

# Relación espacial entre variables de sitio y rendimiento para la delimitación de zonas de manejo mediante el uso de herramientas informáticas.

<sup>1</sup>Peralta, Nahuel Raúl; <sup>2</sup>Castro Franco, Mauricio; <sup>3</sup>Costa, José Luis  
<sup>1</sup>CONICET. <sup>2</sup>Facultad Agronomía UNMDP. <sup>3</sup>INTA Balcarce.

## Resumen

La aplicación de prácticas de manejo sitio específico depende del conocimiento de las causas de la variabilidad espacial del rendimiento y de la disponibilidad de tecnología para aplicar dosificación variable de insumos. Nuestro objetivo fue determinar si con el uso de herramientas informáticas, podemos hacer un análisis que permita conocer la variabilidad espacial de las variables de sitio (conductividad eléctrica aparente- $CE_a$ - y profundidad del horizonte petrocalcico, localmente denominado “tosca”) para estimar la variabilidad del rendimiento de los cultivos y la delimitación de zonas de manejo homogéneo dentro del lote. Este estudio se realizó en un lote de 42 ha, ubicado en el partido de Lobería, Provincia de Buenos Aires. La  $CE_a$  y profundidad de tosca presentaron relaciones espaciales significativas con el rendimiento en grano ( $R^2=0.94$  y  $R^2=0.81$ , respectivamente). Además, permitieron delimitar tres zonas de manejo en el lote de producción, brindando la posibilidad de aplicar tecnología sitio específico.

## Abstract

The application of practices site-specific management depends on knowledge of causes yield spatial variability and availability of technology to implement input variable rate. Our objective was determine if the use of informatics tools, can do an analysis that allow know the spatial variability of site variables (apparent electrical conductivity- $CE_a$ - and deep of petrocalcic horizon, locally called “tosca”) for estimates the variability of crop yields and delimit homogeneous management zones within field. This study was conducted in a field of 42 hectares, located in the district of Lobería, Province of Buenos Aires. The  $CE_a$  and tosca depth had significant spatial relationships with grain yield ( $R^2= 0.94$  and  $R^2= 0.81$ , respectively). Also, the site variables showed potential to delimit distinct homogeneous management zones, providing the possibility to apply technology specific site.

**Palabras claves:** Agricultura de precisión, variabilidad espacial, conductividad eléctrica aparente, profundidad de tosca.

## Introducción

Desde los comienzos de la agricultura y el manejo de suelos, los productores agropecuarios han reconocido que la productividad dentro de un lote es heterogénea y que las decisiones de manejo en un área determinada dependen de sus características particulares [1]. Virtualmente todos los productores coinciden en que “lo que se debe hacer para producir depende de la ubicación en la que te encuentres en el lote”.

En las últimas décadas, con la difusión del sistema de posicionamiento global (GPS), los sistemas de información geográfica (GIS), y la tecnología de sensores; han conducido al avance de la agricultura de precisión (AP), definida como la aplicación de tecnologías y principios para manejar la variabilidad espacial y temporal asociada con los aspectos de la producción agrícola, con el propósito de mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad ambiental [2]. Un primer paso crítico en la AP, es determinar la variabilidad espacial y temporal del rendimiento de los cultivos. La misma se obtiene por medio de monitores de rendimiento, que permiten la confección de mapas digitales, permitiendo una visualización más clara de la variabilidad espacial que presenta un determinado lote de producción, pero la interpretación de estos mapas es difícil, ya que el patrón espacial de rendimiento es determinado por factores espaciales permanentes y temporales. Los atributos del terreno, las clases de erosión y las propiedades del suelo son ejemplos de factores espaciales permanentes que afectan el rendimiento del cultivo directamente o indirectamente [3]. Por otro lado, los insectos, patógenos del suelo, enfermedades y “fallas” en la siembra del cultivo son ejemplos de factores espacio temporales, que pueden afectar el

rendimiento en áreas de un año, pero pueden no encontrarse en el próximo año. Por consiguiente, se necesitan varios años de mapas de rendimiento acumulados del lote para conocer el verdadero patrón espacial del rendimiento [4] [5]. En estos mapas se puede apreciar la variabilidad de los rendimientos en el espacio, pero no indican cuáles son las probables fuentes o causas de variación del rendimiento, ni el peso de cada una de ellas, es decir, *en forma aislada, los mapas de rendimientos aportan escasa información para recomendar la delimitación de ambientes o zonas de manejo* [6], definidas como subregiones dentro de los lotes que expresan una combinación homogénea de factores determinantes del rendimiento, para los cuales resulta apropiada una proporción única de insumos [7]. Para resolver este problema, se requiere conocer y analizar la variabilidad espacial de las variables del sitio (**Conductividad Eléctrica Aparente -CE<sub>a</sub>- y profundidad de “tosca”**) que afecten la variabilidad espacial del rendimiento de los cultivos. Conocida la variabilidad de las variables de sitio y el rendimiento de los cultivos, se podría manejar al lote en zonas de manejo, logrando así, aumentar la eficiencia en el uso de insumos, mejorar la sustentabilidad de la empresa, la protección del medio ambiente y el beneficio económico al productor [8].

#### **¿Por qué la CE<sub>a</sub> es una propiedad de sitio?**

En los suelos del Sudeste Bonaerense, la CE<sub>a</sub> está influenciada por una combinación de propiedades físico-químicas del suelo, incluyendo el contenido de humedad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de materia orgánica del suelo [9][10]. Todas estas propiedades del suelo, afectan el rendimiento de los cultivos, por lo tanto, la medición georeferenciada de la CE<sub>a</sub> podría convertirse en un potencial estimador de la variabilidad espacial del rendimiento en un determinado sitio del lote [11]. Además, los sensores que miden la CE<sub>a</sub> permiten realizar la medición en el periodo de barbecho, sin necesidad de información precedente. Estos sensores pueden coleccionar gran cantidad de datos por unidad de superficie, a bajo costo, aumentando la eficiencia y la obtención de resultados inmediatos [12], con la ventaja de que esta medida resulta ser estable en el tiempo [13][14].

