zona D**

Superficie (Ha)	50.00	Campaña 00/01	Kg
Rendimiento qq/ha	13.84	Cantidad de mezcla	-28
Producción Total (qq)	692.00	Cantidad de Fosfato diamónico	-15
		Nitrógeno kg/ha	-13.476

**Ingresos**

	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ingresos				
Ventas	692	\$4,982.40	\$99.65	\$7.20

Ingreso Bruto	692	\$4,982.40	\$99.65
---------------	-----	------------	---------

**Costos**

	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Gastos Directos			
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	-0.872
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	-0.778
Fertilizantes	(\$730.64)	(\$14.61)	4.55
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	-1.90
Total Gastos Directos	(\$160.64)	(\$3.21)	1.00

Margen Bruto	\$5,143.04	\$102.86
Impuestos	(\$1,542.9)	(\$30.86)
Ingreso Neto	\$3,600.13	\$72.00

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	-22.41
---------------------------------	--------

Rendimiento Indiferencia (qq)	-0.45
-------------------------------	-------

Feo	\$3,905.126
-----	-------------

VAN	\$7,621.82
-----	------------

**Segundo ensayo****Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 2do ensayo zona A**

Superficie (Ha)	50
Rendimiento qq/ha	-10.45
Producción Total (qq)	-522.5

Campaña 00/01	Kg
Cantidad de Urea	22
Cantidad de Fosfato diamónico	15
Nitrógeno	13.26

**Ingresos**

Ingresos	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ventas	(\$522.50)	(\$3,762.00)	(\$75.2)	\$7.20

Ingreso Bruto	(\$522.50)	(\$3,762.00)	(\$75.2)
---------------	------------	--------------	----------

**Costos**

Gastos Directos	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	0.118
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	0.10535
Fertilizantes	\$616.50	\$12.33	0.51959
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	0.25706
<b>Total Gastos Directos</b>	<b>\$1,186.50</b>	<b>\$23.73</b>	<b>1</b>

Margen Bruto	(\$4,948.50)	(\$98.97)
Impuestos	\$1,484.55	\$29.69
Ingreso Neto	(\$3,463.95)	(\$69.28)

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	(\$2.92)
---------------------------------	----------

Rendimiento Indiferencia (qq)	3.30
-------------------------------	------

Feo	(\$3,158.95)
-----	--------------

VAN	(\$33,969.74)
-----	---------------

Anexo

**Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 2do ensayo zona B**

Superficie (Ha)	50.00
Rendimiento qq/ha	8
Producción Total (qq)	400.00

Campaña 00/01	Kg
Cantidad de Urea	7
Cantidad de Fosfato diamónico	5
Nitrógeno	4.26

**Ingresos**

Ingresos	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ventas	\$400.00	\$2,880.00	\$57.60	\$7.20

Ingreso Bruto	\$400.00	\$2,880.00	\$57.60
---------------	----------	------------	---------

**Costos**

Gastos Directos	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	0.18169
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	0.16222
Fertilizantes	\$200.56	\$4.01	0.26028
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	0.39582
Total Gastos Directos	\$770.56	\$15.41	1

Margen Bruto	\$2,109.44	\$42.19
Impuestos	(\$632.83)	(\$12.66)
Ingreso Neto	\$1,476.61	\$29.53

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	\$1.92
---------------------------------	--------

Rendimiento Indiferencia (qq)	2.14
-------------------------------	------

Feo	\$1,781.61
-----	------------

VAN	(\$4,880.93)
-----	--------------

Anexo

**Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 2do ensayo zona C**

Superficie (Ha)	50.00
Rendimiento qq/ha	11
Producción Total (qq)	550.00

Campaña 00/01	Kg
Cantidad de Urea	-6
Cantidad de Fosfato diamónico	-5
Nitrógeno	-3.78

**Ingresos**

Ingresos	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ventas	\$550.00	\$3,960.00	\$79.20	\$7.20

Ingreso Bruto	\$550.00	\$3,960.00	\$79.20
---------------	----------	------------	---------

**Costos**

Gastos Directos	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	0.57
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	0.51
Fertilizantes	(\$185.74)	(\$3.71)	-0.76
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	1.25
Total Gastos Directos	\$244.27	\$4.89	1.00

Margen Bruto	\$3,715.74	\$74.31
Impuestos	(\$1,114.7)	(\$22.29)
Ingreso Neto	\$2,601.01	\$52.02

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	10.65
---------------------------------	-------

