

Uso de herramientas geomáticas para el análisis de la relación espacio temporal entre rendimiento y topografía, para la determinación de zonas de manejo homogéneo.

¹Castro Franco, Mauricio; ²Peralta, Nahuel Raúl; Costa, José Luis³
¹Facultad Agronomía UNMDP. ²CONICET. ³INTA Balcarce.

Resumen

La aplicación de agricultura de precisión (AP) debe generar conocimiento agronómico que permita la optimización en la gestión de insumos y producciones más sostenibles. Los mapas de rendimiento son la base de la AP y no se ha profundizado una metodología para su análisis espacio temporal. La topografía genera información auxiliar que puede llegar a determinar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo y rendimiento. Se propone el uso de herramientas geomáticas interactivas de análisis espacio temporal, para establecer las relaciones entre la topografía y el rendimiento. La aplicación del análisis de la relación topografía rendimiento, teniendo en cuenta análisis de suelos, cultivo y precipitación, sugieren 4 zonas de manejo homogéneo.

Palabras Clave: Agricultura de precisión, zonas de manejo homogéneo, análisis espacial exploratorio, topografía, mapas de rendimiento.

Introducción

Con el avance de los sistemas de posicionamiento global (GPS), los equipos de generación de información espacial de cultivo y suelos, los sistemas de información geográfica (SIG) y la maquinaria de aplicación variable de fertilizante y semillas, se está generando una cantidad considerable de datos alfanuméricos y espaciales que deben convertirse en conocimiento agronómico que permita la optimización de la gestión de cultivos y la búsqueda de sistemas de producción sostenibles [1].

Los mapas de rendimiento desempeñan un papel muy importante en el proceso de toma de decisiones por parte del productor que adopta prácticas de agricultura de precisión (AP). En la actualidad, con el creciente uso de monitores de rendimiento [2][3], es normal encontrar en un mismo lote, datos de monitoreo y mapeo de rendimiento de varias campañas de cultivos. Así mismo, muchos productores y técnicos que disponen de estos datos, no saben cómo interpretarlos y hacer uso de ellos, y los investigadores que los usan, aplican enfoques diferentes de análisis e interpretación.

Dos tipos de variabilidad deben ser identificadas con los mapas de rendimiento. El primer tipo es la variabilidad espacial, la cual consiste en identificar los cambios significativos del rendimiento en toda la superficie del lote, y el segundo tipo es la variabilidad temporal, en la cual se identifican los cambios de la variabilidad espacial en el tiempo [3].

La estabilidad de la variabilidad temporal del rendimiento puede tener profundas implicaciones en el uso de AP. Cuando la variabilidad temporal es mayor a la espacial, se aumenta el riesgo económico y ambiental, para lo cual no es adecuado aplicar AP [4][5]. Se hace necesario entonces, establecer técnicas de análisis conjunto espacio-temporales del rendimiento, que permitan identificar patrones para evaluar la viabilidad de la aplicación de AP.

La variabilidad del rendimiento es una función conjunta y dinámica de factores que incluyen, propiedades de suelo, topografía, clima, factores biológicos y antecedentes de manejo del lote [9]. Al mismo tiempo que se ha avanzado en la identificación de la variabilidad del rendimiento, ha surgido interés, por parte de productores y técnicos, en determinar la variabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo. En la actualidad, la identificación de estas, cuenta con poca oferta de técnicas baratas, de fácil acceso y de rápida medición. Métodos eficientes para determinar la variabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo son requeridos para la implementación de la AP [8].

La topografía, es un ejemplo de información auxiliar que puede reflejar diferentes niveles de variabilidad espacial de propiedades del suelo [6][7]. Las relaciones entre topografía y rendimiento a pequeña escala han sido estudiadas ampliamente [9] y los datos de topografía son fáciles, baratos y rápidos de obtener en comparación con las propiedades de suelo.

La geomática tiene por objeto la administración y estructuración de los datos con referencia espacial e integra las ciencias y tecnologías ligadas a su almacenamiento, tratamiento y difusión [2]. Gracias a la amplia disponibilidad de herramientas geomáticas, el análisis espacial puede llevarse a cabo dentro de una surtida gama de resoluciones e integraciones espaciales [12]. La AP requiere de una optimización en el uso de herramientas geomáticas para hacer análisis espacial exploratorio, de modo que les permita a los productores y técnicos identificar e integrar la localización, distribución, asociación, interacción y evolución de datos de variables agronómicas.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación espacio-temporal del rendimiento y la topografía, mediante el uso de herramientas geomáticas, para la implementación de AP a escala de lote.

Materiales y métodos.

El presente trabajo se realizó en un lote de 28 has, en el Departamento de la Unión – Córdoba, (33°31'34.77" S 62°53'46.40" O). Los suelos pertenecen a la Serie Canals, con una Capacidad de Uso III sc., los cuales tienen limitaciones moderadas por sequías y se caracterizan por ser excesivamente drenados, arenosos y con baja retención de humedad [13]. La precipitación media mensual de los años 2006, 2008 y 2009 fue obtenida a través de la red meteorológica de la EEA INTA Marcos Juárez [11].

Los datos de rendimiento fueron recolectados entre 2006 y 2009, para cultivos de Soja y Maíz, a través de monitores de rendimiento instalados en las cosechadoras.

Para la medición de altimetría se establecieron transectas de muestreo cada 20 m distribuidas en toda la superficie del lote y se utilizó el equipo GPS Trimble® R3 con corrección diferencial [14], posteriormente los datos fueron interpolados con aplicaciones geoestadísticas [15], mediante el procedimiento Geostatistical Analyst® ArcGis 9.3.1 [16].

Para la elaboración del Modelo Digital de Elevación (MDE) se utilizó el proceso TIN Create del software Arc Scene 9.3 [17]. Una vez elaborado, se procedió a realizar un análisis de perfiles altimétricos a través de cuatro transectas, las cuales abarcaron toda la superficie en los cuatro puntos cardinales dentro del lote.

De acuerdo con las zonas altimétricas identificadas, se obtuvieron 16 muestras de suelos representativas de cada zona. El análisis de las muestras se llevo a cabo en el Laboratorio de Análisis de Suelos de AGD – Sede La Carlota. La descripción de la variabilidad de los resultados de los análisis de suelos, se llevó a cabo mediante el proceso PROC UNIVARIATE del paquete estadístico SAS [18].

Para la caracterización de las relaciones espacio temporales, se elaboró una grilla de 10 x10 m. En cada punto de la grilla, se tomo la referencia de altimetría y rendimiento. Paso seguido, se aplicaron procedimientos de análisis para (I) relaciones espaciales entre la topografía y el rendimiento, (II) relación temporal del rendimiento, (III) relación espacial pendiente del terreno rendimiento y (IV) distribuciones espaciales de las relaciones entre topografía y rendimiento.

