

INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

SPATIAL VARIABILITY EFFECT OF SOME SOIL PROPERTIES ON SUGARCANE
(SACCHARUM OFFICINARUM) YIELD)

Fernández, Oswaldo ¹; Reyes, Johnnathan ¹ y Matheus, Jesús ¹.
¹ NURR. Universidad de los Andes. Dpto. Ciencias Agrarias. oswaldof@ula.ve

Resumen

El presente trabajo de investigación fue realizado con la finalidad de conocer e interpretar la variabilidad espacial de los suelos y su influencia en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). En dos tablones de caña de azúcar incluidos en 70 ha de cultivo, establecido en la Estación Experimental del Núcleo Universitario "Rafael Rangel" de la Universidad de los Andes, en los Llanos de Monay, Estado Trujillo, se hizo un reconocimiento inicial de los suelos, los cuales presentan problemas de mal drenaje y de salinidad superficial. Posteriormente se hizo un muestreo geoestadístico estableciendo una cuadrícula en cada tablón, con espaciamento de 10 m y una orientación en un eje de coordenadas (x-y). En cada punto o nodo de intersección de la cuadrícula fueron tomadas muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm a las cuales se efectuaron análisis de suelos con el fin de determinar: pH, CE, P, K, a, L, y A. También se hicieron mediciones del rendimiento de caña de azúcar en cada punto de muestreo para ambos tablones. Los datos obtenidos de estos análisis fueron procesados y analizados utilizando la estadística clásica y un análisis geoestadístico. Según estos resultados, las variables P y K presentaron los mayores coeficientes de variación (CV) seguidos por la variable rendimiento del cultivo. El porcentaje de limo (%) resultó la variable que esta mas altamente correlacionada con el rendimiento, y es la que explica en gran parte la disminución en los rendimientos de la caña de azúcar. En segundo lugar a este respecto le sigue el efecto de la concentración de sales en el perfil de estos suelos, lo cual afecta negativamente el desarrollo de la planta desde su inicio hasta su producción final. El alto porcentaje nugget (varianza al azar) mostrado por casi todos los semivariogramas comparado con la varianza espacial, sugiere que el comportamiento espacial de las diferentes variables del suelo, tiene una estrecha relación con la génesis y el manejo agronómico al cual han sido sometidos estos suelos. El manejo de suelos por sitio específico busca identificar y cuantificar la variabilidad espacial presente en estos tablones de caña de azúcar, para luego determinar el impacto de esta variabilidad en el rendimiento.

Palabras claves: Geoestadística, semivariogramas, Kriging, Nugget, muestreo, variabilidad espacial.

Abstract

A field study was conducted to characterize the spatial variability of soils and analyze its influence on sugarcane (*Saccharum officinarum*) yield in two plots within a 70-ha sugarcane field at the Universidad de los Andes Research Station in the land plains of Monay, Estado Trujillo. A soil initial recognition revealed that these soils have high salt content and reduced drainage. Soil sampling was performed following a geostatistics design. In each plot, a grid pattern with a 10-m spacing was created. Soil samples were taken at 0-20 cm depth per grid point and then analyzed to determine: pH, electric conductivity and contents of P, K, sand, silt, and clay. Sugarcane yield was also estimated at each site of the grid for both plots. The data was statistically and geostatistically analyzed. P and K were the variables with the highest variation coefficients and were followed by crop yield. Silt percentage showed the highest correlation with sugarcane yield and explained part of the diminishing in yield. Soil salt content was the second variable highly correlated with sugarcane yield. The high nugget proportion (random variance) showed by most of the semivariograms compared to spatial variance suggests that the spatial behavior of the different soil properties and soil parameters that were analyzed has a close relationship with soil genesis and the agronomic management given to these soils. The site-specific soil management attempts to identify and quantify soil spatial variability in crop fields to determine the impact of that variability on crop yield.

Key Words: geostatistics, kriging, semivariograms, soil sampling, soil variability, spatial variability.

INTRODUCCIÓN

A pesar de delimitarse unidades lo más homogéneas posible, la variabilidad de los suelos es un fenómeno real, la misma limita la precisión de los pronósticos sobre el comportamiento de los suelos, bajo condiciones específicas de manejo, en cualquier posición del paisaje. Como consecuencia de esto, en los últimos años se han incrementado el número de estudios sobre variabilidad de suelos.