#### **¿Por qué la profundidad de tosca es una propiedad de sitio?**

En el Sudeste Bonaerense, los registros de precipitación varían entre años (variabilidad interanual) y a lo largo de un mismo año (variabilidad intranual) [15]. El suelo es el reservorio del agua de lluvia, utilizada por el cultivo para su crecimiento y desarrollo. La evapotranspiración potencial generalmente excede a la lluvia que se presenta durante la estación de crecimiento de los cultivos y en el periodo crítico de los cultivos [16] [17] se expresan los mayores requerimientos de agua y en condiciones de secano, si no llueve, la distribución espacial del agua acumulada en el perfil, determina la variabilidad de los rendimientos en grano de los cultivos [18], entonces es concluyente que la cantidad de agua almacenada en el suelo al momento de la siembra es un factor crítico en los cultivos de secano [19] y la capacidad de almacenaje de agua del suelo depende principalmente de la profundidad del horizonte petrocalcico, conocido localmente como “tosca” [20][21].

Debido a la escasa información de la relación entre la CE<sub>a</sub> y la profundidad de tosca con los mapas de rendimiento en el Sudeste Bonaerense, es necesario estudiar y analizar si la medición de la CE<sub>a</sub> del suelo y la profundidad de tosca a escala de campo son un potencial estimador de la variabilidad espacial del rendimiento de los cultivos y determinar si la relación espacial entre las variables de sitio y el rendimiento, permiten delimitar zonas homogéneas dentro del lote de producción. ***Esta información puede ser esencial para la delimitación de áreas de producción o zonas de manejo.***

## Materiales y Métodos

### Organización de la información

Para organizar la información, comprender la manipulación y análisis de la información se realizó un mapa conceptual (Figura 1), utilizándolo como una herramienta de asociación e interrelación, permitiendo tener un alto poder de visualización de la información a analizar.

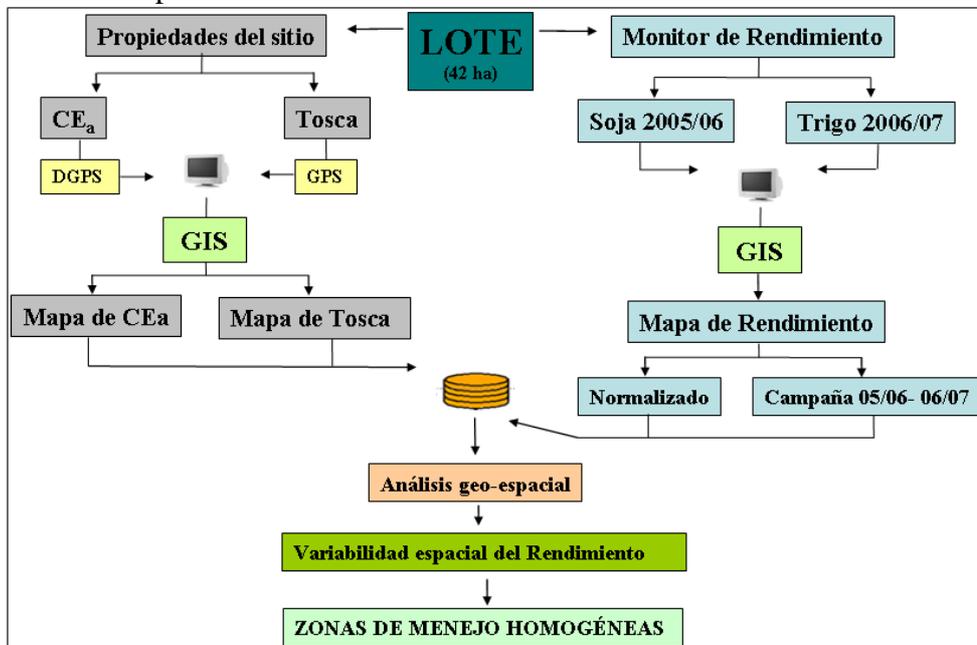


Figura 1. Mapa conceptual de las capas de datos para analizar con los SIG.

### Sitios experimentales

Esta investigación fue conducida en un lote de producción de 42 ha, ubicado en un campo en el partido de Lobería, Provincia de Buenos Aires. Los suelos predominantes de esta región pertenecen al orden de los Molisoles, gran grupo Argiudoles o Paleudoles, desarrollados sobre sedimentos loésicos, bajo régimen údico-térmico. El sitio experimental (San Antonio) esta principalmente constituido por la serie Azul (fina, mixta, térmica, Paleudol Petrocalcico) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de suelo del lote experimental.

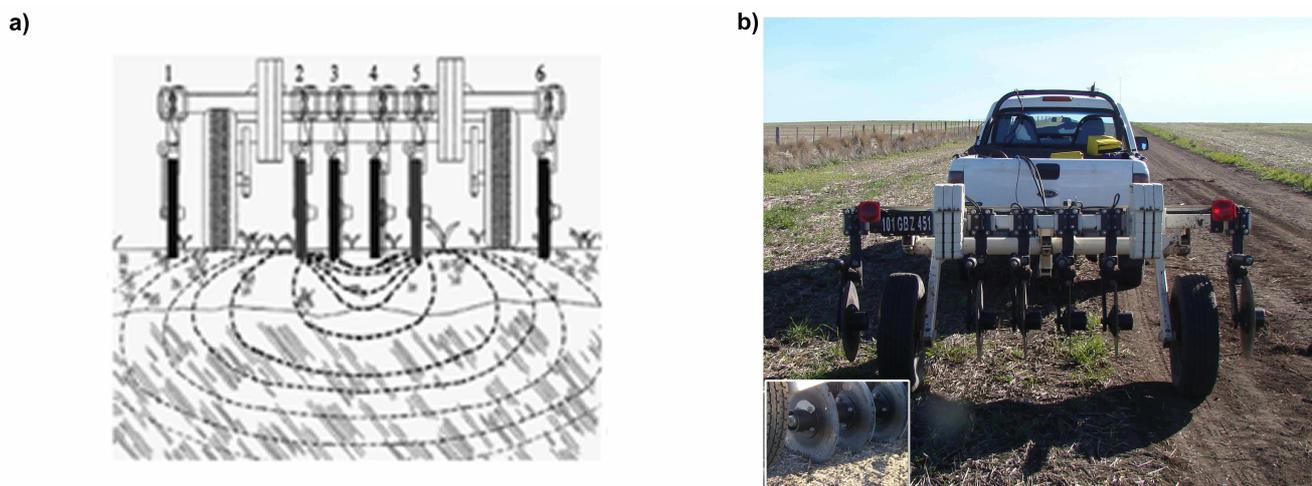
Campo	Coordenadas	Serie de suelo	Tipo de suelo*
		Clasificación de suelo	
San Antonio	59° 7'39.35"O 37°57'8.80"S	Complejo	Azul (60%) - Paleudol Petrocalcico
		Az 26	Semillero Buck (30%) - Paleudol petrocalcico
			Cinco cerros (10%) - Argiudol Litico

\* INTA Castelar (1979-1980). Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires (1:50000). Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca.

