

# »● Agricultura de precisión aplicada a la estimación del comportamiento hidráulico de los suelos con fines de riego y drenaje

*Rodrigo Pachón Bejarano\**  
*Jorge Iván Chavarro\*\**

## **Resumen**

Uno de los cambios más significativos desde finales del siglo XX en el campo de la producción agrícola internacional y nacional, ha sido la aplicación de la agricultura de precisión. El presente artículo recoge la experiencia investigativa realizada en el distrito de riego el Juncal municipio de Palermo-Huila, donde se determinó el ambiente fisiográfico general de la zona a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales, estableciendo con base en el conocimiento preciso del medio natural actual, una grilla de muestreo Geo-referenciado de 143 puntos para la determinación y modelación de la probable variabilidad espacial de algunas propiedades físico-químicas de los suelos del distrito.

Con la aplicación del software Matemática 5.2 for student, se desarrollaron ecuaciones de gobierno a partir de los parámetros determinados en las muestras que fueron recolectadas en campo. La densidad aparente y textura fueron las variables de dominio base en la modelación utilizada para la estimación de otras propiedades de los suelos como la porosidad, infiltración, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, que en conjunto definen la dinámica del movimiento del agua en el suelo. Se aplicó el análisis estadístico de correlación, alcance y multivariado a las variables con los software MATLAB y GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences, determinando los índices de variación en la selección del método de krigeado para el desarrollo de los modelos digitales de terreno en el software SURFER 8.0 logrando exponer la variabilidad espacial de cada variable en el área de producción agrícola, generando la base para la planificación de labores agrícolas como riego y drenaje.

**Palabras clave:** variabilidad espacial, modelación, georreferenciación.

\* M.Sc. Agrónomo y Fotointerprete. Profesor Titular Facultad de Ingeniería. Universidad Surcolombiana.. ropacho@usco.edu.co – www.grupoghida.com

\*\* B.Sc. Ing. Agrícola. Joven Investigador USCO 2007. Exchange Student University of Oklahoma 2006. Environmental Modelling Ph.D Course and Soil Science Master Course. Jorge.chavarro@usco.edu.co



## ABSTRACT

The most significant change from final of the century XX in the field of the international and national agricultural production, it has been the application of the precision agriculture. This article expose the investigative experience obtained in the Juncal district irrigation at Palermo County in the Huila Department. The physiographic environ was determined from air images and satelital settling with base in the precise knowledge of the actual natural environ, the sampling net Geo-referenced of 143 points for the determination and modelling of the probable spatial variability of some physical-chemical soils properties of the district.

Using Mathematics 5.2 software for student, the government's equations were developed starting from the parameters determined in the samples recollected in field, the density apparent and texture were the domain base variables on the modelling used for the estimate of other soils properties like the porosity, infiltration, field capacity and point of wither permanent, that whole define the dynamics of the water movement in the soil. The application of the statistical analysis of correlation, reach and multi-varied to the variables with the software MATLAB and GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences, determining the variation indexes in the selection of the interpolations method for the digital models developments of land in the software SURFER 8.0 to expose the spatial variability of each variable in the area of agricultural production, generating the base for the planning of agricultural works as irrigation and drainage.

**Key Words:** Spatial variability, modelling, geo-reference.

## Introducción

**E**l Distrito de Riego el Juncal, es una de las zonas agrícolas más importantes en producción de arroz en el departamento, se localiza en el municipio de Palermo a 10 Km. al sur de Neiva, una altura de 460 msnm, temperatura promedio de 27°C, correspondiente a la zona de vida de Bosque Seco tropical, con una precipitación entre 800-1000 mm.

Los terrenos que lo integran han sido sometidos a través de los años a una variabilidad inducida por prácticas culturales adversas íntimamente relacionadas con la producción de arroz, con una mecanización intensiva, controles fitosanitarios recargados con agroquímicos, contaminación de aguas residuales, donde se establecieron y adaptaron malezas agresivas, uso desbordado de volúmenes de agua para riego, situación que afecta no sólo la eficiencia económica de la producción sino que representa mayores pérdidas de suelo.