Un buen trabajo agro ecológico desarrollado correctamente puede transmitir una buena información referente a la productividad potencial del suelo en relación con sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, la agricultura de precisión puede ser tomada como una valiosa herramienta para realizar una fertilización más eficiente, por lo cual dicha investigación realizada tanto en laboratorio como en campo puede arrojar información de mayor importancia y segura para un buen manejo de tierras.

Esta herramienta necesita la recolección de información en cada punto a distancias y direcciones variables, su ordenamiento, análisis espacial y finalmente la diagramación de mapas de contorno que nos de la estrategia para el manejo de las fincas. Esta es una tendencia que viene fortaleciéndose gradualmente en la mayoría de las actividades agrícolas.

La definición más simple de Agricultura de Precisión (Ortega y Flores, 1999) establece que esta corresponde a un grupo de tecnologías que permiten la aplicación

de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas, plaguicidas, etc., en forma variable dentro de un potrero, de acuerdo a los requerimientos y / o potencial productivo de varios sectores homogéneos, predefinidos dentro del mismo.

Bajo el término de Agricultura de Precisión o Agricultura por Sitio Específico, se involucra toda una filosofía respaldada por una serie de procedimientos tecnológicos para el manejo de los cultivos en forma intensiva. De acuerdo a esta filosofía nos da a entender en forma diferenciada los factores de producción guiándonos por las características específicas de cada zona con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y disminuir el problema que es el impacto ambiental sobre la zona (Ortega et al.1997).

La agricultura de precisión nos permite trabajar en zonas de menor tamaño de una manera distinta a la que se realizaría en una zona de mayor tamaño. Este manejo nos conlleva a especificar, saber o identificar variaciones en el tipo de suelo tales como: textura, color, nutrientes y la productividad del mismo.

Hasta hace poco se analizaba el suelo de un lote de terreno al tomar una sola muestra “representativa” pero nos dimos cuenta que a medida que caminábamos esta muestra no reflejaba totalmente lo que sucede en el terreno así fuera una zona relativamente homogénea. Por medio de estos modernos sistemas agrícolas podemos aplicar al terreno tratamientos diferenciados ya que podemos conocer la variabilidad de muchos parámetros tales como: pH, MO, CE, N, P, K, Ca, Mg, etc. del suelo.

Por ultimo después de conocer la variabilidad espacial de cada parámetro del cultivo y su productividad, podemos identificar, caracterizar y extrapolar las limitaciones productivas más relevantes en la zona de estudio, optimizando el beneficio económico, disminuyendo el impacto ambiental y aumentando la eficiencia de uso del recurso suelo.

En gran parte, el grado de desarrollo de los suelos aluviales del río Monaquito es de moderado a bajo, y sus características están relacionadas con los materiales parentales y el relieve. Hasta cierto grado la distribución espacial de estos suelos y sus propiedades está afectada por la distribución en el espacio de esos materiales parentales y/o la estructura geológica de los mismos. Se tratara, entonces, de determinar en esta investigación el grado de vinculación espacial posible entre algunas características del suelo con el rendimiento final del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, fue necesario organizarlo en 4 etapas, con la finalidad de obtener como resultado un estudio representativo de la variabilidad espacial de los suelos dentro de los tablones escogidos, 5 y 17