El análisis de las relaciones espacio temporales entre topografía y rendimiento, y la relación temporal del rendimiento se elaboraron mediante el procedimiento Explore → Scatter plot (gráfica de dispersión espacial), del software Geoda [10]. Este procedimiento se aplicó para todos los datos de rendimiento en todas las campañas.

Las distribuciones espaciales de las relaciones entre topografía y rendimiento se elaboraron mediante el procedimiento Explore → Conditional Plot, del mismo software.

Resultados y discusión

- **Precipitación.**

De acuerdo a la media mensual histórica entre 1935-2005 (81 mm), en la zona existe una marcada predominancia de precipitación en la primavera, verano y otoño, con una fuerte disminución en el invierno [11]. En la figura 1 se muestra la precipitación media mensual de 2006, 2008 y 2009. Como se observa, el año con más precipitación fue el 2006, con una media anual de 72 mm, mientras que para 2008 y 2009 fue de 44 y 62 mm respectivamente.

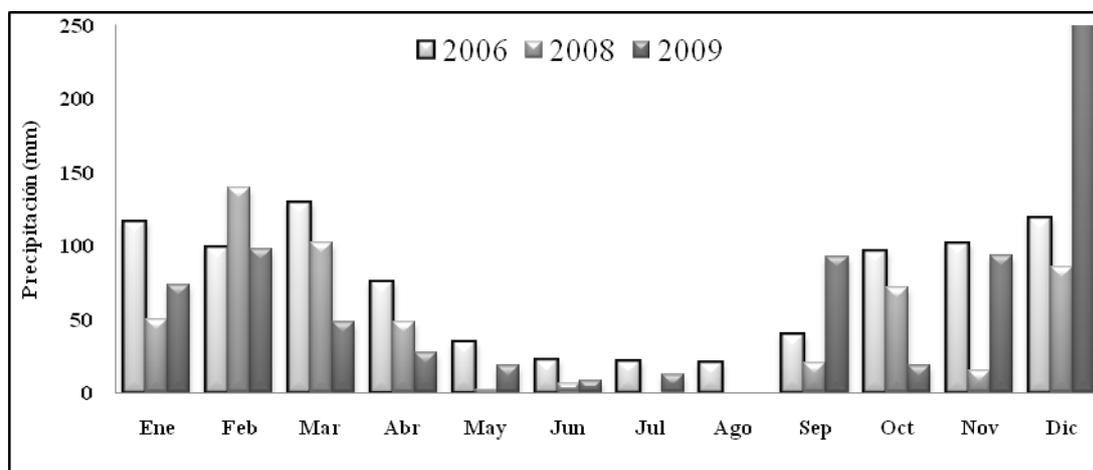


Figura. 1 Precipitación Media Mensual de 2006, 2008 y 2009. Canals – Córdoba.

El año 2008 fue especialmente seco registrándose entre septiembre y diciembre 191 mm, mientras que para el mismo periodo en 2006 y 2009, fue de 364 y 467 mm

respectivamente. Entre enero y marzo se registró un acumulado de 343 mm para 2006, mientras que para 2008 y 2009 fue de 291 y 218 mm respectivamente.

Teniendo en cuenta la baja retención de agua que tienen los suelos de la Serie Canals, el régimen pluviométrico presentado favoreció el crecimiento y desarrollo del cultivo del maíz para la campaña 2005-2006. Para esta zona, el periodo crítico de determinación de rendimiento para el maíz y la soja, se presenta en las primeras semanas de enero y teniendo en cuenta que en el año 2006 el mes de enero registró las mayores precipitaciones de los tres años analizados, podemos concluir que el cultivo posiblemente no tuvo limitante hídrica durante esta etapa. Para los años 2008 y 2009, a pesar de que llovió durante la etapa crítica de determinación del rendimiento, la misma no es suficiente para llegar a la conclusión anterior. En el segundo semestre de 2008 al ser especialmente seco, pudo tener un efecto en las primeras etapas vegetativas del cultivo de soja, lo cual pudo afectar el crecimiento y posiblemente no llegar a cubrir el 95% de interceptación de la radiación durante el periodo crítico del cultivo [22].