Así mismo, en la producción agrícola del distrito de riego, el manejo de los suelos, el recurso hídrico y manejo fitotécnico, en general se han dado bajo criterios de uniformidad de las áreas, asumiéndolo como sistemas homogéneos, aprovechando la capacidad de la maquinaria agrícola disponible bajo la premisa del cubrimiento mayor de hectáreas por día y disminución del tiempo de faenado, sin tener en cuenta que existe un patrón de distribución de suelos heterogéneo producto de las diferentes posiciones geomorfológicos en donde se han desarrollado.

## Metodología

La construcción de los momentos metodológicos se puede apreciar en la Figura 1.

Se determinaron 143 puntos de muestreo para el área del Distrito de Riego por el método sistemático aleatorio exponencial "Riezebos". Este muestreo se realizó en un periodo de iguales condiciones ambientales, teniendo en cuenta la humedad del suelo en la toma de la muestra para garantizar homogeneidad en



las condiciones para los muestreadores de núcleo para la determinación de la Densidad Aparente, la textura por el método de Boyucos y el pH mediante el Ph-meter, estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de la Universidad Surcolombiana.

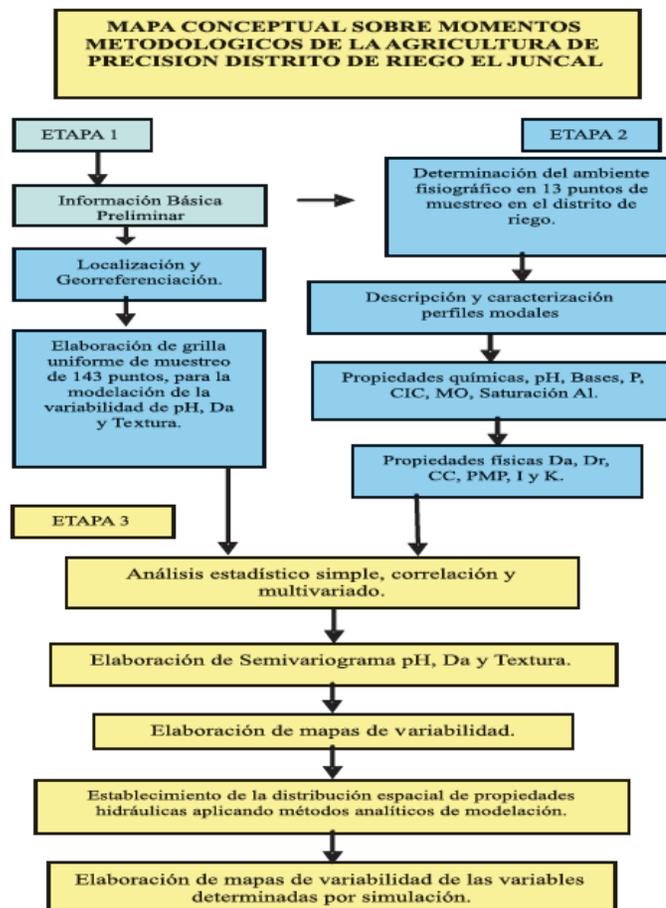


Figura 1. Mapa conceptual de los momentos metodológicos

### **Análisis estadístico y aplicación de métodos analíticos de modelación.**

Una vez recolectada la información de las propiedades seleccionadas, se procedió a la organización, tabulación y procesamiento de la información. Para este fin se empleó la herramienta geoestadística con el software "GS+ for Windows" para la creación de

semivariogramas y la elaboración de los mapas de variabilidad espacial con el software "Surfer 8.0" para cada variable determinada.