(Figura 1); y para ver como se comportan estos suelos desde el punto de vista de su fertilidad hacia el cultivo de caña. Plan de trabajo inicial: 1) Reconocimiento de la zona de estudio por medio de mapas y otras ayudas cartográficas procedentes de estudios anteriores del sitio. 2) Ubicación de la zona de investigación, en los mapas de la finca con su respectiva orientación en relación con los puntos cardinales. 3) Selección del diseño de muestreo utilizado dentro de los tablones, para así obtener y clasificar la información que resultará de cada punto. Etapa de Campo: Estudio preliminar de las zonas de muestreo realizando un chequeo de los suelos, relieve, vegetación y aspectos relacionados con el manejo actual de la tierra. 1) Este primer estudio de la zona permitió escoger dos tablones identificados como el 5 y 17, ocupados ambos por el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) variedad San Pablo 72, los cuales se encuentran ubicados en un mapa de utilización de la tierra de la finca. 2) Estos tablones poseen las siguientes dimensiones: en el Tablón 5 los linderos izquierdo y derecho con dirección N-S (100 m) respectivamente, y los linderos inferior y superior con dirección E-O (100 m) respectivamente, lo cual reproduce un área de 1ha. En el Tablón 17 los linderos son izquierdo-derecho N-S (220 m) y lindero inferior-superior, E-O (100 m), con un área de 1,2 ha. En el Tablón 5 los linderos E-O con una carretera vía La Catalina y con la carretera interna, por el lindero N-S las dos callejuelas. El Tablón 17 esta conformado por los linderos N-S con las dos callejuelas y por el otro lado E-O con la carretera interna y el río Monaicito. 3) Tomando como referencia los trabajos de la finca realizados por Palomino (2002) y Gubenelli y Pérez (2004) se puede establecer

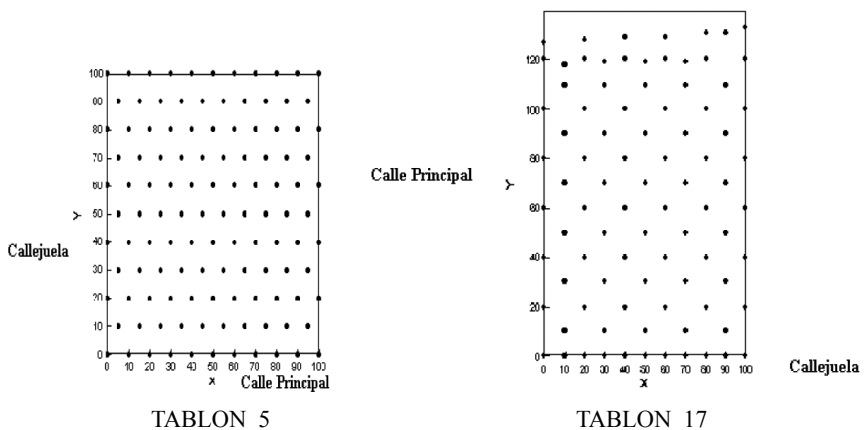


Figura 1. Mapas de puntos de muestreo

en el campo la mejor y óptima distancia de muestreo dentro de los tablones analizados. En dicho trabajo se determinaron características físicas y químicas del suelo y se establecieron los rangos de dependencia espacial para cada variable analizada. Estos rangos de dependencia espacial (distancias), se tomaron como guía. Posteriormente se procedió a diseñar en un plano el muestreo Geoestadístico, el cual se utilizó para ubicar y marcar con estacas los puntos de muestreo en los dos tablones (Figura 1). Para realizar este diseño se tomó una cuadrícula en cada tablón. En el Tablón 5 se tomaron muestras a distancia de 10x10 m, esto arrojó un total de 116 puntos a muestrear. En el Tablón 17 se tomaron a una distancia de 10x20 m dando un total de 88 puntos, a excepción de los últimos puntos que se tomaron a una distancia de 8 m. Esto nos permitió obtener un diseño geoestadístico de los puntos de muestreo a una profundidad de 0-15 cm cada uno. Finalmente se realizaron mediciones del rendimiento del cultivo en época de cosecha. Etapa de laboratorio: Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo seleccionadas en el Laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos del N.U.R.R. con los instrumentos y recursos disponibles: pH en agua, relación 1:2,5 (Potenciómetro y extracción a la pasta). Conductividad Eléctrica (Método del Conductímetro y extracción a la pasta). Fósforo (Método de Olsen). Potasio (Método de Bray). Textura (Método de Bouyoucos). Plan de trabajo final: Los datos obtenidos se analizaron usando los parámetros estadísticos clásicos (media, coeficiente de variación, varianza, desviación estándar, mínimo y máximo). Se aplicaron las técnicas de la Geoestadística ya descrita para definir la variabilidad de los suelos.

Tabla 1. Estadística descriptiva de algunas variables del suelo y del cultivo de caña de azúcar del Tablón 17.

