

Situación de los sistemas de información geográficos y la agricultura de precisión

Situación actual y posibilidades futuras.

Alvaro Roel*

Richard Plant**

La investigación tiene hoy en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) una herramienta fundamental para la comprensión de la variabilidad espacial de los factores productivos.

En palabras más sencillas, la variabilidad espacial en el sector agrícola puede ser descripta como el hecho de que en una chacra (sea esta de cualquier tipo de cultivo) normalmente tenemos zonas de la misma con un mayor comportamiento productivo y otras de menor rendimiento. Sin embargo, frecuentemente la misma termina siendo descripta por un valor de x kgs. por hectárea, como reflejo de su valor productivo, cuando tal vez éste valor sea poco representativo de la realidad de la misma.

Un determinado valor de rendimiento puede ser construido de diferentes maneras: 1) puede reflejar el promedio de dos zonas diferentes de la chacra, una con buen comportamiento productivo y otra con un comportamiento menor, pero ambas de iguales dimensiones. 2) puede reflejar el hecho de que una zona menor de la chacra tenga un comportamiento altamente productivo, pero el resto de la chacra presentar un rendimiento menor y uniforme. 3) puede también reflejar lo inverso, es decir una zona menor pero de muy bajo rendimiento, con el resto de la chacra con un rendimiento mayor y uniforme. En definitiva lo que queremos resaltar es que el valor de rendimiento de una chacra no nos permite visualizar que es lo que realmente sucede espacialmente en la misma.

La investigación siempre ha tenido presente la importancia de este tipo de variabilidad y de hecho existen en los



Figura 1 (a): Sistema de posicionamiento global y registro de flujo de rendimiento
(b): Cosechadora equipada con sistema cosechando arroz.
(Roel, A. et al., 2000).



diferentes cultivos y sistemas productivos estudios que cuantifican la variabilidad productiva, pero estos son muy complejos y costosos de realizar con métodos tradicionales de investigación. Con la aparición de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y los monitores de rendimiento, esto ha pasado a ser muy fácil de cuantificar.

Los monitores de rendimiento son sensores (generalmente sensores hidráulicos) que son instalados en las cosechadoras, los cuales registran el flujo de entrada de grano y la humedad del mismo. De esta manera, luego de un proceso de calibración, el rendimiento del cultivo puede ser determinado. El monitor de rendimiento es conectado a un sistema de posicionamiento global, permitiendo que la localización del rendimiento sea registrada (Figuras 1a y 1b). En general la mayoría de los monitores de rendimiento hoy disponibles registran el valor de rendimiento cada metro de avance de la cosechadora, por lo que es fácil de visualizar el vo-

lumen importante de registros que pueden ser generados en una determinada chacra. El producto final es un mapa, conocido como "mapa de rendimiento" con la descripción del rendimiento en la chacra (Figura 2).

Debido a esto es que los sistemas de información geográfica (SIG) son el elemento crucial para poder trabajar en esta área. Estos sistemas permiten ordenar y analizar los datos provenientes de los GPS y monitores de rendimiento, manteniendo la información espacial de la información.

Cuánto importa conocer la variabilidad del rendimiento de la chacra

DESDE EL PUNTO DE VISTA PRODUCTIVO:

En la mayoría de las condiciones de producción del Uruguay, la variabilidad de suelos, topografía y manejo anterior dentro de una chacra determinan que normalmente existan diferencias en los niveles de fer-