### Mapeo de la conductividad eléctrica aparente (CE<sub>a</sub>)

La medición de la CE<sub>a</sub> se realizó utilizando el Veris 3100<sup>®</sup> (Veris 3100, Division of Geoprobe Systems, Salina, KS). El Veris es un dispositivo de contacto (los electrodos están en contacto con la superficie del suelo), consta de 6 electrodos de metal en forma de discos que penetran aproximadamente 5 cm en el suelo (Figura 2). Los dos discos centrales emiten una corriente eléctrica continua y simultáneamente los otros dos pares de electrodos detectan el gradiente de corriente, dado por

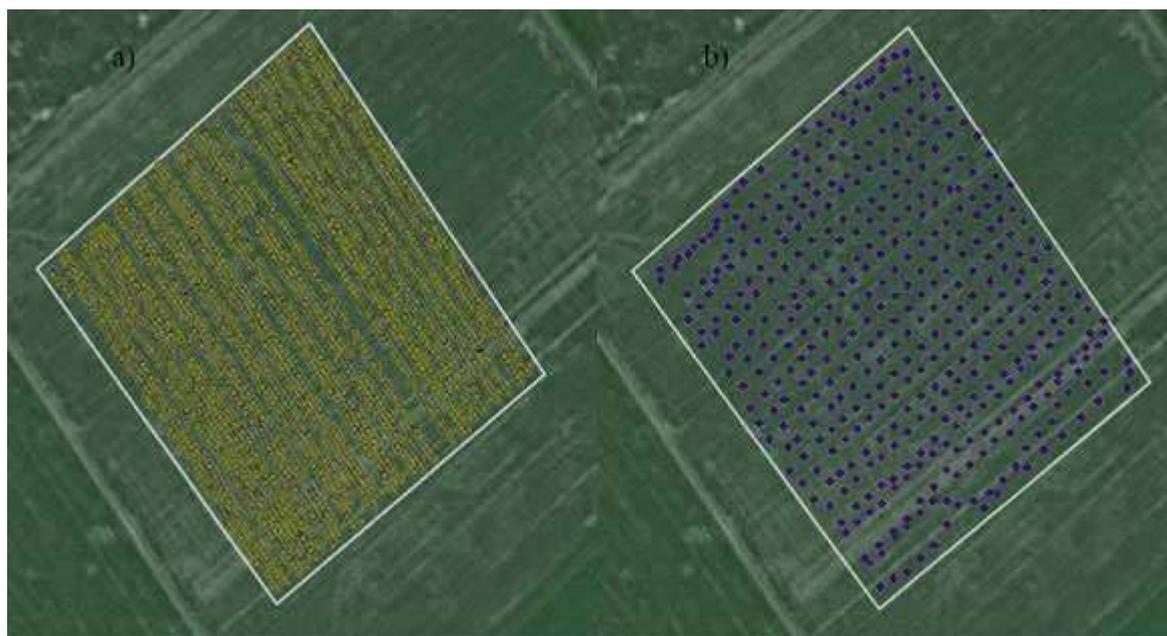
transmisión a través del suelo (resistencia). El Data Logger del Veris realiza la conversión de resistencia a conductividad ( $1/\text{resistencia} = \text{conductividad}$ ). La unidad Veris fue traccionada por una pick-up (Figura 3b) y simultáneamente fue midiendo y georeferenciando la  $CE_a$  con un DGPS (Trimble R3, Trimble Navigation Limited, USA) con una precisión de medición submétrica y configurado para tomar posición satelital cada 1-s. El dispositivo se calibró según las instrucciones del manual (Veris Technologies, 2001), previo al inicio de la recolección de datos. Para maniobrar fácilmente, los lotes se recorrieron en dirección a los surcos de siembra en transectas paralelas distanciadas entre 15-20 m (Figura 3a) porque mayores distancias a 20 m generan errores de medición y pérdida de información [14]. La velocidad promedio de avance tuvo un rango entre 15 y 20  $\text{km h}^{-1}$ .



**Figura 2.** Sistema Veris. a) Esquema del equipo Veris 3100. b) Sistema de mapeo montado detrás de una pick-up y equipado con un DGPS Trimble.

### Mapeo de la profundidad de tosca

La medición de la profundidad del horizonte petrocalcico (tosca) fueron realizadas con un muestreador hidráulico (Gidding) acoplado a un GPS (Juno ST; Trimble navigation Limited, USA). El muestreo fue en grilla de 30\*30 m (Figura 3)



**Figura 3.** a) Muestreo de la  $CE_a$ . b) Muestreo de la profundidad de tosca en una grilla de 30\*30 m.

## **Mapas de rendimiento**

Para cuantificar el rendimiento de los cultivos en las dos campañas (soja 2005/06- trigo 2006/07) se utilizó un monitor de rendimiento Ag Leader modelo yield monitor 2000 acoplado a una cosechadora John Deere 9650.

Los datos de rendimiento fueron normalizados por medio del proceso de estandarización  $(Z_i - \bar{X})/S$ , donde  $Z_i$  es el rendimiento en la localización  $i$ ,  $\bar{X}$  y  $S$  son el rendimiento y desvío estándar, respectivamente, o sea que el rendimiento normalizado tiene una distribución  $N(0,1)$ . La normalización se realizó para comparar los rendimientos de cada cultivo y disminuir el efecto de las condiciones climáticas en cada año y así, encontrar las diferentes zonas de rendimiento potencial dentro del lote [3].

## **Variabilidad espacial de la $CE_a$ , tosca y rendimiento de los cultivos**

Para describir la variabilidad espacial y elaboración de los mapas de  $CE_a$ , tosca y rendimiento de los cultivos se analizaron los semivariogramas. El mismo es una función básica que describe la variabilidad espacial de un fenómeno de interés. Esta función puede ser modelada por expresiones matemáticas, tales como modelos esférico, exponencial y gaussiano [22]. Posteriormente, se procedió a la interpolación de los datos con el procedimiento Kriging ordinario. El valor interpolado con este método carece de sesgo (ya que la interpolación de las variables en un punto medido devuelve el valor de la variable en ese punto con un error de estimación nulo), posee varianza mínima y su metodología de interpolación consiste en asignar distintos pesos de ponderación a las variables de las que dispone, los cuales dependen directamente de la variabilidad espacial [22].