Variable	Media X	D.E S	Varianza S ²	C.V %	Min	Máx.
pH	7,39	0,87	0,75	11,71	4,6	9,12
C.E (dS/m)	0,36	0,17	0,03	46,9	0,14	0,83
P(mgkg ⁻¹)	38,13	24,24	587,45	63,56	2,38	114,22
K (mgkg ⁻¹)	58,33	59,26	3512,24	101,59	0,2	259,26
% a	20,42	2,98	8,92	14,49	16	26
% A	13,93	5,47	29,89	39,94	8	24
% L	65,69	28,56	5,34	8,14	58	72
Rend (Mgha ⁻¹)	137,16	95,29	9081,47	69,48	30	382

Los parámetros estadísticos usados fueron: La semivarianza, semivariogramas de modelos esféricos, gaussianos, nugget, exponenciales y otros semivariogramas de los modelos ajustados. También se determinaron las correlaciones y regresiones simples con la finalidad de establecer la relación entre las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 1 y 2 se presentan las estadísticas descriptivas de las variables químicas y físicas del suelo. Partiendo de los parámetros estadísticos Media, Máximo y Mínimo se infiere que los parámetros del suelo son muy variables, en especial las medidas de pH, P, K, y el Rendimiento de ambos tablones.

En el caso del pH podemos observar que tenemos sitios donde el pH del suelo es medianamente ácido, hasta sitios fuertemente alcalinos en el Tablón 17, mientras que en el Tablón 5 todos los suelos son alcalinos con pH superiores a 7,58.

En la conductividad eléctrica, también existen diferencias entre ambos tablones, siendo mayor el rango de variación en el Tablón 5, en donde los valores van desde 0,22 dSm-1 hasta 4,33 dSm-1. Cuando se analizan los nutrientes en ambos tablones, se observa que hay una altísima variabilidad en estos suelos lo cual incide en la producción de caña de azúcar, sin embargo se debe notar que el

Tabla 2. Estadística descriptiva de algunas variables del suelo y del cultivo de caña de azúcar del Tablón 5.

Variable	Media X	D.E S	Varianza S²	C.V %	Min	Máx.
pH	8,65	0,60	0,36	6,96	7,58	10,23
C.E (dS/m)	0,88	0,79	0,62	89,67	0,22	4,33
P(mgkg⁻¹)	38,63	19,39	375,82	50,19	0,60	85,48
K (mgkg⁻¹)	71,47	61,42	3772,36	85,95	0,80	254,50
% a	25,08	4,37	19,07	17,42	20	34
% A	12,31	4,75	16,26	6,44	8	24
% L	65,69	28,56	5,34	8,14	54	68
Rend (Mgha⁻¹)	141,85	75,95	5769,02	53,55	6	315

potasio es un elemento altamente requerido para este cultivo y por lo tanto debe ser tomado en cuenta al momento de la fertilización.

De acuerdo a las variables físicas (a, A, L) tienen un rango de valores semejantes en ambos tablones. Se observa que la variable porcentaje de limo es la mas alta en ambos tablones pudiendo ser esto la causa primordial de los problemas de mal drenaje que se presenta en el campo.

La variable Rendimiento del cultivo presenta también una alta variabilidad con valores de (137.1 – 141.8) Mg ha-1 en ambos tablones y un rango de (30 - 382) Mg ha-1 en ambos tablones y un rango de (6 - 382) Mg ha-1. Analizando el CV se deduce que las variables P, K, y el rendimiento del cultivo presentan valores cercanos y mayores al 50%, el resto de las variables tienden a ser menores al 50% en ambos tablones, a excepción de la CE en el Tablón 5, con un valor de 89.67 %.

En las Tablas 3 y 4 se presentan la regresión lineal simple y el coeficiente de correlación simple de las variables del suelo y el rendimiento del cultivo. En la Tabla 3 se observa que el coeficiente de determinación mas alto es (R2 = 0,11)

Tabla 3. Regresión lineal y coeficiente de correlación simple entre las variables de suelo y el rendimiento en el Tablón 17.