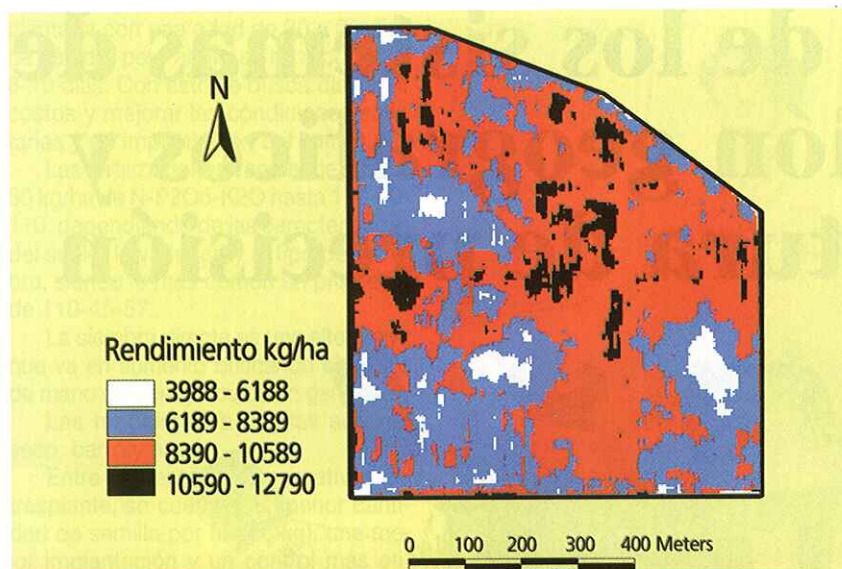


Figura 2: Variabilidad de rendimiento en chacra de arroz.

Superficie: 42 hectáreas. Ubicación: Valle del Sacramento - California - USA. Zafra 1998. Número de datos de rendimiento contenidos en este mapa: 45000. (Roel, A. et al., 2000). Como se puede apreciar el rendimiento de chacra oscila desde 3988 kg/ha hasta 12790 kg/ha. El rendimiento promedio de esta chacra fue de 8738 kg/ha. Existen zonas de la chacra con rendimientos significativamente superior e inferior a este promedio.

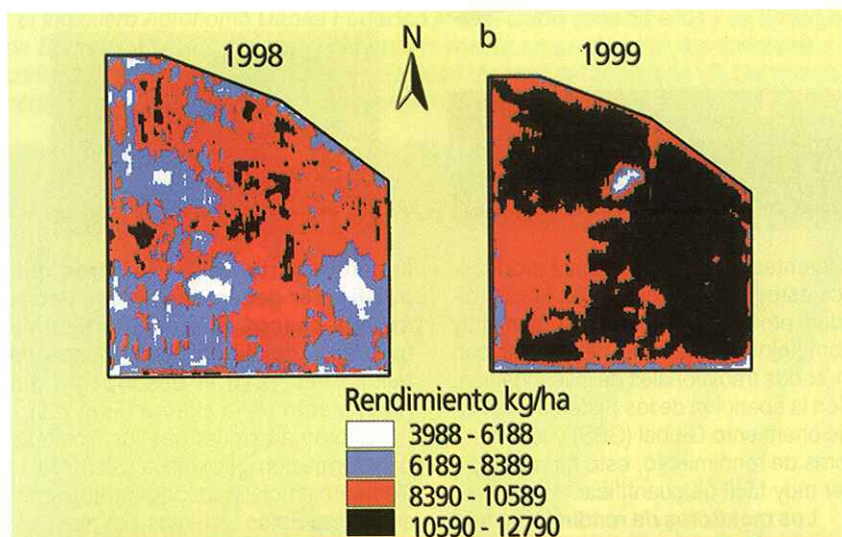


Figura 3: Variabilidad de rendimiento en zafra 1998 (a) y 1999 (b). (Roel, A. et al., 2000). Número de datos de rendimiento contenidos en este mapa: 45000. El rendimiento promedio de esta chacra fue de 8738 kg/ha en 1998 y 9338 kg/ha en 1999. Se puede apreciar que la dimensión de las diferentes categorías de rendimiento cambiaron de una zafra a otra. Es interés de este proyecto poder comprender cuáles son las posibles causas agronómicas que provocan esta variabilidad.

tilidad, de almacenamiento de agua, de posibilidad de exploración radicular, de escurrimiento, etc., las cuales generan ambientes diferentes de producción.

En general, sin embargo, el manejo de una chacra se realiza en base a la información promedio de la misma. Es así que la elección de la variedad, la fertilización, la densidad de siembra, las

aplicaciones de herbicidas, funguicidas, etc., se realizan en forma uniforme en toda la chacra.

Con la tecnología hoy existente se abre una posibilidad a la aplicación en forma variable de insumos dentro de una chacra. De esta manera, se podría ajustar los mismos de acuerdo a la variabilidad interna de cada chacra. Esto es lo que se denomina

Agricultura de Precisión y tendría dos efectos inmediatos:

1. COSTOS DE PRODUCCIÓN:

Los costos de producción podrían ser disminuidos al aplicarse una menor cantidad de insumos.