## **Distribución espacial de la $CE_a$ , tosca y rendimiento de los cultivos**

Los datos de latitud y longitud del DGPS obtenidos en el campo, fueron procesados por el Trimble Business Center v1.11 (Trimble Engineering, USA) y los datos del GPS con el Pathfinder Office v3.1 (Trimble Engineering, USA) para corregir los errores de medición y así, aumentar la precisión de los datos. Todas las capas de datos (variables de sitio y rendimiento) en el campo fueron colectadas en coordenadas geográficas y con la utilización del software Global Mapper v10.02 se pasaron a coordenadas planas (POSGAR 94).

Para la organización, manipulación y visualización gráfica de los datos, se utilizaron sistemas de información geográficos y se realizaron mapas de contorno para cada una de las variables del sitio y rendimiento en grano de los cultivos. Los programas utilizados fueron: ArcGIS v9.3.1 (Environmental System Research Institute Inc. (ESRI), Redlands, CA, USA); Google Earth v6.0 y Global Mapper v10.02.

Se realizó una reclasificación de todas las capas de datos utilizando el comando Reclass de la herramienta Spatial Analyst de ArcGIS v9.3.1

## Zonas de Conductividad Eléctrica aparente, profundidad de tosca y rendimiento

Los valores y amplitud de las zonas se clasificaron en cuantiles de áreas iguales usando el Geostatistical Analyst en ArcGIS 9.3.1 (Environmental System Research Institute, Redlands, CA) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Superficie y rango de las zonas de las variables de sitio y rendimiento de los cultivos.

Zonas	Superficie	Variables de sitio		Rendimiento		
	(ha)	CE <sub>a</sub>	Tosca	Soja 2005/06	Trigo 2006/07	Normalizado
		(mS/m)	(cm)	(tn)	(tn)	
Baja	14	17- 26	20- 55	0.9- 1.6	2.3- 3.3	-2 - -0.5
Media	14	26- 35	55- 95	1.6- 2.0	3.3- 4.0	-0.5 - 0.4
Alta	14	35- 50	95- mas 100	2.0- 2.9	4.0- 5.6	0.4 - 2

### Análisis estadístico

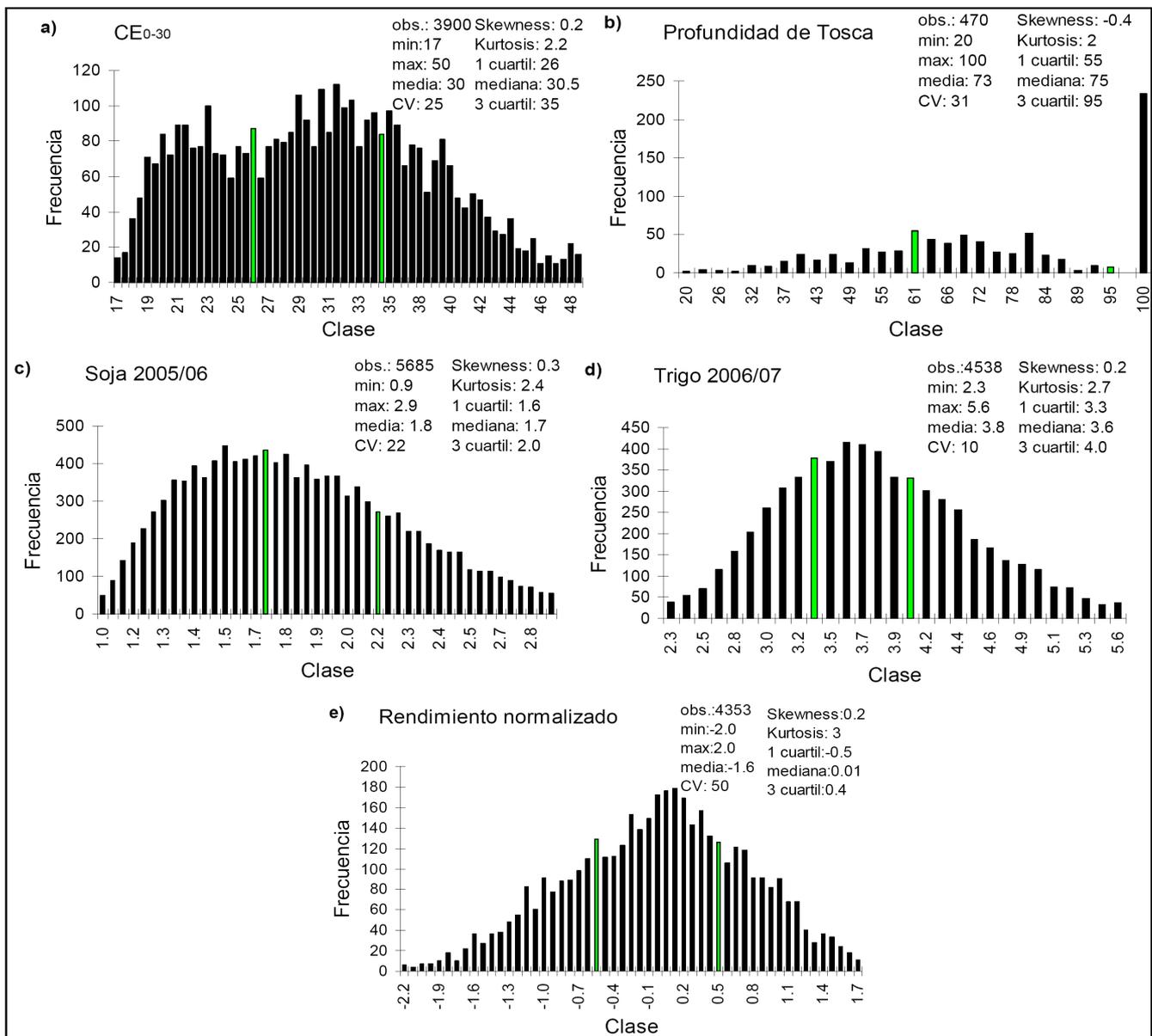
Se calcularon estadísticos descriptivos para las variables de sitio y rendimiento por medio del procedimiento MEANS (SAS Institute, 2002) y regresiones simples utilizando el procedimiento REC (SAS Institute, 2002).