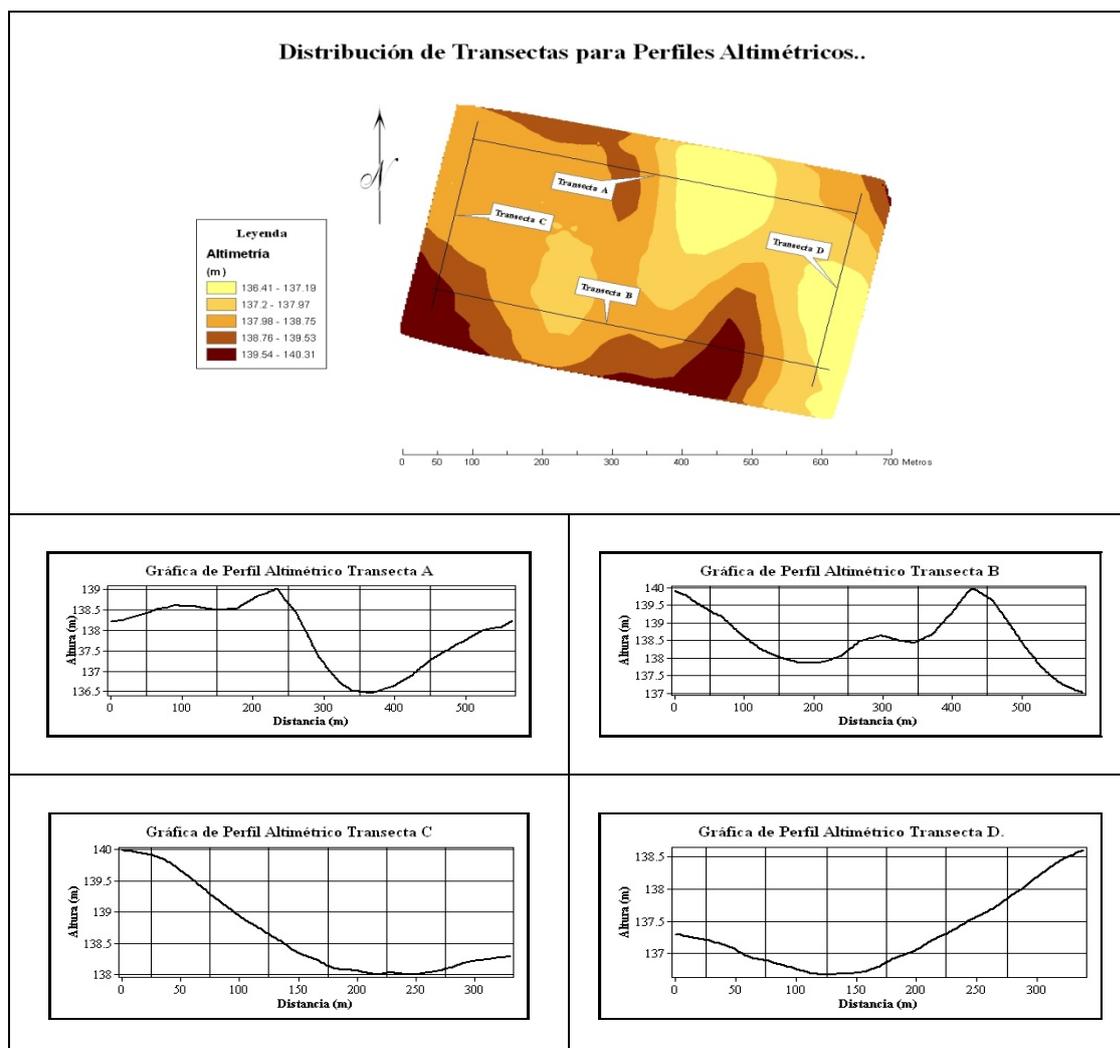


Figura. 2 Distribución de perfiles altimétricos por transectas. (A.) Norte, (B.) Sur, (C.) Oeste y (D.) Este. El trayecto de cada transecta está debidamente señalado.

La variabilidad temporal del rendimiento tiene una fuerte dependencia de las condiciones climáticas de crecimiento y desarrollo del cultivo [21]. Las variaciones espacio temporales en la relación topografía rendimiento están asociadas a la prevalencia de las precipitaciones durante el periodo inicial de crecimiento y al periodo crítico de rendimiento, esto se da de manera reiterada en cultivos con poca plasticidad vegetativa, como por ejemplo en el maíz [22].

- **Altimetría.**

La diferencia altimétrica encontrada fue de 4 m. La altura mínima es de 136.45 m, mientras que la máxima es de 140.36 m. La altura media es de 138.21 m y la desviación fue de 0.88.

En la caracterización de los perfiles altimétricos con 4 transectas distribuidas por toda la superficie del lote, se observa que el comportamiento de los perfiles, de acuerdo con el sentido de las transectas, es diferente (Figura 2). En la transecta A, la cual abarca toda la zona norte del lote, se observan cambios en altura hasta los 2.5 m, en la zona Nor-Oeste del lote, no se observan cambios mayores, mientras que en la parte Centro - Norte se observan cambios bruscos de la altura en solo 100 m de distancia; en la parte Nor-Este se marca una zona cóncava pronunciada. En la transecta B o trayecto sur del lote, en los primeros 350 m se observa cambios menores a 2 m en altura, mientras que en la zona Sur-Este, a partir de los 400 m de distancia, se resalta un pronunciado ascenso de la altura. En la transecta C o zona oeste del lote, a 200 m de distancia se marca un pronunciado descenso de la altura, a partir de allí, no se registran cambios importantes. En la transecta D o zona Este, se presenta un comportamiento contrario a la zona Oeste, ya que a partir de los 200 m de distancia la altura aumenta.

- **Muestreo y Análisis de suelos.**

Para la localización de puntos de muestreo de suelos se tuvo en cuenta los perfiles altimétricos y el modelo digital de elevación (MDE), este último generado a partir de la medición de altimetría (Figura 3).

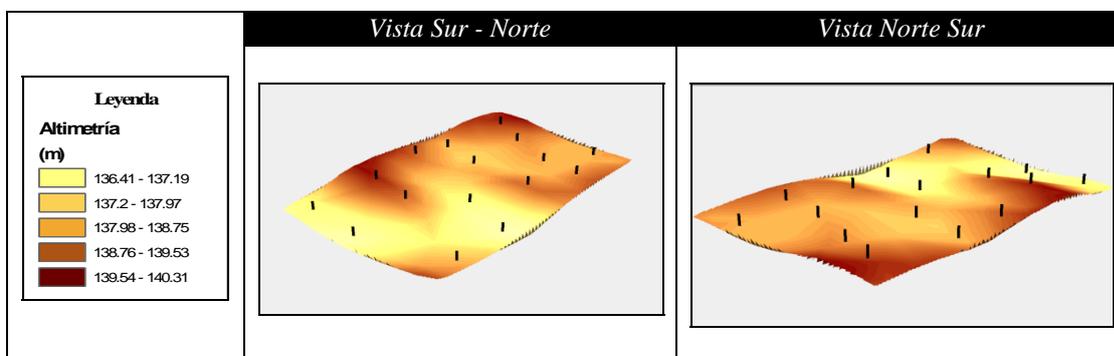


Figura. 3 Modelo digital de Elevación y ubicación de los puntos de muestreo de suelos.

La estadística descriptiva de los resultados del análisis de suelos para las 16 muestras, se detalla en la tabla 1. Teniendo en cuenta que se está trabajando a escala de lote, en todas

las variables de suelos se registraron amplios rangos, especialmente materia orgánica, fosforo, nitrato y azufre.

La figura 5 muestra la distribución espacial de los resultados del análisis de suelos y su relación con altimetría.

Sales solubles, pH, Materia Orgánica y Azufre, tuvieron alta correlación negativa con altimetría. Fosforo no presentó correlación. Algunos de estos resultados coinciden con los presentados por otros autores [19]. Kravchenko y Bullock (2000), en suelos argiudoles franco limosos y franco arcillo limosos, encontraron altas correlaciones negativas entre materia orgánica, fosforo, potasio y altimetría [9].

	MO	P (ppm)	pH	Nitr. (ppm)	S (ppm)	Sales sol. (mS/cm)
Media	2.33	15.10	6.02	76.35	35.65	0.10
Varianza	0.33	29.51	0.02	636.24	30.84	0.00
Rango	2.32	20.92	0.55	112.39	16.65	0.06
Mínimo	1.48	6.13	5.79	9.33	29.21	0.07
Máximo	3.80	27.05	6.34	121.72	45.86	0.14

Tabla 1. Estadística descriptiva de los análisis de suelos.

Florinsky, *et.al.* (2002), encontraron que el fosforo y la humedad del suelos fueron correlacionados positivamente con zonas bajas. Estos autores concluyeron que los atributos topográficos definen el control de los flujos de humedad dentro de un lote y determinan las concentraciones de muchas propiedades del suelo en zonas específicas [9][20].

Los mapas de distribución espacial de propiedades del suelo y su relación con la topografía, pueden ser una buena guía para la determinación global de zonas de manejo homogéneo [9]. Kaspar, *et.al.* (2004), encontraron en suelos francos en Iowa EEUU, que mas del 80% de la variación en el contenido de arena, limo y arcilla, C, N, Fosforo y Zinc, fueron explicados por el relieve, las depresiones, el pH y la curvatura [19]. La pendiente ha sido relacionada negativamente con limo, arcilla y materia orgánica. Así mismo el carbono orgánico ha sido fuertemente correlacionado con el contenido de arcilla, ya que favorece la capacidad del suelo para la retención de materia orgánica [7][19].