Rendimiento Indiferencia (qq)	0.68
-------------------------------	------

Feo	\$2,906.015
-----	-------------

VAN	\$1,739.29
-----	------------

Anexo

**Análisis financiero de flujos diferenciales para Maíz 2do ensayo zona D**

Superficie (Ha)	50	Campaña 00/01	Kg
Rendimiento qq/ha	-3	Cantidad de Urea	-20
Producción Total (qq)	-150	Cantidad de Fosfato diamónico	-15
		Nitrógeno	
		\$	-12.3

**Ingresos**

Ingresos	qq Totales	\$ Totales	\$/Ha	\$/qq Bruto
Ventas	-150	(\$1,080.00)	(\$21.6)	7.20

Ingreso Bruto	-150	(\$1,080.00)	(\$21.6)
---------------	------	--------------	----------

**Costos**

Gastos Directos	\$ Totales	\$/Ha	% Gasto
Señal correctora	\$140.00	\$2.80	-
Cosecha contratista	\$125.00	\$2.50	0.79694
Fertilizantes	(\$586.85)	(\$11.74)	3.74147
Amortización de los Equipos	\$305.00	\$6.10	-
Total Gastos Directos	(\$156.85)	(\$3.14)	1

Margen Bruto	(\$923.15)	(\$18.46)
Impuestos	\$276.95	\$5.54
Ingreso Neto	(\$646.21)	(\$12.92)

Relación Ingreso neto/Gasto (%)	\$4.12
---------------------------------	--------

Rendimiento Indiferencia (qq)	-0.435
-------------------------------	--------

Feo	(\$341.21)
-----	------------

VAN	(\$17,379.55)
-----	---------------

Lic. Adm. Agraria Federico Proietti

[Proietti@federico.net.ar](mailto:Proietti@federico.net.ar)

## 9. Bibliografía

- Agterberg, F.P., 1974. Geomathematics, Elsevier Science Inc.
- Anderson, K (1998) Are resource -abundant economies disadvantaged?  
The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics  
42 (1): 1-23.
- Bongiovanni, R. (2001). A spatial econometric specific nitrogen  
management in corn production. PhD tesis Universidad de  
Pudeau
- Bongiovanni, R (1998). Economic Evaluation of Site-Specific  
management
- Bonham-Carter, G.F., (1994). Geographic Information Systems for  
Geoscientists: Modelling with GIS, Pergamon, Tarrytown, New  
York.
- Borleto, J M (2001), información personal
- Bragachini M, A Von Martín, A Méndez. (2001) Manejo sitio específico  
de cultivos. En: AAPRESID Siembra Directa: día de campo,  
Regional Centro Norte de Córdoba, AAPRESID. p. 9-16.
- Bragachini, M (2001) información personal

## Anexo

- Bullock, D. S (1999) The economics of precision farming: A primer for agronomics designing experiments. En: Stafford J. V. (ed) Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture. Sheffield Academics press, UK, p 937-946
- Burrough, P.A. and Rachel McDonnell, (1998). Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, New York.
- Davis G. B., and M. H. Olson. (1985). Management information systems: conceptual foundations, structure, and development. 2nd ed. McGraw – HILL. New York.
- Department of Defense (2003) Ground Water Modelling System: GMS version 4.0. En [www.ems-i.com/gmshelp/gmsv40help.htm#Interpolation/Interpolation\\_Schemes/Kriging/Ordinary\\_Kriging.htm](http://www.ems-i.com/gmshelp/gmsv40help.htm#Interpolation/Interpolation_Schemes/Kriging/Ordinary_Kriging.htm)
- Dillon, J. 1977. "The Analysis of Response in Crop and Livestock Production." New York: Pergamon Press, 2<sup>nd</sup> edición.
- Eastman, R. (1999) IDRISI32 Guide to GIS and Image Processing Vol. 1 & 2. Version I 32.01. Clark Labs, Clark University. MA, EE.UU.

## Anexo

- Heermann, D. F, J. Hoeting, S. E Thompson, H. R Duke, D. G Westfall, G. W Buchleiter, P Westr, F. B Pearis y K Fleming (2002), Interdisciplinary Irrigated Precision Farming Research, en Precision Agriculture 3. Editado por Kluwer academic publishers, Holanda p 47-61
- Horgan GW, Sharp RM. (1998). SMART. Variogram Analysis. Bioss, Biomathematics and Statistics Scotland, UK En [www.bioss.sari.ac.uk/smart/unix/mvariog/slides/frames.htm](http://www.bioss.sari.ac.uk/smart/unix/mvariog/slides/frames.htm)
- INPE, (2002). SPRING. Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. DPI/INPE, Brasil. En [www.dpi.inpe.br/spring/](http://www.dpi.inpe.br/spring/).
- Lambert, D.; Lowenberg-DeBoer, J.; y R. Bongiovanni. (2002). Statistical Methods for Precision Agricultural Data: Case Study of Variable Rate Nitrogen on Corn in Argentina." Submitted to the Journal of Manufacturing & Service Operations Management (M&SOM). October 2002. En [www.agriculturadeprecision.org/articulos/analecon.htm](http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/analecon.htm)
- Lowenberg-De Boer, J., and S. Swinton. (1995). Economics of Site-Specific Management in Agronomics Crops, cap 16. ed Fj Pierce and Ej Sadler.