2. ECOLOGÍA DE PRODUCCIÓN:

Este segundo efecto es hoy el pulmón del desarrollo de esta tecnología. Al aplicarse los insumos en forma variable y de acuerdo a las necesidades "reales" de cada zona de la chacra, se evitarían de esta manera, zonas sobre fertilizadas, zonas con aplicación de herbicidas cuando no hay presencia de malezas, etc., las cuales todas generan potenciales problemas ecológicos. La aplicación de la Agricultura de Precisión llevaría a sistemas de producción más amigables con el ambiente, elemento fundamental en la conservación de los recursos y a la hora de comercialización de los productos.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA INVESTIGACIÓN:

Para poder conocer con certeza cuál puede ser el potencial uso de esta tecnología a nivel productivo, la variabilidad espacial del rendimiento debe ser estudiada y cuantificada en los diferentes cultivos extensivos, de manera tal de poder evaluar cuál podría ser el impacto en los costos de producción y sobre los ecosistemas, en la aplicación de esta herramienta.

Entendemos que para la investigación se abre una posibilidad muy interesante de estudio, donde ahora cada chacra pasa a ser un "ensayo" donde la clave va a estar en tener la información y el conocimiento necesario para poder interpretar cuales son las causas que determinan las variabilidades observadas en los mapas de rendimiento (Figura 2).

En este sentido el INIA ha realizado un esfuerzo importante en capacitar a técnicos en esta tecnología en las diferentes áreas de producción, así como también en ir adquiriendo el equipamiento y software necesario.

Proyecto de investigación

Concretamente dentro del Programa Arroz de INIA se ha comenzado un proyecto con la Universidad de California para evaluar las posibilidades reales de la aplicación de la Agricultura de Precisión en la producción arrocería uruguayana y de California. Este proyecto está enmarcado dentro de un programa de cooperación que el INIA y la Universidad de California han acordado para tra-

bajar en forma conjunta en áreas de interés mutuo.

ESTE PROYECTO COMPRENDE CUATRO DIFERENTES LÍNEAS DE TRABAJO:

1. Cuantificar y caracterizar la variabilidad de rendimiento en chacras arroceras ubicadas en diferentes zonas de producción de Uruguay y California.

En este sentido se está actualmente trabajando en cuatro diferentes chacras ubicadas en diferentes zonas de producción de California. Dos de las cuales son cultivadas con la Variedad M 202, que es la variedad de mayor área sembrada en California y las otras dos con la variedades Japónicas Koshiakari y Akita. A modo de ejemplo, se presenta la información referente a una de las chacras, de la cual ya se posee dos años de información y se está recabando un tercer año.

La idea de esta línea de trabajo es cuantificar objetivamente la variabilidad espacial del rendimiento y determinar si la misma permanece estable de una zafra a otra. Esto es realmente clave para el desarrollo de la agricultura de precisión, ya que si los patrones de variabilidad permanecen estables, significa que podrían existir razones agro-

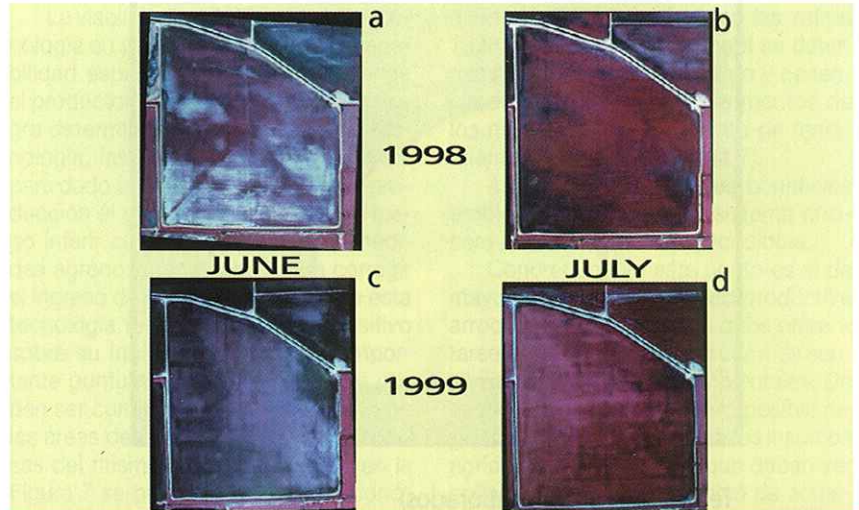


Figura 4: Imágenes infrarrojas: Tomadas en ambas zafras al momento del establecimiento del cultivo (a y c) y un mes después (b y d). (Roel, A. et. al., 2000).