Con el procesamiento de la información se procedió a la implementación de la metodología O. Stockle, para la modelación del comportamiento hidráulico de los suelos representada en la cantidad de energía





En la tabla 1 se muestran los parámetros estadísticos aplicados para el análisis de las muestras determinadas en laboratorio.

Tabla 1. Parámetros estadísticos generales de las variables determinadas en laboratorio

Parámetro Estadístico	Da	%A	%L	%Ar	pH
Media	1.53	64.57	23.20	12.23	5.57
Sx	0.11	10.76	6.72	6.80	0.57
C.V.	6.94	16.67	28.96	55.56	10.26
Cs	-0.25	-0.35	0.15	2.31	0.36
Min.	1.30	36.00	8.00	4.22	4.45
Max.	1.73	85.98	40.00	52.00	7.16

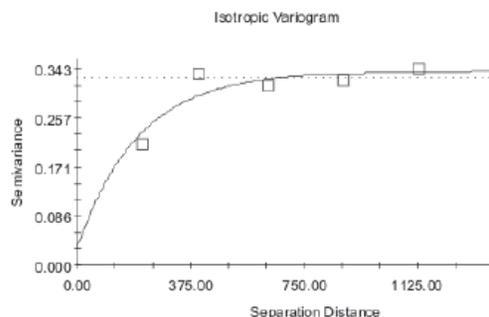
La selección de los modelos esféricos o exponenciales se realizó tomando como base el ajuste de la máxima distancia del Lag y el intervalo del Lagclass, el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> y la suma reducida de cuadrados RSS, que permitieron evidenciar el mejor ajuste de los puntos para la selección del modelo de los semivariogramas.

Los modelos esféricos muestran alcances prácticos para la toma de muestras, mientras que el modelo exponencial presenta una normalización de la curva que representa el alcance, llevando al modelo a presentar un

alcance imaginario equivalente a la tercera parte del alcance práctico.

La relación (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C) nugget/Sill inferior al 50% indica una moderada dependencia espacial validando el método de interpolación implementado para la representación gráfica de la distribución espacial de la variable.

El parámetro pH corresponde aun modelo exponencial con un 81% de ajuste de los datos al modelo y alcance de 201 metros (603 práctico) para la toma de muestras. (Ver figura 3 y 4).



Exponential model (C<sub>0</sub> = 0.0281; C<sub>0</sub> + C = 0.3382; A<sub>0</sub> = 201.00; r<sup>2</sup> = 0.812; RSS = 2.282E-03)

Figura 3. Semivariograma pH

Sx-Desviación Estándar      C.V.-Coeficiente de Variación  
 Min-Valor mínimo de la serie      Max-Valor máximo de la serie  
 Cs-Coeficiente de Asimetría