• **Relación Espacio Temporal del Rendimiento.**

Las relaciones espacio temporales del rendimiento, se realizaron con gráficos de dispersión de unidades espaciales, los cuales se encuentran ampliamente relacionados con la perspectiva de un análisis espacial exploratorio bivariado e interactivo. Su aplicación brinda como resultado una configuración en la cual cada variable queda representada por un eje ortogonal (90°) y

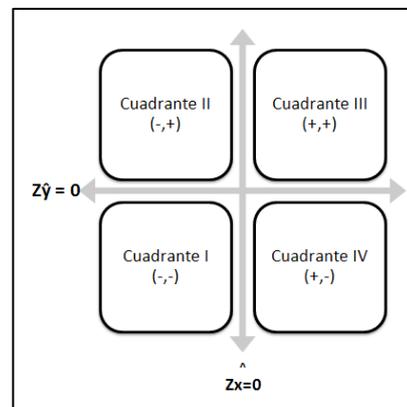


Figura. 4 Estructura de los diagramas de dispersión bivariados de unidades espaciales.

cada unidad espacial como un punto de localización x - y a partir de sus valores de coordenadas en cada eje [12]. Cuando los datos de cada variable se transforman a puntajes estándar, cada uno de estos ejes toma el sector central del gráfico y claramente quedan definidos cuatro cuadrantes básicos en el espacio de las relaciones (Figura 4). El cuadrante inferior izquierdo concentra las unidades espaciales con bajos valores en ambas variables, el superior izquierdo, con bajos valores en X y altos en Y , el superior derecho, con valores altos en ambas variables, y el inferior derecho con valores altos en X y bajos en Y . Cada eje central del gráfico de dispersión, es el cero de las coordenadas estandarizadas, por lo tanto el valor representado por cada unidad espacial se considera de acuerdo a la distancia que su puntaje tiene respecto a la media de X e Y .

Los mapas de rendimiento de las tres campañas y su relación espacio temporal, se muestran en la Figura 6. De acuerdo con las gráficas de dispersión, únicamente las zonas que tuvieron alto rendimiento entre campañas fueron Maíz 2005-2006 y Soja 2008 – 2009. Es decir, la pendiente del gráfico de dispersión de la relación entre estas campañas fue la única que fue positiva (0.35). Mientras que para todas las relaciones entre campañas donde estuviera Maíz 2007 y 2008, no se encontró relación alguna.

La campaña de Maíz 2007-2008, se caracterizó por la escasa disponibilidad de precipitaciones durante los periodos críticos de determinación del rendimiento. Mientras que para la campaña Maíz 2005-2006, se tuvo suficiente disponibilidad de agua. La Soja presenta una mayor plasticidad vegetativa y duración del periodo crítico de determinación del rendimiento [22]. La campaña 2008-2009 se caracterizó por las escasas precipitaciones, sin embargo, durante en diciembre de 2008 se registraron lluvias cuando el cultivo se encontraba en la etapa R2 de su desarrollo, algo que pudo favorecer el rendimiento [11].

En general, en suelos arenosos, con poca capacidad de retención de agua, es posible que la dinámica de la variabilidad espacial del rendimiento se marcara con la presencia de precipitaciones en los periodos críticos de rendimiento de los cultivos de Maíz y Soja, es decir, entre la segunda quincena de diciembre y todo el mes de enero.

Tanto en las campañas Maíz 2005-2006, como en la Soja 2008-2009, se presentaron precipitaciones durante el periodo crítico del rendimiento, por lo tanto esta disponibilidad posiblemente tuvo un efecto en zonas donde las propiedades del suelo se encontraban en cantidades favorables, aumentando el rendimiento de los cultivos. La pendiente de la gráfica de dispersión entre Maíz 2005-2006 y Soja 2008-2009, puede ser la base para la localización de zonas de rendimiento dependientes de la escasa o buena oferta de precipitación.

En dicha gráfica, se resaltan aquellas zonas donde se presentó correlación entre los rendimientos en ambas campañas, mientras que en las gráficas de dispersión restantes la dispersión de zonas no presentó un patrón determinado.

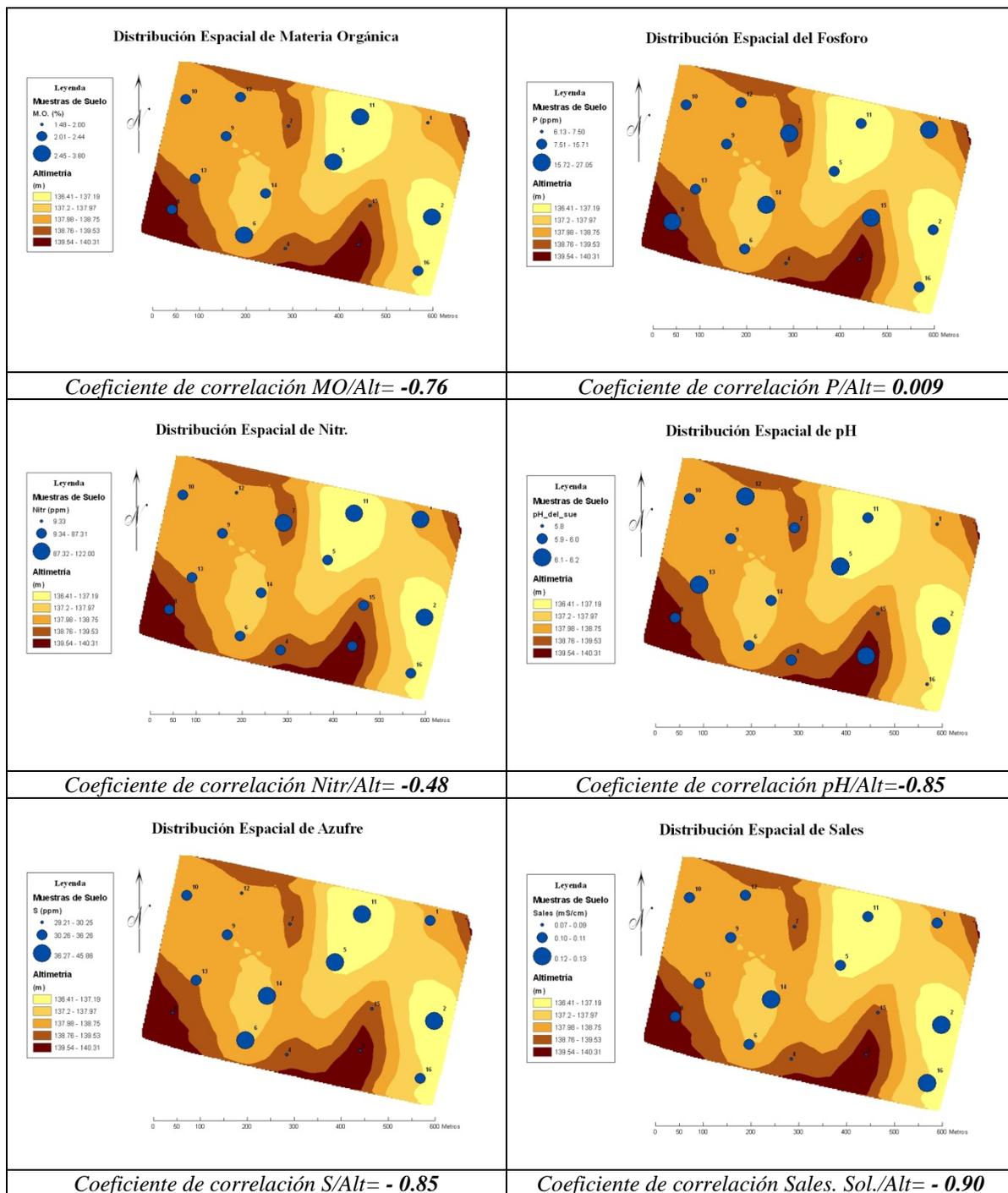


Figura. 5 Mapas de distribución espacial de la relación entre altimetría y propiedades de suelo, con coeficientes de correlación.