## Anexo

- Lowenberg-De Boer, J., M. Boehlje. (1996). "Revolution, Evaluation or Dead end: Economics perspectives on Precision Agriculture. Procedente de la 3 era conferencia internacional de agricultura de precisión, Madison. WI. SSSA.
- Luna, M (1997) Estructura Económica Argentina, Ed: Educor, Argentina 460 p
- Matheron (1997) "Kriging of polinomial interpolation procedures" instituto canadiense de boletines m ineros.
- Méndez, A (2001) información personal
- Reza, LG y G.H. Parellada (2001) Sector Agropecuario Argentino, aspectos de su evolución, razones de su crecimiento reciente y posibilidades futuras. Ed. Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires. 150 p.
- Revista márgenes agropecuarios (2003), semillas y agroquímicos, Pág. 46
- Ross, Westerfield y Jordan (2000) Fundamentos de Finanzas corporativas 5ta edición Ed Mc Graw Hill 644 p
- Sapag Chain N y Sapag Chain R (2000), Preparación y evaluación de proyectos. McGRAW – HILL /INTERAMERICANA DE CHILE LTDA. Santiago (Chile). 430 p.

## Anexo

- Secretaria de agricultura y pesca de la nación. Caracterización de sector agrario nacional. En [www.sagpya.mecon.gov.ar/0-0/index/agricultura/index\\_agricultura.htm](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-0/index/agricultura/index_agricultura.htm)
  - Secretaria de agricultura y pesca de la provincia de Córdoba. Información del sector agropecuario. En [www.cba.gov.ar/vercanal.jsp?idCanal=4351](http://www.cba.gov.ar/vercanal.jsp?idCanal=4351)
  - Sudduth, K. A, Drummond, S .T, Birrell, S. J y Kitchen, N. R (1996) Analysis of spatial factors influencing crop yield. En Proceedings of the Third International conference on Precision Agriculture. Editado por P. C. Robert, R. H. Rust y W. E Larson, ASA, CSSA, SSSA. Madison WI,, Usa, p 129-140
  - Tandogdu Y. (2003). Nugget e ffect versus screen effect. Eastern Mediterranean University, Department of Applied Mathematics. North Cyprus, Turkey.  
[www.stat.fi/isi99/proceedings/arkisto/varasto/tand0919.pdf](http://www.stat.fi/isi99/proceedings/arkisto/varasto/tand0919.pdf)
  - Thurow, L. (1992). La Guerra del siglo XXI (Head to head). Ed Vergara, Buenos Aires. 376 p.
- Von Martini, A. (2001) Información personal

1. Introducción.....	2
1.1. Situación de la agricultura de precisión en Argentina .....	9
1.1.1. Componentes de la agricultura de precisión .....	11
1.2. Definición del problema.....	13
1.3. Causas del problema.....	13
2. Marco conceptual.....	14
2.1. Concepto de continuidad y variabilidad espacial.....	14
2.2. Ajuste del modelo teórico del semivariograma .....	17
2.3. Estimación e interpolación: Kriging.....	18
2.4. Función de producción.....	22
3. Objetivos.....	24
3.1. Objetivos específicos.....	24
4. Materiales disponibles para el estudio .....	25
4.1. Caracterización de la zona de estudio .....	28
4.1.1. Clima .....	28

## Anexo

4.1.2. Topografía .....	28
4.1.3. Suelo .....	28
5. Metodología .....	29
5.1. Procedimiento para determinar las respuestas del cultivo a la aplicación de dosis variables y fija .....	29
5.2. Optimización económica.....	33
5.3. Procedimientos para el cálculo de la conveniencia financiera .	34
6. Resultados .....	37
6.1. Resultados de las respuestas del cultivo a la aplicación de dosis variables y fija .....	37
6.2. Resultados del análisis de flujos diferenciales.....	42
7. Conclusión y recomendaciones .....	45
8. Anexo .....	47
9. Bibliografía .....	64