Se realizó una comparación en las diferencias en los promedios de las variables de sitio y rendimiento en cada una de las zonas (baja- media- alta) utilizando el ANOVA del procedimiento GLM (SAS Institute, 2002) y se realizó la comparación de medias con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ , utilizando la prueba de mínima diferencia significativa (MDS).

### Resultados y Discusión

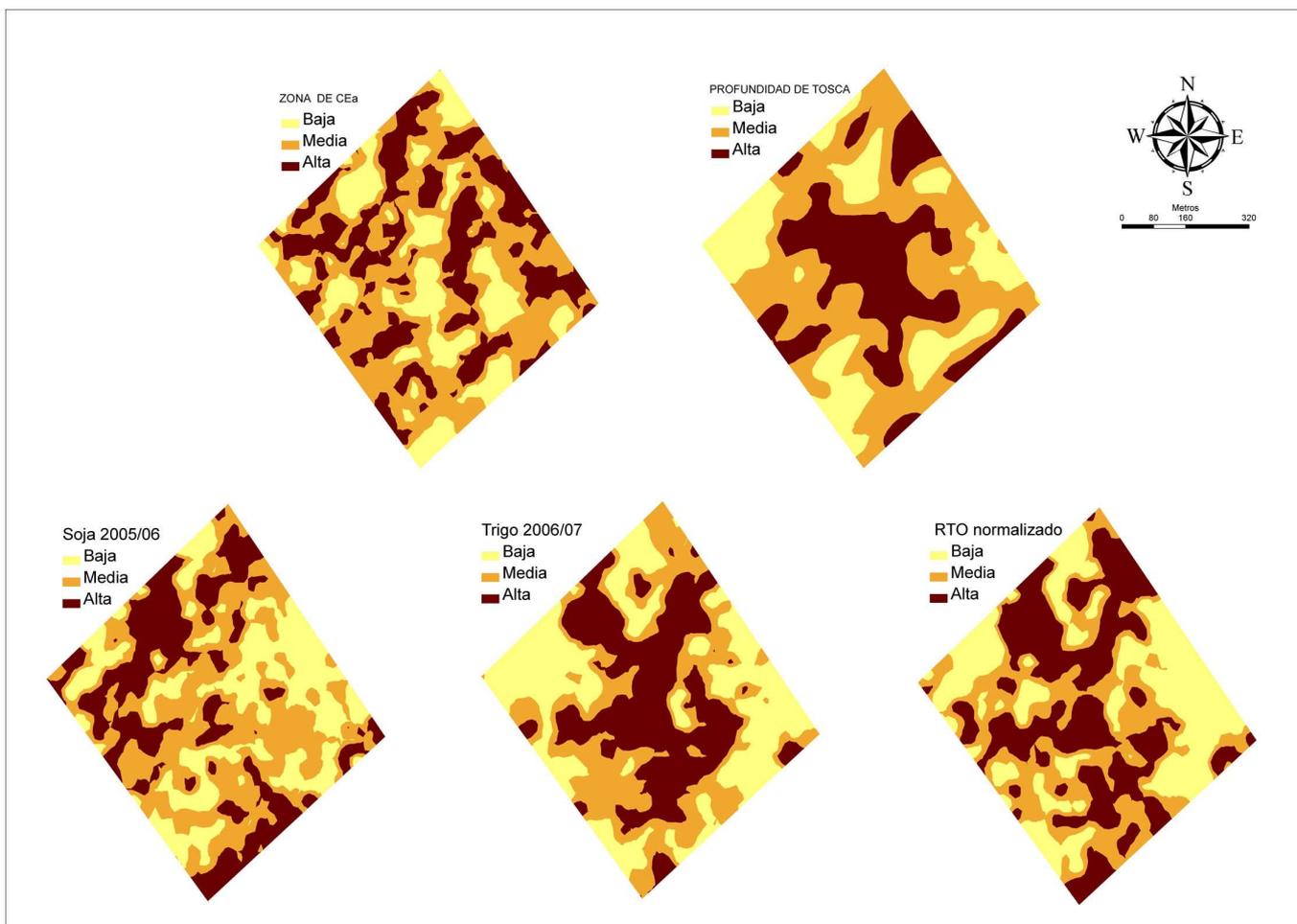
El análisis estadístico descriptivo se realizó para conocer la variación de las variables de sitio y el rendimiento de los cultivos (Figura 4). La CE<sub>a</sub> tuvo un CV de 25% y la profundidad de la tosca de 31%. El rendimiento de trigo presentó un CV bajo (10%), mientras que el rendimiento normalizado fue 50% y el de soja fue 22%, indicando existencia de variabilidad.

El análisis gráfico de estos datos a partir de histogramas muestra que todas las capa de datos estuvieron concentrados cerca del valor medio, indicando la presencia de normalidad de los datos, no así para la profundidad de tosca, que presentó una distribución no-normal (Figura 4). A partir de estos histogramas se determinaron las tres zonas en cuantiles (barras verdes, Figura 4) de áreas iguales. Investigaciones previas en diferentes suelos recomiendan la división en tres zonas homogéneas porque muy poca información es obtenida usando un número mayor de zonas [23].



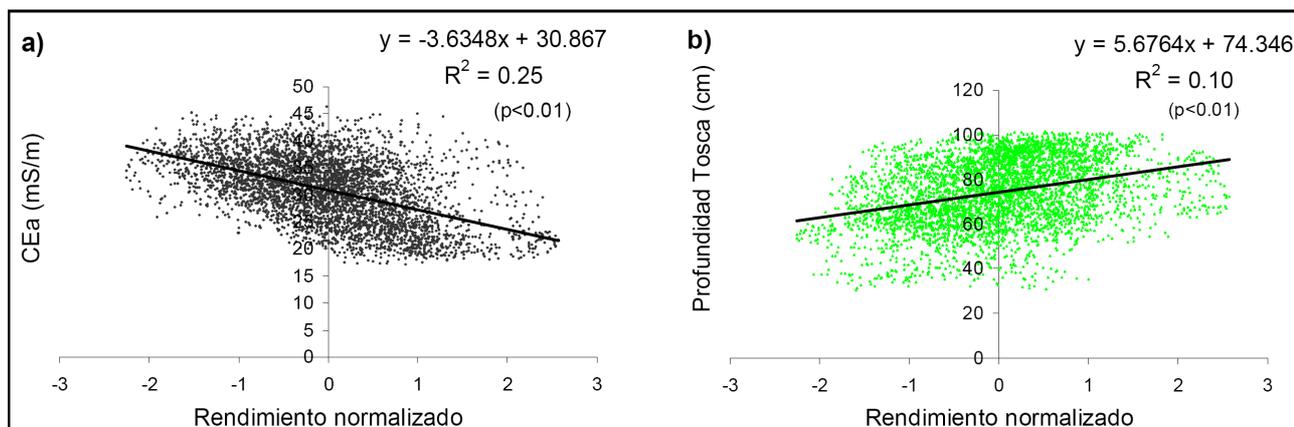
**Figura 4.** Histogramas y estadísticos descriptivos de: **a)** CE<sub>a</sub>, **b)** Profundidad de tosca, **c)** Rendimiento soja 2005/06, **d)** Rendimiento trigo 2006/07, **e)** Rendimiento normalizado.