- **Relación Espacial Altimetría – Rendimiento.**

En la figura 7 se muestran las relaciones espaciales entre altimetría y cada uno de los mapas de rendimiento. En estas gráficas de dispersión, se resaltan aquellas unidades espaciales que pertenecen a cada cuadrante del gráfico y que corresponden a una relación de altimetría – rendimiento. Los años que presentaron precipitación durante los periodos críticos de determinación del rendimiento de los cultivos, tales como maíz campaña 2006 y

soja campaña 2009, presentaron una relación espacial negativa con respecto a la altimetría, con valores de pendiente de -0.53 y -0.63 respectivamente.

Las zonas que presentaron alto rendimiento en zonas con baja altimetría, coincidieron para las dos campañas. El año en que se presentó poca disponibilidad hídrica, no hubo una relación entre el rendimiento de maíz campaña 2008 y la altimetría.

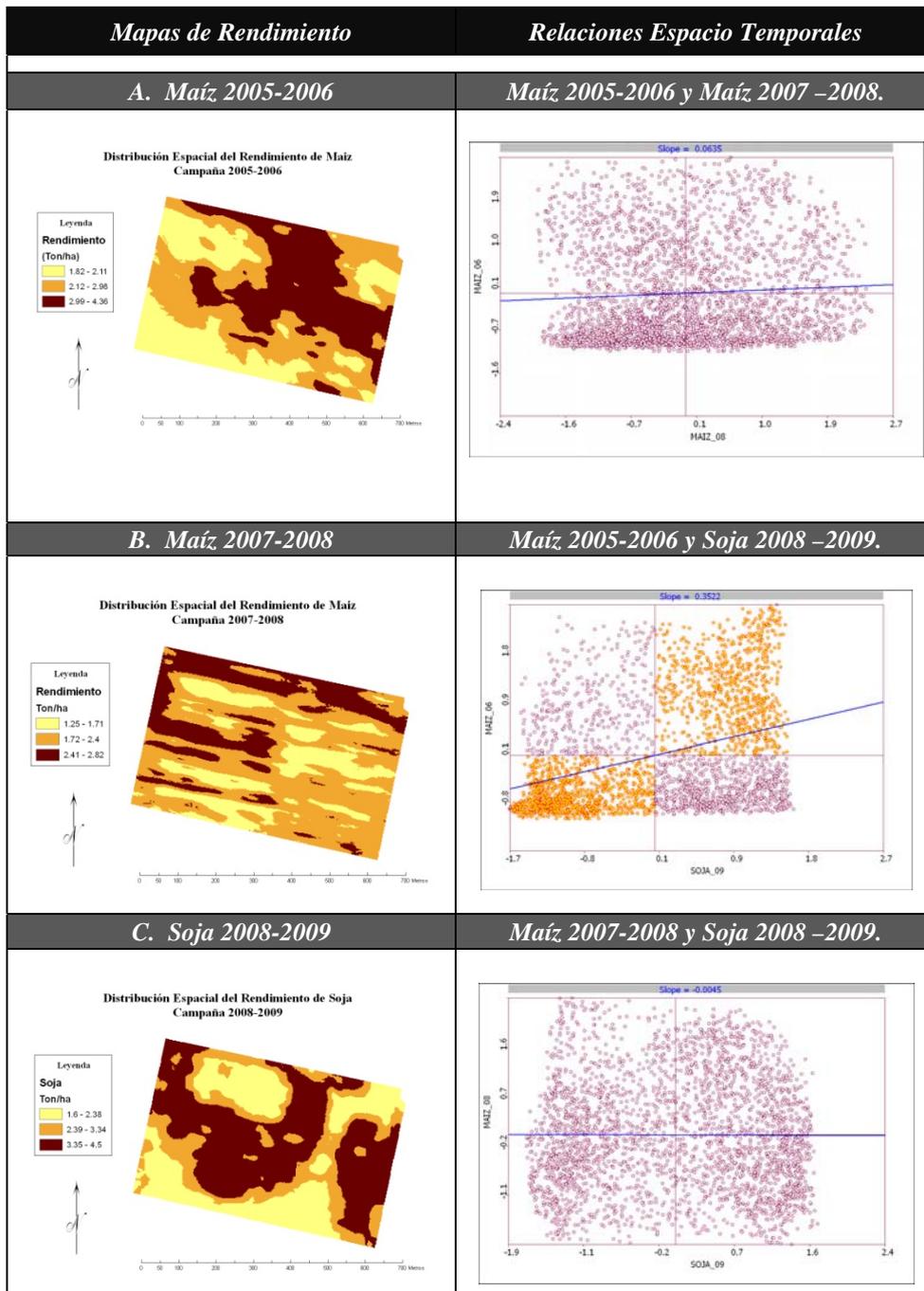


Figura. 6 Mapas de rendimiento y gráficas de relaciones espacio temporales entre campañas. (A.) Maíz 2005-2006, (B.) Maíz 2007-2008 y (C.) Soja 2008-2009.