Estas imágenes que son tomadas cada 30 días permiten realizar un seguimiento de la uniformidad del cultivo a lo largo de todo su ciclo.

nómicas que expliquen esta variabilidad. De manera contraria, si los mismos son variables de una zafra a otro, significa que las variables climáticas son las que contribuirían en mayor grado a explicar esta variabilidad (Figura 3). Es uno de los objetivos de esta línea de trabajo poder cuantificar qué

nivel de la variabilidad entre zafras se debe a razones agronómicas y qué nivel a razones climáticas.

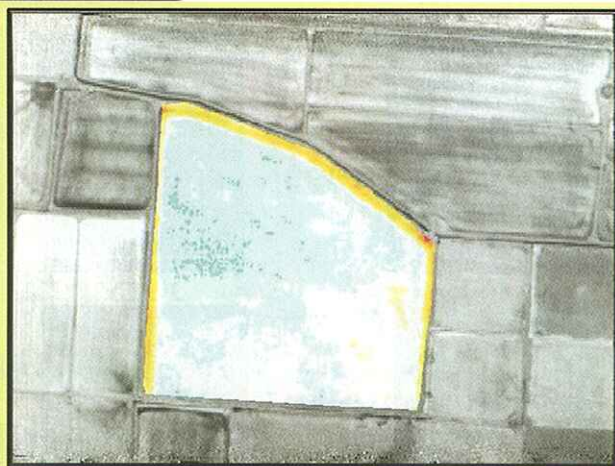
2. Determinar las posibles causas agronómicas que provocan la variabilidad observada.

En este sentido, se realizan mediciones en las diferentes chacras a

La mejor semilla para el mejor Arroz



Lascano - Tel.: (0456) 9208/9270 - FAX: (0456) 9502 Río Branco - Omar Porciuncula 597 Tel.: (0675) 2066 - FAX (0675) 2814
Montevideo - Burgues 2833 - Tel.: 204 4040 - FAX: 208 8719



Temperatura (Gr. Centigrados)

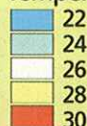
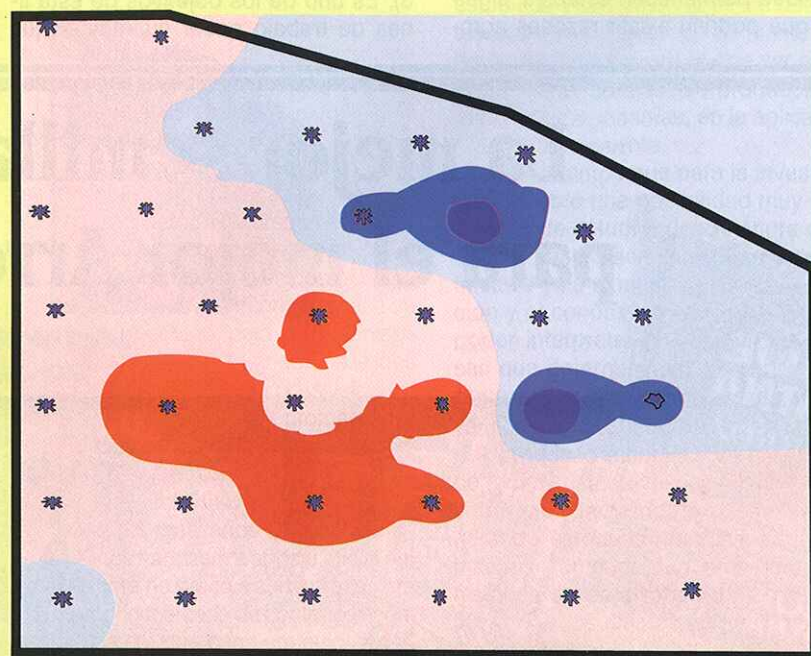
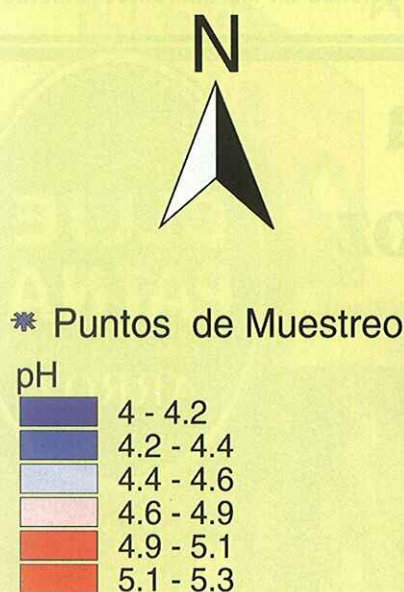


Figura 5. Imagen satelital infrarroja térmica. (Roel, A. et. al., 2000).