Variable Independiente Suelo	Ecuación Y = a + bx	r	R ²
pH	R = -0,0195+0,051 pH	0,147	0,07
C.E (dSm ⁻¹)	R = 141,929+104,50 CE	0,098	0,009
P (mgkg ⁻¹)	R = 136,308+1,130 P	0,15	0,02
K (mgkg ⁻¹)	R = 201,301-0,52 K	-0,11	0,01
a %	R =5,983+7,728% a	0,23	0,05
L %	R = 87,142,+3,84% L	-0,33	0,04
A %	R = 247,16-5,979% A	0,21	0,11

R² = Coeficiente de determinación de la variable, r = Coeficiente de Correlación de la variable, R = Rendimiento del Cultivo

Tabla 4. Regresión lineal y coeficiente de correlación simple entre las variables de suelo y el rendimiento en el Tablón 5.

Variable Independiente Suelo	Ecuación Y = a + bx	r	R ²
pH	R = 327,133 – 21,423 pH	-0,17	0,02
C.E (dSm ⁻¹)	R = 160,523 – 21,311 CE	-0,22	0,049
P (mgkg ⁻¹)	R = 174,05 – 0,834 P	-0,21	0,05
K (mgkg ⁻¹)	R = 132,761 + 0,127 K	-0,10	0,02
a %	R = 340,414 – 8,513 % a	-0,48	0,23
L %	R = -558,88 + 10,9 % L	-0,57	0,33
A %	R = 135,45 – 0,693 % A	-0,04	0,01

R² = Coeficiente de determinación de la variable, r = Coeficiente de Correlación de la variable, R = Rendimiento del Cultivo

para la variable Arcilla, indicando esto que el contenido de arcilla explica solo un 11 % de la variabilidad total. En la Tabla 4 los coeficientes de determinación mas altos son ($R^2=0,33$ y $0,23$) para las variables limo y arena respectivamente, indicando que estas variables si tienen una relación acentuada con el rendimiento del cultivo, y explican un total del 56% de la variabilidad total, ($R^2 = 33\%$ limo, 23% , arena).

De acuerdo al análisis de correlación (Pearson), establecido entre las variables del suelo y del cultivo se puede deducir lo siguiente. En el Tablón 17, las variables K y L inciden negativamente (correlaciones negativas), en especial la variable limo: $r = -0,33$, mientras que en el Tablón 5 todas las correlaciones son negativas, en especial las variables porcentaje de limo y arena: $r = -0,57$ y $r = -0,48$ respectivamente.

Observaciones hechas en el terreno, indican que aquellas zonas donde el porcentaje de limo es alto existen problemas críticos de mal drenaje, lo cual se refleja en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar, cultivo altamente susceptible a los problemas de aguachinamiento y salinidad.

En el presente estudio se analiza la distribución espacial de las variables del suelo y del cultivo a través de un análisis geoestadístico de la semivarianza a intervalos crecientes en todas las direcciones posibles de las mallas de puntos muestreados. Para este analisis se utilizo un programa de computadora cuyo autor es Pannatier (1996). Esto permitió construir y modelar los semivariogramas omnidireccionales para todas las variables del suelo y del cultivo, asi podemos evaluar la dependencia espacial examinando dichos semivariogramas. Con la información de estos semivariogramas se establecieron los siguientes parámetros (Nugget) “Co”, el cual representa la varianza aleatoria o al azar; C1 = varianza espacial o estructural,

Tabla 5. Parámetros geoestadísticos estructurales para modelos seleccionados de semivariogramas omnidireccionales en el Tablón 17.

Variable	Nugget “Co”	V.E “CI”	Sill “Co+CI”	Rango “a”	Co/Co+CI %	C.D.E	Modelo
pH	0,648	0,152	0.8	30	81	D	Gaussiano
C.E (dSm ⁻¹)	0,015	0,017	0,032	45	46,87	M	Esférico
P (mgkg ⁻¹)	483,8	129,8	613,6	49	78,85	D	Gaussiano
K (mgkg ⁻¹)	2310	1540	3850	43	60	M	Esférico
% a	8,3	0,83	9,13	4	90,9	D	Gaussiano
% A	23,52	6,16	29,68	62	79,24	D	Esférico
% L	25,92	1,35	27,27	17	95,04	D	Esférico
Rendimiento Mg ha ⁻¹	5400	4410	9810	54	55,05	M	Esférico

VE = variación espacial, CDE = clase de dependencia espacial, M = moderada, F = fuerte, D = débil

Sill (umbral o máximo valor de la varianza), Rango o Alcance (a), es el rango de dependencia espacial expresado en metros, y la relación $Co/(Co + C1) \times 100$, la cual expresa el porcentaje de la varianza al azar sobre la varianza total.