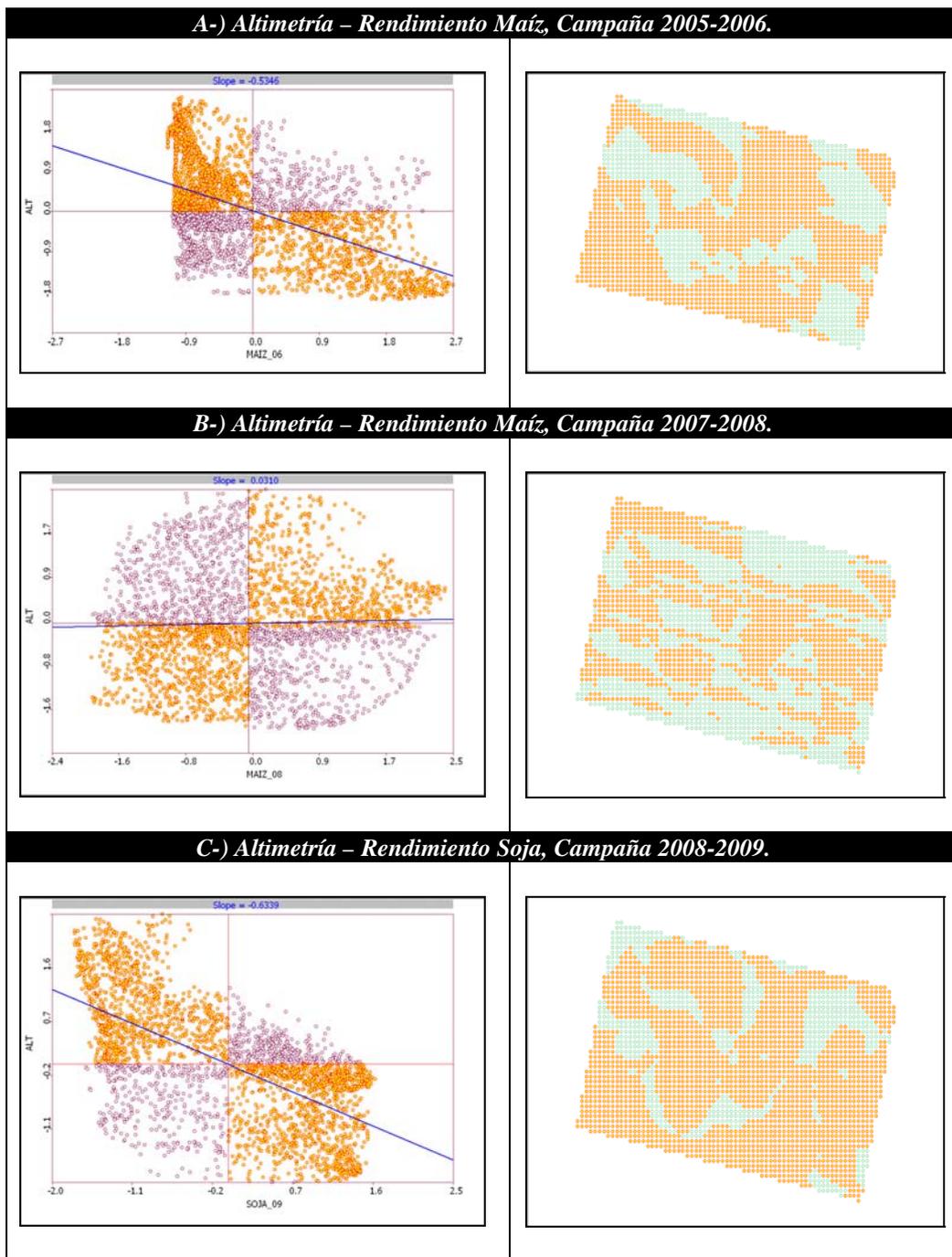


Figura. 7 Gráficos de dispersión interactivos de la relación altimetría rendimiento.

Dos efectos principales pueden tener la topografía sobre el rendimiento [9]. Un primer efecto relacionado con la influencia en la redistribución, ya sea por erosión o deposición, de partículas de suelo, materia orgánica y nutrientes, y un segundo efecto, relacionado con la distribución de agua tanto vertical como horizontalmente. La topografía puede tener una influencia significativa en el efecto de la precipitación, temperatura y radiación sobre el rendimiento durante un ciclo de cultivo determinado.

Teniendo en cuenta las observaciones de la dinámica del mapeo del rendimiento frente al régimen de precipitación presentado en la figura 1, es posible establecer que en zonas bajas con altas concentraciones de materia orgánica y con precipitación durante periodo crítico

de generación del rendimiento del cultivo, se pueden delimitar espacios para manejo homogéneo.

- **Relación Espacial Pendiente – Rendimiento.**

En la figura 8, se muestran las gráficas de dispersión entre la pendiente, el rendimiento y la altimetría. El rendimiento de la soja en la campaña 2008-2009 presentó una relación inversa con pendiente, el resto de los mapas de rendimiento no presentaron relación. La altimetría presentó una relación directa con pendiente. En este mismo gráfico se señalan las unidades espaciales que tuvieron valores altos de pendiente y altimetría, y al mismo tiempo, donde se ubicaban estas, en la relación pendiente rendimiento.

La relación directa entre altimetría – pendiente, está manifestando que la mayoría de las unidades espaciales se encuentran en zonas planas con poca pendiente y en zonas altas con mucha pendiente. A su vez, la relación entre rendimiento y pendiente, nos plantea que las unidades espaciales que se encuentran en zonas altas con mucha pendiente, tuvieron rendimientos bajos durante la campaña soja 2008-2009. Este método nos permitió explorar las relaciones que existen entre pendiente, rendimiento y altimetría de manera interactiva, de modo que se puedan identificar zonas de manera simultánea, contando con la dispersión de unidades espaciales en gráficos de dispersión bivariados.

- **Distribución espacial de las relaciones entre altimetría y rendimiento.**

La distribución espacial de las relaciones entre altimetría y rendimiento se muestran en las figuras 9 y 10. Estos gráficos dividen en 9 partes iguales toda la superficie del lote. En cada una de estas partes se establece un gráfico de dispersión de unidades espaciales entre la altimetría y el rendimiento para cada campaña.

En estas figuras, se muestra la distribución espacial de las relaciones entre la altimetría y el rendimiento de todas las campañas. De acuerdo con estos gráficos, se puede identificar cuatro zonas.