Una vez determinadas las tres zonas de manejo potencial del lote, se escogió el semivariograma esférico porque describió mejor la variabilidad espacial de las variables de sitio y rendimiento, ya que presentó el menor cuadrado medio de error (datos no mostrados), resultado asociado a una mejor estimación de los datos y se elaboró los mapas de contorno de todas las capas por medio de la interpolación con el método Kriging mediante la herramienta Análisis Geoestadístico de Arc Gis 9.3.1. En estos mapas se puede observar visualmente que existe variabilidad espacial en el lote analizado (Figura 5). Esta posibilidad brinda una base efectiva para poder delimitar zonas de manejo y ofrecer un marco de trabajo muy útil para el muestreo de suelo, reflejando la heterogeneidad espacial [ 24].



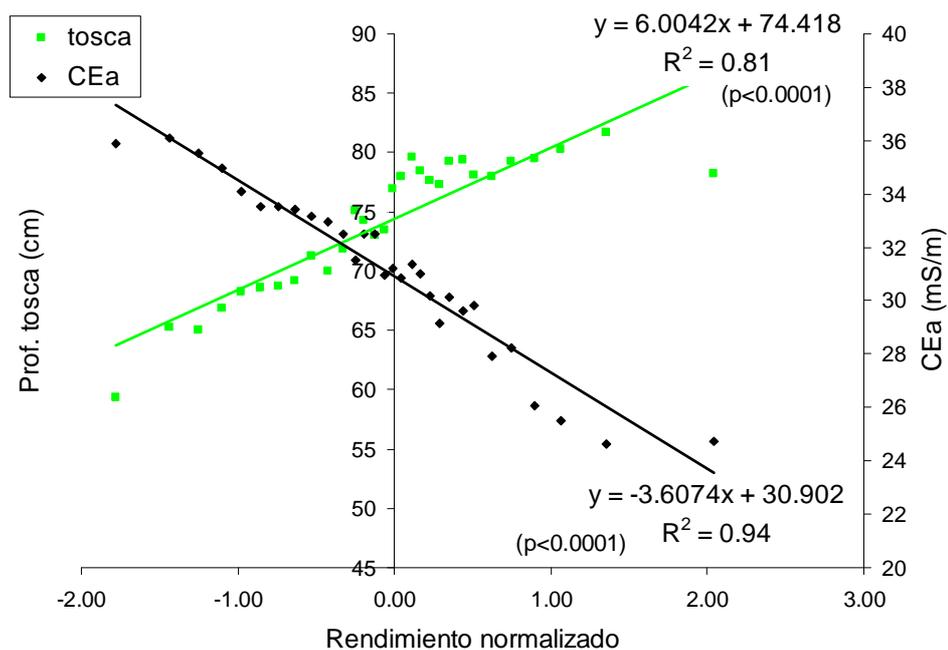
**Figura 5.** Mapas de contorno de las variables de sitio y rendimiento de los cultivos.

Para determinar si la variabilidad espacial de los mapas de contorno de las capas de datos que observamos visualmente (Figura 6) están correlacionadas, se realizó un análisis de regresión (Figura 6) ya que es frecuentemente utilizado en la AP para analizar las relaciones entre las variables de sitio y el rendimiento de los cultivos [11] [25]. Para realizar este análisis se procedió a la elaboración de un mapa de inventario, el cual consistió en una grilla de 10\*10 m, donde cada punto tuviera la información de todas las capas.



**Figura 6.** Regresión con todos los datos (grilla 10\*10) entre: **a)**  $CE_a$  y rendimiento normalizado. **b)** Profundidad de tosca y rendimiento normalizado.

Observamos que la  $CE_a$  y la profundidad de tosca presentaron una regresión significativa ( $p < 0.01$ ), pero solo pudieron explicar una escasa variación en el rendimiento (25% y 10%, respectivamente), esto es debido a la gran cantidad de datos que permitieron formar una “nube de puntos” [6], generando que la información sea incomprensible y difícil de manejar. Por lo tanto, se requiere de “**técnicas de reclasificación**” de datos espaciales de modo que se generen **mapas de reclasificación** con menor cantidad de datos, sin perder información y representatividad. Esta técnica consiste en reclasificar la información en unidades representativas de todos los datos. Este tipo de mapas permite trabajar la información a la misma escala y permite aplicar métodos de clasificación que facilitan la correlación espacial de todas las variables. De esta manera, desde los **mapas de reclasificación** evaluamos la regresión espacial entre las variables de sitio con el rendimiento normalizado, pasando de tener 4020 datos (Figura 6) a solo 30 datos (Figura 7).