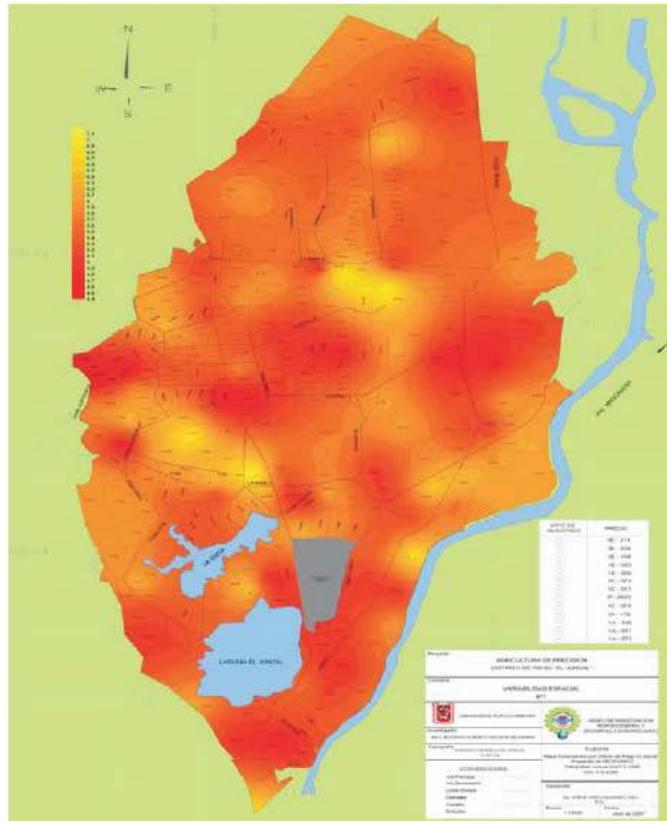


Figura 4. Mapa de variabilidad espacial de pH

En las figuras 5, 6 y 7, se muestran los mapas de variabilidad espacial de cada parámetro de composición textural analizado individualmente, evidenciando las áreas de mayor contenido de cada uno de estos minerales, permitiendo proyectar su adecuado manejo enfocado al Riego como primera instancia del resultado de

la investigación y posible comportamiento de las propiedades físicas de los suelos del Distrito.

La figura 8, muestra la distribución espacial de las clases texturales que conforman los suelos del distrito, evidenciando la dominancia de suelos con texturas gruesas, de baja a moderada retención de humedad y fertilidad natural.