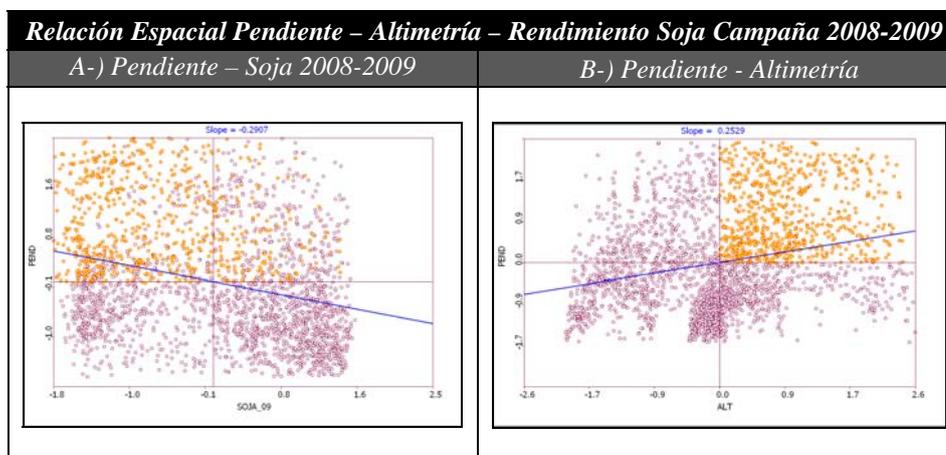
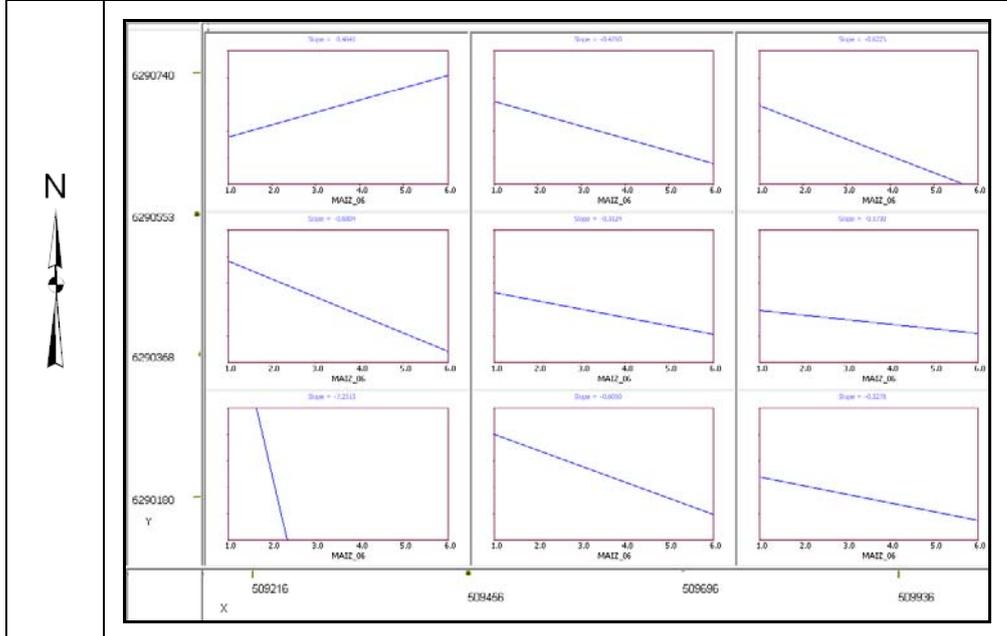


Figura. 8 Gráficos de dispersión interactiva de unidades espaciales de la relación pendiente - altimetría - rendimiento.

Gráfica de la Distribución Espacial de las Relaciones entre Altimetría y Rendimiento de Maíz, Campaña 2005-2006



Gráfica de la Distribución Espacial de las Relaciones entre Altimetría y Rendimiento de Maíz, Campaña 2007-2008

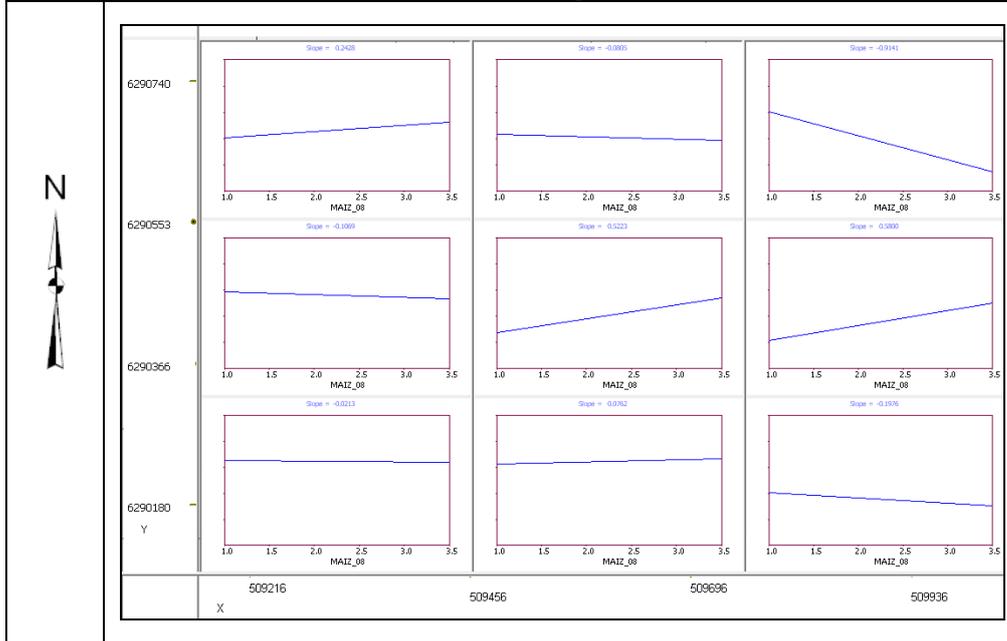


Figura. 9 Gráficas de la distribución espacial de las relaciones entre altimetría y rendimiento de maíz.

La primera zona es la Nor Oeste, donde la relación altimetría rendimiento fue positiva únicamente para las campañas de maíz. Esta zona pertenece a la parte alta del lote, con poca pendiente, donde los contenidos de materia orgánica (2.44%) y fósforo (15.71 ppm), se clasificaron dentro del rango medio. Es posible que al ser una parte alta con poca pendiente, la distribución de partículas por erosión o redistribución, haya sido menor que en otras zonas altas con pendientes mayores. En esta zona el rendimiento fue bajo para el maíz 2005-2006, pero alto para maíz 2007-2008 y soja 2008-2009.

La segunda zona se encuentra entre la parte centro norte, centro este y nor este del lote, donde, para el maíz 2005-2006 y soja 2008-2009, la relación con altimetría fue negativa, es decir, campañas con presencia de precipitación durante el periodo crítico de determinación del rendimiento. Para la campaña maíz 2007-2008, en la parte centro este, la relación con altimetría fue positiva, esto posiblemente pudo deberse a la falta de agua en zonas bajas durante el periodo crítico de generación de rendimiento del cultivo. En general, esta zona pertenece a la parte baja del lote, con una concavidad pronunciada en la parte centro este. Hay que tener en cuenta, que al ser una parte baja con presencia de concavidad, la distribución de partículas por erosión o redistribución, pudo haber sido mayor que en otras zonas. Esta zona se caracterizó por tener altos contenidos de materia orgánica y azufre. Así mismo, se presentaron los mayores rendimientos en todo el lote y para cada campaña.

La tercera zona se encuentra entre la parte centro sur y sur este. La relación entre rendimiento y altimetría fue inversa para todas las campañas. Esta zona fue clasificada como alta con pendientes y presentó baja cantidad de materia orgánica, azufre y fósforo. Los rendimientos fueron bajos para todas las campañas, con excepción de la zona sur este en la campaña de soja 2008-2009, donde se presentaron altos rendimientos.

La última zona se ubica en la zona centro-sur oeste, allí se encuentran las zonas más altas y con mayores pendientes de todo el lote. La relación entre rendimiento y altimetría fue inversa en las campañas maíz 2005-2006 y soja 2008-2009, años con precipitación durante periodo crítico. Para la campaña maíz 2007-2008, no se presentó relación con altimetría. Esta zona presentó contenidos medios de materia orgánica, alto contenido de fosforo y bajo de azufre. En general, los rendimientos fueron bajos para todas las campañas.