**Figura 7.** Regresión entre las variables de sitio y el rendimiento en grano normalizado. Cada punto es un rango.

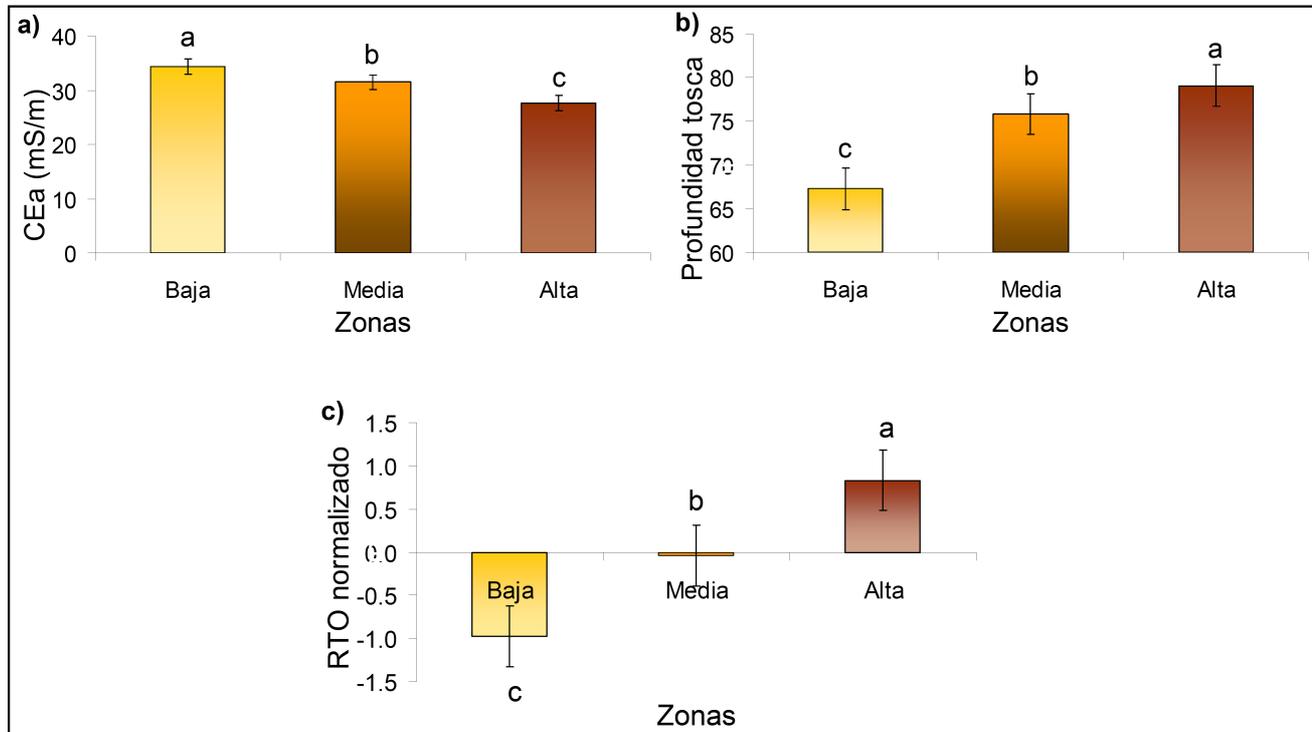
En este nuevo modelo (Figura 7), la  $CE_a$  presentó una correlación significativa y negativa ( $p < 0.0001$ ;  $R^2 = 0.94$ ) permitiendo explicar el 94% de la variación espacial del rendimiento normalizado. Nosotros esperábamos encontrar correlación positiva, ya que la  $CE_a$  en los suelos del Sudeste Bonaerense presenta correlaciones significativas y positivas con el contenido de humedad del suelo ( $r = 0.69$ ), capacidad de intercambio catiónico ( $r = 0.57$ ) y contenido de materia orgánica ( $r = 0.47$ ), factores de suelo que determinan la productividad del lote y afectan el rendimiento de los cultivos [9][10]. Nosotros especulamos que la alta  $CE_a$  en este lote, se asoció con factores como pobre drenaje interno y altos contenidos de arcilla en el subsuelo que restringió el crecimiento de las raíces [25].

Como se puede observar, la relación entre  $CE_a$  y rendimiento del cultivo es muy compleja ya que además de la condición del suelo; influyen en la misma el clima, historia de manejo y adversidades. Para un lote en particular podrían uniformizarse todas estas cuestiones, y atribuir la variación en rendimiento solamente a la variabilidad de parámetros de suelo intra-lote. A partir de esto, se hace necesario establecer las propiedades de suelo que tienen mayor influencia en las mediciones de  $CE_a$  a campo, por ende, es necesario realizar un muestreo de suelo para establecer cuáles de esas propiedades están influenciando el rendimiento de los cultivos [26].

La variabilidad espacial de la profundidad de tosca presentó una correlación significativa y positiva con el rendimiento normalizado ( $R^2 = 0.81$ ), permitiendo explicar el 81 % de la variación (Figura 7). La

profundidad del suelo representa un factor limitante para la producción de cultivos porque limita la penetración de las raíces en el perfil del suelo y reduce la capacidad de almacenamiento de agua [27] [28]. Esto demuestra claramente, la importancia de la profundidad del suelo sobre la capacidad de almacenaje del mismo y, en efecto sobre el rendimiento del cultivo [29] [30].

Para evaluar si las delimitaciones del lote en tres zonas de manejo potenciales presentan diferencias en los valores de profundidad de tosca,  $CE_a$  y rendimiento normalizados, comparamos los promedios de las variables de sitio y rendimiento utilizando el ANOVA de PROC GLM (Figura 8).



**Figura 8.** Promedio de las capas de datos para cada zona de manejo. Letras minúsculas iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). MDS: mínima diferencia significativa. a) Conductividad eléctrica aparente (MDS= 1.37). b) Profundidad de tosca (MDS=1.37). c) rendimiento normalizado (MDS=0.35).

El promedio de las variables de sitio y el rendimiento normalizado presentaron diferencias significativas para cada zona de manejo potencial ( $p < 0.05$ , Figura 8), mostrando que las zonas tienen un potencial de producción diferente, brindando la posibilidad de aplicar manejo diferencial.

## Conclusiones

El uso de herramientas informáticas permitió determinar y conocer que la variabilidad espacial de la  $CE_a$  y la profundidad de tosca permitieron explicar la variación del rendimiento en grano de los cultivos y permitieron delimitar zonas de manejo potenciales a partir de sus mapas geo-referenciados. El análisis de “técnicas de reclasificación” fue un efectivo método para encontrar asociaciones espaciales a escala de lote de producción.

Estos resultados sugieren que la asociación espacial entre los mapas de  $CE_a$  y profundidad de tosca con los mapas de rendimiento, permitirían implementar prácticas de manejo sitio-específico, aumentando la eficiencia en el uso de insumos, mejorando la rentabilidad de la empresa y la protección del medio ambiente. Pero hay que considerar que si bien los mapas de  $CE_a$  están relacionados espacialmente al rendimiento de los cultivos, no indican que propiedades de suelo están afectando su variabilidad. Por lo tanto, es necesario llevar adelante un diseño de muestreo de suelo por zonas, para determinar que atributos de suelo afecta a la variabilidad del rendimiento.

## Agradecimientos

Nosotros queremos agradecerle a Ing. Agr. Tomas Gowland por ayudarnos en la recopilación de los datos y por brindarnos el campo donde se realizó este trabajo, y a Hernán Angelini por la edición de las figuras.