La imagen permite visualizar la diferencia de temperatura a nivel del cultivo dentro de la chacra. Es uno de los objetivos de este proyecto determinar los factores que causan los patrones observados.

nivel de: 1) suelo (Materia Orgánica, Nitratos, Fósforo, Potasio, pH, Porcentajes de arena, limo y arcilla y Profundidad de horizonte radicular) 2) planta (contenido de nitrógeno, componentes de rendimiento y temperatura de agua) y 3) evaluaciones periódicas de las chacras referentes a ciclo, enmalezamiento, enfermedades, esterilidad y vuelco.

Dentro de esta línea de trabajo se están utilizando fotos áreas infrarrojas que permiten computar los Índices de Vegetación (NDVI), los cuales nos brindan información objetiva del estado de crecimiento de las diferentes chacras y la uniformidad de las mismas (Figura 4). También dentro de esta área se está utilizando imágenes satelitales (Figura 5) para la determinación de los patrones de temperatura dentro de la chacra. Temperaturas bajas en el período reproductivo del arroz son causantes de esterilidad y esto puede ocurrir con determinada frecuencia tanto en Uruguay como en California, por lo cual puede



0 100 200 300 400 Meters

Figura 6: Interpolación de los valores de pH. (Roel, A. et.al., 2000). Los puntos indican la ubicación en la chacra donde las muestras fueron extraídas. El pH ha sido uno de las pocas variables, en el caso de esta chacra, que se han encontrado con una relación directa sobre el rendimiento. Como se puede observar los valores de pH son extremadamente bajos, los cuales son característicos de esta zona específica de producción, determinando que algunos manejos especiales para estos tipos de suelos sean tomados. Estos valores no son los frecuentemente observados en otras regiones arroceras de California.

ser uno de los factores causantes de cierta variabilidad en el rendimiento. Es así, que se están utilizando imágenes satelitales infrarrojas térmicas que permiten determinar la variación de las temperaturas dentro de las chacras. Diez días previos a la ocurrencia del primordio (estimado por acumulación térmica), se comienzan a analizar semanalmente las imágenes para determinar los patrones de temperatura dentro de las chacras y ver si presentan luego algún tipo de correlación con la variabilidad espacial del rendimiento final de las chacras. También son instalados sensores de temperatura en las chacras que miden en forma continua la temperatura del agua y del cultivo, los cuales son utilizados para corroborar las temperaturas registradas en las imágenes.

Toda la información proveniente de chacra es obtenida utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de manera de tener exactamente identificada la ubicación en el campo donde las muestras fueron extraídas. De esta manera la información puede ser interpolada y comparada con los mapas de rendimiento. (Figura 6).

3. Determinar la viabilidad económica de la aplicación de esta tecnología.

La viabilidad económica de esta tecnología en parte dependerá de la variabilidad espacial del ingreso que tenga el productor. Es decir, si el productor logra determinar, con el uso de esta tecnología, las áreas de la chacra donde para dado un determinado costo de producción él está perdiendo dinero y luego inferir cuáles pueden ser las medidas agronómicas a tomar para corregir el ingreso de estas áreas; el uso de esta tecnología tendría un impacto positivo sobre su ingreso. Para esto es importante puntualizar que ambas fases deben ser cumplidas, el delineamiento de las áreas de ingreso negativo y las causas del mismo. En este sentido en la Figura 7 se presenta el análisis económico de esta chacra. Para esta determinada situación, el cálculo del costo de producción de acuerdo a la información brindada por el productor fue de 6500 kg/ha (incluyendo secado, riego y costo de la tierra). En base a esta información se determinó el margen bruto de producción para cada punto de rendimiento de la chacra (45.000 puntos/chacra). Una vez determinado el margen bruto de producción, se calculó el ingreso neto, utilizando como precio de arroz 0.19 dólares/kg, que fue el precio