En la Tabla 5 se presentan estos parámetros, además la clase de dependencia espacial (CDE) y el tipo de modelo de los semivariogramas omnidireccionales. El comportamiento espacial de los atributos del suelo y del cultivo fue evaluado a través de los modelos fijados a sus semivariogramas. Como se puede observar, los rangos de dependencia espacial presentan una variación desde 4 m para la variable porcentaje de arena (a) hasta 62 m para el porcentaje de arcilla (A). Por otra parte, las variables K, P, CE, pH presentan rangos entre 30 y 49 m, mientras el Rendimiento del cultivo muestra un rango de 54 m. En general, la relación del efecto Nugget (Co) sobre el Sill (Co +C1) expresado en porcentaje es bastante alto tanto en el Tablón 17 como en el Tablón 5. Estos valores oscilan entre 46,78 % para CE y 95,04 % para el Rendimiento en el Tablón 17, mientras en el Tablón 5 van desde 29,57 % para porcentaje de arcilla hasta 93,94 % para el potasio. Esto indica dos clases de dependencia espacial (CDE), las cuales podemos agrupar de la siguiente manera: débil dependencia espacial para las variables pH, P, a, A, L, y moderada para la CE, K y Rendimiento (Cambardella, et al, 1994). Aquellas variables con moderada dependencia espacial para la CE y el K, poseen una muy buena y bien definida estructura espacial.

En cuanto a los modelos de semivariogramas encontrados en las diferentes variables analizadas, encontramos cinco de tipo gaussianos, dos de forma esférica y uno exponencial. Si partimos del principio que en las Tablas 5 y 6 las muestras tomadas dentro de un rango de dependencia espacial están espacialmente

Tabla 6. Parámetros geoestadísticos estructurales para modelos seleccionados de semivariogramas omnidireccionales en el Tablón 5.

Variable	Nugget "Co"	VE "CI"	Sill "Co+CI"	Rango "a"	Co/Co+CI %	C.D.E	Modelo
pH	0,252	0,104	0,356	61	70,8	M	Exponenc.
C.E (dSm ⁻¹)	0,413	0,273	0,686	69	60,2	M	Esférico
P (mgkg ⁻¹)	242,6	180,9	423,5	9	57,3	M	Gaussiano
K (mgkg ⁻¹)	3534	228	3762	40	93,94	D	Gaussiano
% a	14,76	7,2	21,96	8,5	67,21	M	Gaussiano
% A	8,82	21	29,82	75	29,57	M	Gaussiano
% L	13,12	3,68	16,8	35	78,09	D	Esférico
Rendimiento Mg ha ⁻¹	4060	2204	6264	68	64,81	M	Gaussiano

VE = variación espacial, CDE = clase de dependencia espacial, M = moderada, F = fuerte, D = débil

correlacionadas, se deduce, que el rendimiento de la caña de azúcar tanto en el Tablón 17 como en el Tablón 5, con rangos de 54 m y 68 m respectivamente, van a depender de una combinación de variables de amplio rango y corto rango de dependencia espacial según los resultados encontrados. En estos casos es difícil dilucidar cual de estas variables tiene una mayor correlación con el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

Del análisis de la estadística clásica se concluye que algunas variables como K y Rendimiento para el Tablón 17 y K y CE para el Tablón 5 presentan coeficientes de variación (CV) mayores del 65%, estos valores son altos. El resto de las variables presentaron (CV) medios y bajos para los dos tablones. Los coeficientes de correlación (r) de las variables de suelo (pH, P, a y A) con respecto al rendimiento para el Tablón 17 son positivas, lo cual indica que existe una relación que no afecta negativamente al cultivo. Mientras que las variables (K y L) presentan correlaciones negativas respecto al rendimiento, indicando que estas variables podrían estar influyendo negativamente el desarrollo del cultivo. En el Tablón 5 los coeficientes de correlación (r) la mayoría son negativos, trayendo como consecuencia bajos rendimientos. También es importante resaltar que el valor de (r) para el limo en este tablón es alto (-0,57).