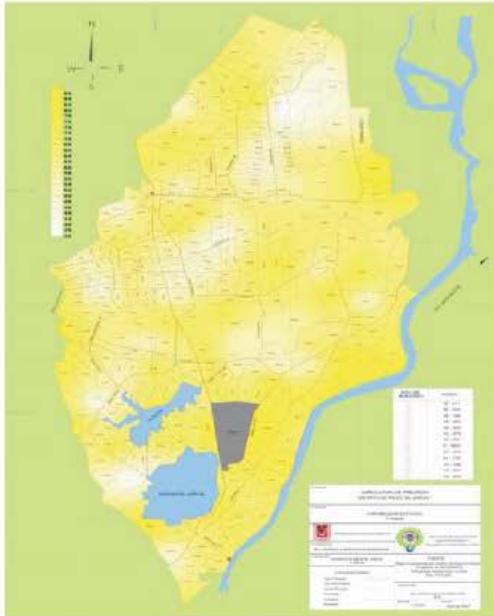


Figura 5. Mapa de variabilidad espacial % Arena

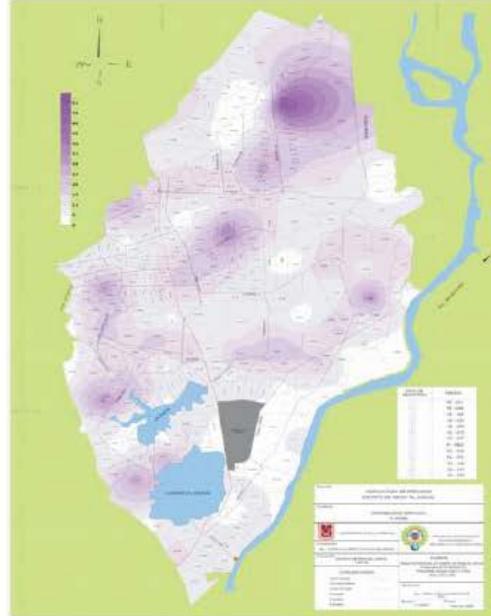


Figura 6. Mapa de variabilidad espacial % de Arcilla

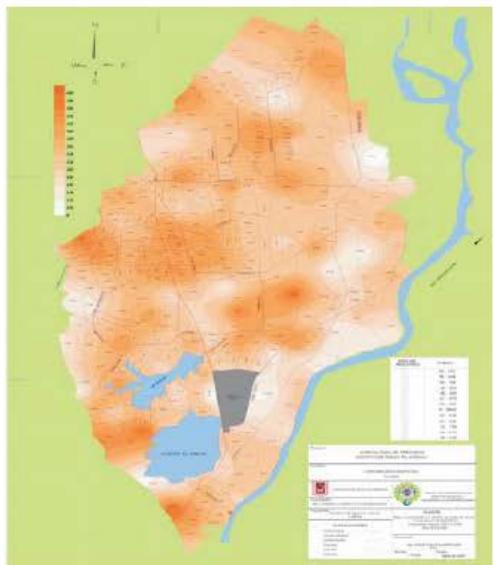


Figura 7. Mapa de variabilidad espacial % de Limos

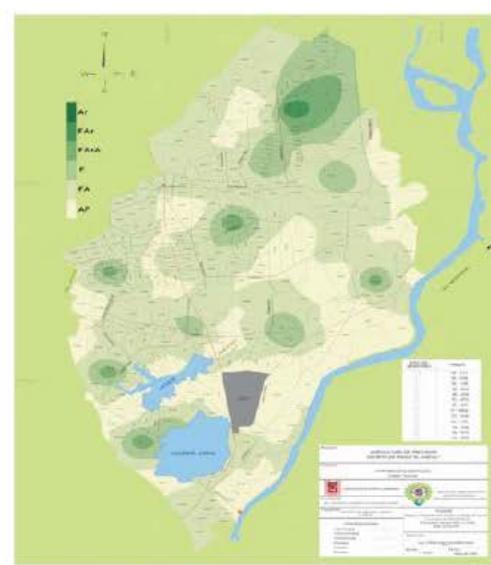


Figura 8. Mapa de variabilidad espacial de la Clase Textura



La relación de los parámetros iniciales determinados en laboratorio de las muestras tomadas en campo que permitieron la estimación de los demás parámetros utilizando métodos de modelación, está determinada por el Coeficiente de Correlación. Para la determinación de este parámetro estadístico, se aplicó el software MATLAB, para el procesamiento de una matriz de datos de (9x143). (Ver tabla 2).

Tabla 2. Coeficientes de Correlación de las variables de la investigación.

	Da	%Are	%Li	%Arc	pH	n	CC	PMP
%Are	0.6922							
%Lim	-0.5136	-0.7934						
%Arc	-0.5881	-0.7987	0.2674					
pH	0.0537	0.071	-0.1543	0.0401				
n	-0.9988	-0.6979	0.5109	0.5996	-0.0572			
CC	-0.9871	-0.705	0.4983	0.6234	-0.0636	0.9935		
PMP	-0.9779	-0.7044	0.4899	0.6308	-0.0668	0.9864	0.9987	
Ks	0.552	0.9452	-0.7142	-0.7903	0.0412	-0.5565	-0.5616	-0.561
	Independencia							
	Dependencia							
	Dependencia Inversa							

Los valores del coeficiente de correlación marcados con el color amarillo están cercanos a cero, mostrando que existe una independencia total entre las variables. La variable pH muestra una independencia de todas las demás variables. Los valores marcados con el color canela tienen coeficiente negativo, indican que a medida que una variable aumenta, la otra disminuye. Los valores marcados con color turquesa tienen coeficientes de correlación positivos, indicando que a medida que una variable aumenta, la otra también aumenta. Los valores entre 0.5 y 0.75 muestran que hay una moderada correlación y valores entre 0.75 y 1 muestran que existe una fuerte correlación entre variables.

Al analizar los coeficientes de acuerdo a su valor absoluto, se evidencia la dependencia total de las variables estimadas con las variables tomadas como base para la modelación y la relación que existe entre estas primeras muestreadas en campo (Da y textura). Esta dependencia entre variables permitió desarrollar la modelación y obtener resultados confiables para la estimación de la distribución en campo de las variables que

no pudieron ser determinadas en laboratorio (CC, PMP, n y Ks).