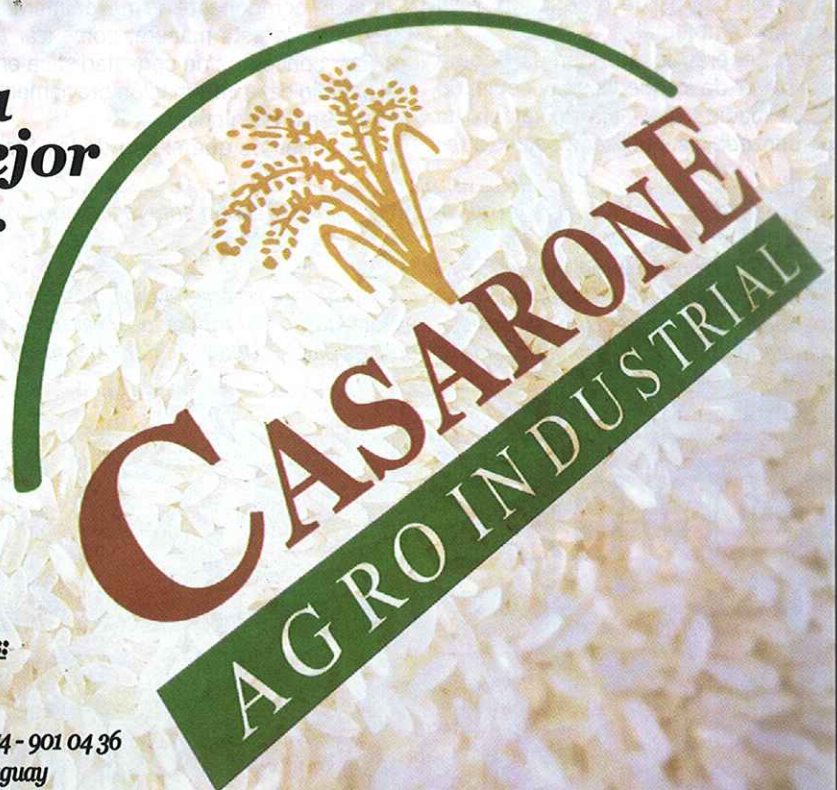
recibido por el productor en las zafras 1998 y 1999. De esta manera se determinaron las zonas de pérdida y ganancia de dinero, así como los montos de los mismos para cada punto de rendimiento de la chacra (Figura 7).

4. Evaluar los posibles beneficios ambientales sobre el ecosistema arrocerero con el uso de esta tecnología.

Concretamente este punto es el de mayor interés en la realidad productiva arrocerera californiana, que debe enfrentarse a una sociedad cada vez más sensibilizada en los temas ambientales. De hecho se está estudiando la posible regulación en la aplicación de los insumos agrícolas, de manera tal que deban ser aplicados en dosis variables de acuerdo a los requerimientos específicos de cada zona de la chacra. Esta regulación tiene por objetivo reducir las cantidades de agroquímicos usadas en el ecosistema arrocerero, el cual tiene un valor fundamental en la conservación de la biodiversidad de este Estado.

En este sentido, se han instalado dos chacras piloto manejadas directamente por la Universidad, donde se está aplicando dosis variables de insumos, realizándose un monitoreo de los aspectos ambientales de estas chacras (can-

**Su confianza
es nuestro mejor
logro.**



Plantas Industriales:

José Pedro Varela - Río Branco - Artigas

Establecimientos agrícola - ganaderos:

Río Branco - Treinta y Tres

Oficinas Centrales

Plaza Independencia 812 p.3 Tels.: 908 03 74 - 901 04 36

Fax: 908 38 19 C.P. 11100 Montevideo - Uruguay

e-mail: casarone@casarone.com.uy

tividad de agroquímicos, micro y macro fauna, niveles de residuos en agua y suelo, contaminación de acuíferos, etc.) y comparándolas con la información proveniente de las chacras con manejo tradicional.

Consideraciones finales

• Entendemos que el uso de los Sistemas de Información Geográfica nos permitirá tener un mayor conocimiento y entendimiento de la variabilidad espacial del rendimiento a nivel de chacra, lo cual previamente era muy dificultoso de estudiar.