## Referencias

- [1] Bullock, D.S.; Kitchen, N.; Bullock, D.G. 2007. Multidisciplinary Teams: A Necessity for Research in Precision Agriculture Systems. *Crop Sci.* 47:1765–1769.
- [2] Pierce F.J.; Nowak, P. 1999 Aspects of precision agriculture. p 1-85. “In” D. Spark (Ed) *Advance in Agronomy*. 67. Academic Press.
- [3] Kravchenko, A.N.; Bullock, D.G. 2000. Correlation of corn & soybean grain yield with topography & soil properties. *Agron. J.* 92:75–83.
- [4] Sudduth, K. A.; Drummond, S. T.; Birrell, S. J.; Kitchen, N. R. 1997. Spatial modeling of crop yield using soil & topographic data. In: *Precision Agriculture '97: Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture*, edited by J. V. Stafford (BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK), p. 439–447.
- [5] Lark, R. M.; Stafford, J.V. 1998. Information on within-field variability from sequences of yield maps: multivariate classification as a first step of interpretation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50, 271–281.
- [6] Lund, E. D.; Colin, D. C.; Drummond, P. E. 2000. Using Yield and Soil Electrical Conductivity (EC) Maps to Derive Crop Production Performance Information. 5th International Conference on Precision Agriculture.
- [7] Doerge, T. A, 1999. Management zone concepts. SSMG-2. In: *Information Agriculture Conference*, August 9-11, 1999, Stewart Center, Purdue, IN.
- [8] Dinnes, D.L; Karlen, D.L; Jaynes, D.B; Kaspar, T.C; Hatfield, J.L; Colvin, T.S.; Cambardella, C.A. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agron. J.* 94:153–171.
- [9] Peralta N. R., Costa, J. L. y Angelini H. 2010. Relación entre la variabilidad espacial de la Conductividad Eléctrica Aparente y el contenido de agua del suelo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe, Argentina. AACCS pag 24.
- [10] Peralta N. R., Costa, J. L. y Calandroni M. 2010. Relación entre la variabilidad espacial de la Conductividad Eléctrica Aparente y algunas propiedades del suelo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe, Argentina. AACCS pag 24.
- [11] Corwin, D.L; Lesch, S.M.; Oster, J.D.; Kaffka S.R. 2006. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *Geoderma* 131: 369–387.
- [12] Sudduth, K.A.; Kitchen, N.R.; Bollero, G.A.; Bullock, D.G.; Wiebold, W.J. 2003. Comparison of Electromagnetic Induction & Direct Sensing of Soil Electrical Conductivity. *Agron. J.* 95:472–482.
- [13] Veris technologies. 2001. Frequently asked questions about soil electrical conductivity. [http:// www.veristech.com](http://www.veristech.com). Veris Technologies, Salina. KS. Acceso 25 de April de 2011.
- [14] Farahani, H.J.; Flynn, R.L. 2007. Map Quality & Zone Delineation as affected by Width of Parallel Swaths of Mobile Agricultural Sensors. *Precision Agric* 96 (2), 151–159.
- [15] Krüger, H.; Venanzi S. 2009. El agua y el rendimiento del trigo. Algunos cálculos. <http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/hugo/nompublic.htm>.
- [16] Abbate, P. E.; Andrade, F. H.; Culot, J. P.; Bindraban, P.S. 1997. Grain yield in wheat: effect of radiation during spike growth period. *Field Crops Research*. 54: 245-257.

- [17] Andrade, F.H. 1995: Analysis of growth & yield of maize, sunflower & soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*. 41:1-12.
- [18] Villar J. 2001. Economía del agua en el cultivo de trigo. Información técnica de Trigo. Campaña 2000. INTA EEA.
- [19] Jordan, W.R. 1983. Whole plant responses to water deficits: An overview, pp. 289-317. In Taylor H M, WR Jordan, TR Sinclair (Eds.). *Limitations to efficient water use in crop production*. ASA-CSSA-SSSA. Madison.
- [20] Buschiazzo, D. 1986. Estudio sobre la tosca. Parte I: Evidencias de un movimiento descendente del carbonato en base a la interpretación de características macro y geomorfológicas. *Ciencia del Suelo* 4:55-65.
- [21] Pazos, M.S.; Mestelan, S.A. 1996. Relevamiento del nivel de P disponible, pH Y Materia Orgánica en el Centro de la Provincia de Buenos Aires. *INPOFOS* 14:8-11.
- [22] Vieira, S. R. 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS. R.F. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. pp. 3-87.
- [23] McMillan, R.A., Pettapiece, W.W., Watson, L.D. and Goddard, T.W. (1998). A landform segmentation model for precision farming. In: Robert, P.C.; Rust, R.H.; Larson, W.E. (Eds.). 1998. *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture*. St. Paul, MN, 19-22 July 1998. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 1335-1346.
- [24] Johnson, C. K., Doran, J.W., Wienhold, B.J. and Shanahan, J.F. (2001). Field-Scale Electrical Conductivity Mapping for Delineating Soil Condition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65,1829-1837.
- [25] Kitchen, N.R., Drummond, S.T., Lund, E.D. and Sudduth, K.A. (2003). Soil Electrical Conductivity and Topography Related to Yield for Three Contrasting Soil-Crop Systems. *Agron. J.*, 95, 483-495.
- [26] Corwin, D.L. and Lesch, S.M. (2005). Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46,103-133.
- [27] Pazos, M.S. 1990a. Some features & processes associated with the caliche under humid climate, Balcarce, Argentina. *Pedologie* 40:141-154.
- [28] Pazos, M.S. 1990b. El horizonte alfa: una capa desarrollada en la interfase suelo-tosca. *Ciencia del Suelo* 8:75-78.
- [29] Calviño, P. A.; Andrade, F. H.; Sadras, V. O. 2003. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, & Crop Management. *Agron. J.* 95:275-281.
- [30] Alvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *Europ. J. Agronomy* 30 : 70-77.

#### **Datos de contacto**

Nahuel Peralta, CONICET- INTA Balcarce, Ruta 226 Km 73.5, Balcarce (7620), Provincia de Buenos Aires, Argentina.  
[nperalta@balcarce.inta.gov.ar](mailto:nperalta@balcarce.inta.gov.ar) ó [nperalta21@gmail.com](mailto:nperalta21@gmail.com)