### Conclusiones

Los semivariogramas permitieron evidenciar una clara estructura espacial local de la distribución de las propiedades de los suelos, mostrando un gran alcance para la toma de muestras, un promedio teórico de 600 metros expuestos por los modelos esféricos y exponenciales, contrastado con la distancia promedio de 350 metros, en la cual se tomaron las muestras en campo; lo que permite concluir que existe una mayor confiabilidad en la representación gráfica de la distribución espacial de las variables a través del Kriging, por ser una estimación cercana a la realidad.

La identificación adecuada del patrón de distribución de suelos desde la perspectiva espacial mediante un muestreo aleatorizado y la generación de mapas de variabilidad espacial, permitieron evidenciar unidades con alta capacidad de predicción de los atributos



del suelo de cada predio del Distrito. De igual forma, permitieron evidenciar la tendencia de distribución local de cada variable, lo cual permitirá identificar, zonificar y predecir adecuadamente los rangos de valores probables de los atributos examinados y modelados, en cualquier sitio de interés dentro del área objeto de investigación enfocados a su adecuado manejo.

### Bibliografía

1. Asiava. 2005. Hacia una Agricultura en Armonía con la Naturaleza. En: Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Valle. (62). Palmira - Valle.
2. Avidan, 1994. Factores que influyen sobre el régimen de riego de los cultivos. Sociedad para la transferencia de tecnología. Estado de Israel. Ministerio de Agricultura.
3. Bragashini, M. Presente y Futuro de la Agricultura de Precisión. <http://www.cpia.org.ar/nota0.htm> [1]
4. Claudio O. Stockle. 2000. Modelos de simulación de sistemas de cultivos. [www.chillan.udec.cl/riego](http://www.chillan.udec.cl/riego)
5. Dafonte Dafonte, 2003. Variabilidad espacial de la K saturada de campo medida con permeámetro de Guelph. U.S.C. [jdafonte@lugo.usc.es](mailto:jdafonte@lugo.usc.es).
6. Farham, D.E. 1999. Site-Specific Crop Management: What Have We Learned and Where We Go From Here. Proc. World Soybean Research Conference VI. p. 229-234.
7. Gile L. 1999. La difícil evaluación económica de la agricultura de precisión. Vida Rural. 15 de junio de 1999:30-33.
8. Gotway, C., Ferguson, R., Hergert, G. y Peterson, T. 1996. Comparison of kriging and inverse distance methods for mapping soil parameters. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1237- 1247.
9. IGAC. Manual de Laboratorio de Suelos. Subdirección agrológica. Bogota. 1999.
10. Kravchenko, A. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1564-1571.
11. Machado, S., et al. 2002-2001. Spatial and temporal variability of sorghum and corn yield: interactions of biotic and abiotic factors. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July. American Society of Agronomy; Madison, USA.
12. Montenegro, 1990. Propiedades físicas de los suelos. Unidad Agronómica IGAC.
13. Muñoz, 2006. Métodos de modelación estadística para estudiar la variación especial de fenómenos agronómicos y edáficos. Departamento de Agronomía, XIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La sostenibilidad del suelo y de competitividad agrícola. Bogota Oct. 4-6 de 2006.
14. Pérez U.G. 2002. Los sistemas de información geográfica y su aplicación dentro de la planificación y manejo ambiental de las cuencas hidrográficas. En: "Memorias Planificación y manejo ambiental de las cuencas hidrográficas". Ibagué 10-14 Feb. de 1997. Universidad del Tolima.
15. Rodríguez, J. y Zimback, C. 2002. Management zones delimitation through the analysis and classification of corn and yield productivity maps. Energia and Agricultura., 17: 44-61.
16. Rubiano y Peña. 2006. Consideración de la variabilidad espacial de los atributos del suelo con base para el manejo de sitios específicos en el cultivo de Piña Gold en los Llanos Orientales. En: "Memorias XIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. La sostenibilidad del suelo y de competitividad agrícola". Bogota Oct. 4-6 de 2006.