• El uso de esta tecnología nos permitirá evaluar si el potencial productivo de una chacra puede ser elevado al incrementar el rendimiento de las zonas menos productivas, siempre y cuando las razones agronómicas sean detectadas, logrando de esta manera una mayor uniformidad y rendimiento promedio de la misma. También es posible evaluar si en las áreas menos productivas el "techo" productivo es indefectiblemente menor y por lo tanto una menor cantidad de insumos pueda ser utilizada (dosis variables de aplicación), logrando de esta manera reducir los costos de producción y su impacto ambiental.

• En general, lo que hemos podido constatar de lo que viene sucediendo en la medida que esta tecnología ha comenzado a ser utilizada por los arro-

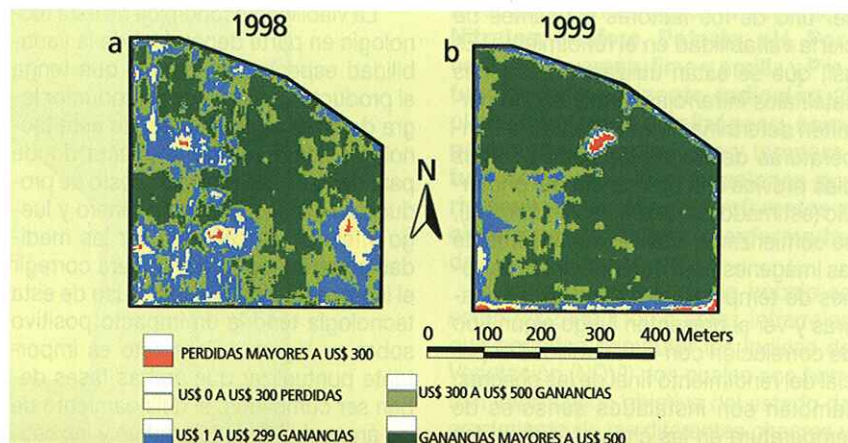


Figura 7. Determinación de las zonas de pérdida y ganancia. (Roel, A. et al., 2000). Dado un determinado costo de producción se determinan las áreas de pérdida y ganancia de dinero. Costo de producción 6500 kg/ha. Precio del arroz: 0.19 dólares/kg.

ceros norteamericanos, es que el productor tiene la "intuición" de cuáles pueden ser las razones causantes de la variabilidad de rendimiento dentro de su chacra, pero es la investigación la que tiene el desafío de determinar objetivamente si éstas son o no las verdaderas razones.

• El uso de esta tecnología determinó un cambio significativo en las herramientas estadísticas utilizadas tradicionalmente por la investigación, donde la variabilidad espacial era específicamente aislada del análisis, para pasar a ser ahora el componente de mayor interés. Se debe de esta manera, comenzar a utilizar conceptos de geoestadística en el estudio de la información previamente no tenidos en cuenta.

• Entendemos que el uso de los Sis-

temas de Información Geográfica y de imágenes satelitales, como fueron descritos en este proyecto, pueden contribuir como herramientas complementarias a las tradicionalmente utilizadas por la investigación, en la determinación de las causantes de la variabilidad espacial de rendimiento a nivel de chacra.

• Creemos que para la investigación se avizora un futuro, donde gran parte de la información no va ser generada en las propias Estaciones Experimentales, sino que estará disponible en diferentes formato y lugares (Internet, empresas privadas, asociación de productores, cooperativas, mapas de rendimiento de chacra, etc.) y será nuestro desafío poseer las herramientas necesarias para poder hacer uso de la misma.

* Ing. Agr. M.Sc. – INIA Treinta y Tres, Programa Arroz. Actualmente realizando un doctorado en Ecología en la Universidad de California en Davis, USA.

Correo Electrónico: aroel@ucdavis.edu

** Dr. – Profesor en los Departamentos de Agronomía e Ingeniería Biológica de la Universidad de California en Davis, USA.

Los GPS permiten registrar la posición exacta de un determinado elemento y guardar esa información en un archivo, de manera tal que luego el usuario, si tuviera necesidad, podría volver al lugar exacto donde el elemento fue registrado.

BOMBAS



• Amplia gama de bombas para riego eléctricas o diesel hasta 5.500 lts./seg. en todas las alturas.



ASESORAMIENTO
902 0173
CREDITOS
ESPECIALIZADO

Importa, Respalda y Distribuye:



Río Negro 1513 • Tels. 902 01 73*
Fax: (598 2) 902 55 75 • CP 11100