Observaciones hechas en el terreno indican que aquellas zonas donde el limo es alto existen problemas críticos de mal drenaje, y como consecuencia falta oxígeno para el desarrollo normal del cultivo. Los coeficiente de determinación (R^2) de las variables pH y arcilla se presentan con mayor valor, 0,07 y 0,11 para el Tablón 17, mientras en el tablón 5, las variables % limo y arena presentan valores de 0,33 y 0,23 respectivamente, indicando que la variable limo si incide negativamente en el rendimiento del cultivo. En comparación con las otras variables los coeficientes de determinación son bajos y no presentan ninguna relación significativa con el cultivo para ambos tablones.

Del análisis geoestadístico se puede concluir que el Nugget (varianza aleatoria o al azar) se presenta en una proporción alta en la mayoría de los semivariogramas en ambos tablones, lo cual indica que en estos suelos muchas de las variables analizadas tienen una distribución espacial con un marcado efecto aleatorio, tal vez debido a que son suelos de origen aluvial sometidos a un manejo intenso y a un continuo efecto de inundaciones todos los años. En cuanto al rango de dependencia espacial se encontró que existen valores de 4 m hasta 75 m, indicando esto que tienen un amplio rango de dependencia espacial y por lo tanto diferentes zonas de influencia dependiendo de la variable que se está analizando. Podemos concluir que el uso de la tecnología y de la agricultura de precisión nos permiten obtener

un mejor y mayor conocimiento de la variabilidad espacial y del rendimiento del cultivo a nivel de los tablones de caña, lo cual era antes de analizar.

El uso de esta técnica nos permitirá evaluar si el potencial productivo de una parcela 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 un mejor rendimiento promedio de la misma. También es posible detectar las áreas menos productivas.

El uso de esta metodología determina un cambio significativo en las herramientas estadísticas utilizadas tradicionalmente por la investigación, donde la variabilidad espacial estaba aislada del análisis, para ser ahora el componente de mayor interés. Debiéndose de esta manera comenzar a utilizar conceptos de geoestadística en el estudio de la información, previamente no tomada en cuenta.

Las acumulaciones de sales observadas en el campo y citadas en los trabajos de Fernández (2005) y Gubinelli y Pérez(2004) también explican que la variable potasio, indispensable para el desarrollo y producción de la caña de azúcar, se vea altamente afectada en su distribución espacial dentro de los tablones, especialmente por fijación y retención en el complejo coloidal o por estas mismas sales.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue financiada con fondos del CDCHT de la Universidad de Los Andes, Venezuela.

LITERATURA CITADA

- Cambardella, C. A.; t. B. Moorman; J. M. Novak; D. L. Karlen; R. F. Turco y A. E. Konopka. 1994. Field – scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: pp. 1501 – 1511.
- Fernández, O. 2005. Variabilidad espacial y uso del manejo sitio específico de la fertilidad del suelo en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Monay Estado Trujillo. Trabajo de ascenso. ULA. NURR.
- Gubinelli A. y R. Perez. 2004. Influencia de la variabilidad espacial de algunas propiedades del suelos sobre parámetro del cultivo de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) Operadora Agrícola Rafael Rangel. Tesis de Grado, ULA. NURR.
- Ortega, B. y L. Flores. 1999. Agricultura de precisión. Introducción al manejo de sitio-específico. CRI Quilamapu INIA. Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Chillan-Chile.

- Ortega, R.; D. Westfall y G. Peterson. 1996. Spatial variability of soil P and its impact on dry land winter wheat. Agron. Abstracts. P.231. Amer.Soc.of Agron. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Palomino, R. 2002. Influencia de la variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo sobre el rendimiento del cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*) en la Finca "El Reto". NURR-ULA. Estado Trujillo.
- Pannatier, Y. 1996. VARIOWIM. Software for spatial data analysis in 2D. Springer. Institute of Mineralogy. University of Lausanne. Switzerland