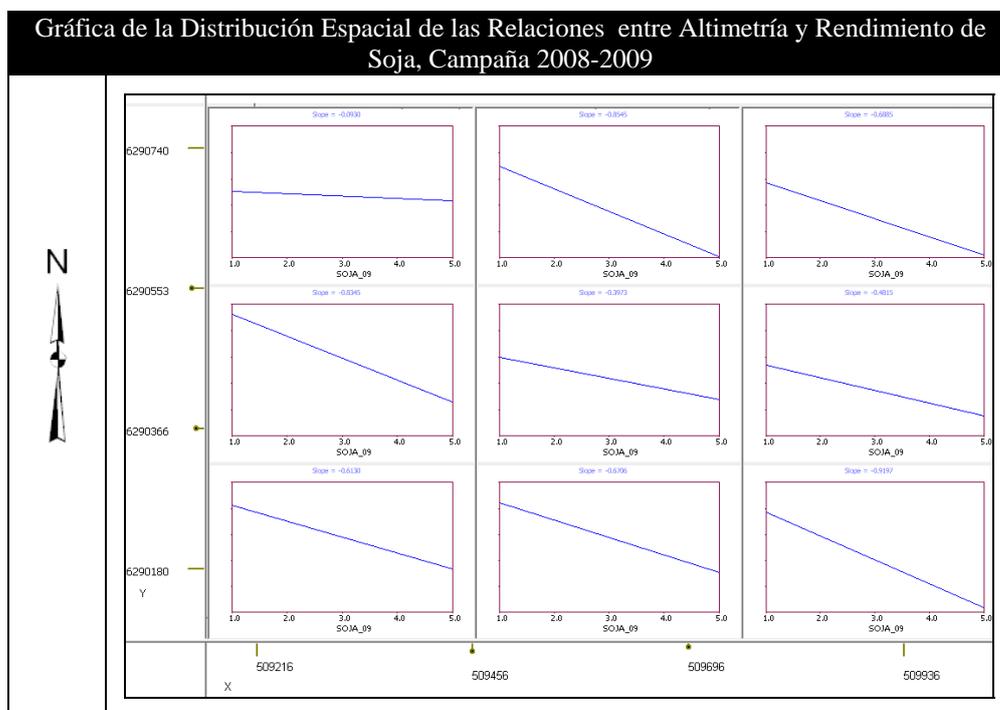


Figura. 10 Gráfica de la distribución espacial de las relaciones entre altimetría y rendimiento de soja.

Conclusión.

El uso de las herramientas geomáticas, especialmente aquellas que permiten la interacción bivariada entre datos alfanuméricos y espaciales, permitió profundizar el análisis espacial exploratorio de las relaciones entre topografía y rendimiento, sirviendo como base para la localización y caracterización de zonas de manejo homogéneo, para la aplicación de la agricultura de precisión.

Cuatro zonas fueron identificadas como potenciales para aplicación de agricultura de precisión. Estas se caracterizaron de acuerdo con la dinámica de las relaciones entre topografía, rendimiento en diferentes campañas y cultivos, análisis de suelos y precipitación.

Bibliografía

- [1] McKinion, J.M.; Willers, J.L.; Jenkins, J.N. 2010. Spatial analyses to evaluate multi-crop yield. stability for a field. *Computers and Electronics in Agriculture* 70: 187–198.
- [2] Blackmore, S. 2003. The role of yield maps in Precision Farming. Tesis PhD . Cranfield University.
- [3] INTA. 2011. Desarrollo industrial de la maquinaria agrícola y agropartes en Argentina, impacto económico y social. Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org/index.asp?pag=/novedades.asp> INTA Publicaciones. 34 p.
- [4] Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and Electronics in Agriculture* 26: 37-51.
- [5] Whelan, B.M.; McBratney, A.B. 2000. The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. *Precision Agriculture* 2: 265-279.
- [6] Jiang, P.; Thelen, K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a North-Central corn-soybean cropping system. *Agronomy Journal* 96: 252-258.
- [7] Vitharana, Udayakantha, W.A.; Meirvenne, M.V.; Simpson, D.; Cockx, L.; Baerdemaeker, J.D. 2008. Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. *Geoderma* 143: 206-215.
- [8] Bullock, D.S.; Bullock, D.G. 2000. Economy optimality of input application rates in precision farming. *Precision Agriculture* 2: 71-101.
- [9] Kravchenko, A.N.; Bullock, D.G. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal* 92:75-83.
- [10] Anselin, L.; Syabri, I.; Kho, Y. 2004. *Geoda. An Introduction to Spatial Data Analysis*. Department of Agricultural and Consumer Economics. University of Illinois.
- [11] INTA. 2009. Estudio estadístico del régimen pluviométrico de Canals - Córdoba y situación Comparativa de 2006-2009. EEA INTA Marcos Juárez. Disponible en: www.inta.gov.ar/MarcosjuarezXXXXX

- [12] Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2006. Análisis Socio espacial con Sistemas de Información Geográfica. GEPAMA. 400 P.
- [13] INTA. 2010. Carta de Suelos de la Provincia de Córdoba. Hoja Canals 3363-28.1986.
- [14] Trimble. 2011. The Trimble® R3 GPS system. Disponible en: <http://www.trimble.com/trimbler3.shtml>. Consultado en: Abril-2011.
- [15] Oliver, M.A. 2010. Geostatistical Applications for Precision Agriculture. Springer. 337 p.
- [16] ESRI. 2001. Using ArcGIS 9.X. Geostatistical Analyst. ESRI, Redlands, CA.
- [17] ESRI. 2001. Using Arc Scene 9.X. ESRI, Redlands, CA.
- [18] SAS Institute. 2002. SAS User's guide. Statistical Analysis System Institute Inc. NC.
- [19] Kaspar T.C.; Pulido, D.J.; Fenton, T.E.; Colvin, T.S.; Karlen, D.B.; Jaynes, D.B.; Meek, D.W. 2004. Relationship of corn and soybean Yield to soil and Terrain Properties. *Agronomy Journal* 96:700-709.
- [20] Florinshy, I.V.; Eilers, R.G.; Manning, G.R.; Fuller, G.L. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. *Environmental Modelling and Software* 17:295-311.
- [21] Kravchenko, A.N.; Robertson, G.P.; Thelen, K.D.; and Harwood, R.R. 2005. Management, Topographical and Weather Effects on Variability of Crops Grain Yields. *Agronomy Journal* 97:514-523.
- [22] Andrade, F.H.; Sadras, V. 2002. Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. Publicaciones INTA.

Datos de Contacto: *Ing. Agr. Mauricio Castro Franco. Unidad Integrada INTA UNMdP Balcarce. Ruta 226. Km. 73.5 Balcarce, Buenos Aires – Argentina - agronomao@gmail.com*