
**VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA SALINIDAD EN SUELOS
REGADOS CON AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA DE RIEGO
TAIGUAIGUAY, VENEZUELA**

Franky Méndez Romero y Francisco Zapata Navas

RESUMEN

Se determinó de la variabilidad espacial de la salinidad en suelos del sistema de riego Taiguaiquay, ubicado en la región centro norte de Venezuela, entre los municipios Sucre, Lamas y Zamora del Estado Aragua. Se ubicaron puntos de muestreo y se recolectaron 254 muestras de suelo del estrato superficial (0-20cm) en cuadrículas equidistantes de 500x500m. El patrón de variabilidad espacial se consiguió a través del empleo de técnicas de krigeado, mediante un análisis exploratorio a los datos procedentes de las muestras con eliminación de los datos atípicos y así cumplir con la estacionariedad de los datos. La variabilidad espacial se conoció haciendo uso de herramientas geoestadísticas con los programas Statistix 8.0, Vesper 1.6 y Arc View 3.2. Los semivariogramas ge-

nerados se ajustaron manualmente a un modelo teórico tipo esférico. La salinidad fue medida a través de la conductividad eléctrica (CE_e) en el extracto de saturación. Los resultados indican que los suelos pertenecientes a la región aluvial están compuestos por un 65% de suelos normales ($CE_e \leq 2dS\cdot m^{-1}$), 28% con ligeras a moderadas concentraciones de sales ($CE_e 2-8dS\cdot m^{-1}$) y 7% con fuerte a extrema salinidad ($CE_e > 8dS\cdot m^{-1}$). Los suelos pertenecientes a la región lacustrina poseen un 38% de suelos normales ($CE_e \leq 2dS\cdot m^{-1}$) y 62% con ligeras a moderadas concentraciones de sales ($CE_e 2-8dS\cdot m^{-1}$). De 5582ha cultivadas en la zona se encontró que un 40% esta potencialmente afectada por problemas moderados a fuertes por salinidad.

Introducción

Existe preocupación acerca de los cambios que están teniendo lugar en la calidad de los suelos debido al mal manejo de proyectos de desarrollo agrícola bajo riego, pero no hay una observación y supervisión formal de qué

es lo que está cambiando, en qué sentido y a qué velocidad. El mejoramiento que se aprecia en la calidad de los suelos en un determinado momento se puede atribuir a proyectos y programas de desarrollo, en muchos casos estimados en forma aproximada, o simplemente se trata de expresiones

de deseos, en lugar de haber sido obtenidos a través del uso correcto de indicadores o como resultado de la aplicación de planes de supervisión y análisis. Sumado a lo anterior y de forma reversible, la calidad de los suelos también está siendo afectada por el inminente deterioro de la

calidad de las aguas superficiales y sus almacenamientos superficiales, los cuales se han convertido con el tiempo en los principales colectores de descarga de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas (Méndez *et al.*, 2005)

La zona del sistema de riego Taiguaiquay es parte del

PALABRAS CLAVE / Geoestadística / Salinidad / Taiguaiquay / Variabilidad Espacial /

Recibido: 10/02/09. Modificado: 19/03/2010. Aceptado: 22/03/2010.

Franky Méndez Romero. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Tachira (UNET), Venezuela. M.Sc. en Ingeniería de Riego y Drenaje, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental Territorial (CIDAT-ULA).

M.Sc. en Estrategias y Gestión Ambiental, Universidad de Valencia, España. Doctor en Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España. Dirección: Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía, Uni-

versidad Central de Venezuela. Av. Universidad Vía el Limón. Maracay, Venezuela. e-mail: frankymendez@gmail.com

Francisco Zapata Navas. Ingeniero Agrónomo, Universidad Central de Venezuela. Doctor en Agroplasticultura, Informática y Automática en Agriculturas Avanzadas, Universidad de Almería, España. e-mail: zapataf@gmail.com

SALINITY SPATIAL VARIABILITY IN SOILS IRRIGATED WITH RESIDUAL WATERS FROM THE TAIGUAIGUAY IRRIGATION SYSTEM, VENEZUELA

Franky Méndez Romero and Francisco Zapata Navas

SUMMARY

The determination of soil salinity in the irrigation system Taiguaiquay, located in the Aragua State, Venezuela, was carried out with the systematic extraction of 254 soil samples of the surface layer (0-20cm). Soil sampling was done in an equidistant grid of 500x500m. To determine the spatial variability by kriging, an exploratory analysis was performed to all the data from the samples, atypical data was removed and the compliance with stationary behavior was confirmed. The spatial variability was studied using the tools of geostatistics through the Statistix 8.0, Vesper 1.6 and Arc View 3.2 programs. The semi-variogramas generated were manually adjusted to a theoretical

spherical type model. The salinity was assessed through the measurement of electrical conductivity in the saturation extract. The results show that soils from the alluvial region consist of 65% of normal soils ($EC \leq 2dS\cdot m^{-1}$), 28% with light to moderate concentrations of salts (EC of $2-8dS\cdot m^{-1}$) and 7% with strong to extreme salinity ($EC > 8dS\cdot m^{-1}$). Soils from the lake region include 38% of normal soils ($EC \leq 2dS\cdot m^{-1}$) and 62% with light to moderate concentrations of salts (EC of $2-8dS\cdot m^{-1}$). It was found that, out of 5582ha of farmland in the area, 40% is potentially affected by moderate to strong salinity problems.

VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE EM SOLOS IRRIGADOS COM ÁGUAS RESIDUAIS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO TAIGUAIGUAY, VENEZUELA

Franky Méndez Romero e Francisco Zapata Navas

RESUMO

Determinou-se a variabilidade espacial da salinidade em solos do sistema de irrigação Taiguaiquay, situado na região centro norte da Venezuela, entre os municípios Sucre, Lamas e Zamora do Estado Aragua. Localizaram-se pontos de amostragem e foram recolhidas 254 amostras do solo do estrato superficial (0-20cm) em quadrículas equidistantes de 500x500m. O padrão de variabilidade espacial foi achado, através do emprego de técnicas de krigeado, mediante uma análise exploratória aos dados procedentes das amostras com eliminação dos dados atípicos e assim cumprir com a estacionariedade dos dados. A variabilidade espacial foi conhecida fazendo uso de ferramentas geoestatísticas com os programas Statistix 8.0, Vesper 1.6 e Arc View 3.2. Os

semivariogramas gerados se ajustaram manualmente a um modelo teórico tipo esférico. A salinidade foi medida através da condutividade elétrica (CE_e) no extrato de saturação. Os resultados indicam que os solos pertencentes à região aluvial estão compostos por 65% de solos normais ($CE_e \leq 2dS\cdot m^{-1}$), 28% com ligeiras a moderadas concentrações de sais (CE_e $2-8dS\cdot m^{-1}$) e 7% com forte a extrema salinidade ($CE_e > 8dS\cdot m^{-1}$). Os solos pertencentes às regiões lacustrina possuem 38% de solos normais ($CE_e \leq 2dS\cdot m^{-1}$) e 62% com ligeiras a moderadas concentrações de sais (CE_e $2-8dS\cdot m^{-1}$). De 5582ha cultivadas na zona se encontrou que 40% está potencialmente afetada por problemas moderados a fortes por salinidade.

área decretada como "Área Crítica con Prioridad de Tratamiento de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Valencia", según Decreto N° 304 (Decreto, 1979), el cual fue promulgado con la finalidad de aplicar una política integral de ordenamiento territorial, y su meta es la racionalización de la ocupación del espacio, el aprovechamiento planificado y con bases científicas de los recursos naturales, y muy especialmente el tratamiento y recuperación de las aguas del lago y sus zonas ribereñas. (López, 1999).

La salinidad del suelo puede tener dos orígenes: La salinidad endógena producto de la disolución de minerales formadores de suelo por meteorización y el consiguiente

incremento de cationes solubles, o por la presencia de sales en el perfil del suelo como resultado de la génesis del mismo. El otro tipo de salinidad es la exógena o inducida, originada por el aporte externo de sales por parte de algún agente de transporte, principalmente el agua asociada a la falta de un drenaje adecuado. El agua de riego puede constituirse en la principal fuente de sales en un suelo cultivado (Méndez, 2003).

Los indicadores de gestión agroambientales deben, por lo tanto, servir para lograr una mejor comprensión de los complejos problemas que plantean la agricultura y el medio ambiente, para mostrar la evolución a lo largo del

tiempo, y para proporcionar información cuantitativa, todo lo cual es imprescindible para fijar objetivos y efectuar un seguimiento. Sin embargo, para ser significativos, los indicadores deben ofrecer una visión suficientemente precisa de los procesos y relaciones subyacentes que vinculan la actividad humana con el medio ambiente. Ello se aplica particularmente a la agricultura, ámbito en el que la relación es sumamente compleja y en el que la propia actividad entraña una serie de procesos biofísicos que varían en función del lugar considerado.

El objetivo del presente estudio fue el de valorar espacialmente la salinidad a través de la conductividad

eléctrica (CE_e) como un indicador de gestión agroambiental en suelos del sistema de riego Taiguaiquay.

Materiales y Métodos

La información se levantó y se ejecutó en tres fases: revisión bibliográfica, ubicación del sitio de estudio y muestreo de suelo, y análisis de laboratorio, montaje de base de datos y procesamiento de la información.

Revisión Bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica de artículos y documentos concernientes a la actual problemática de la zona bajo riego en el sistema de riego Taiguaiquay.

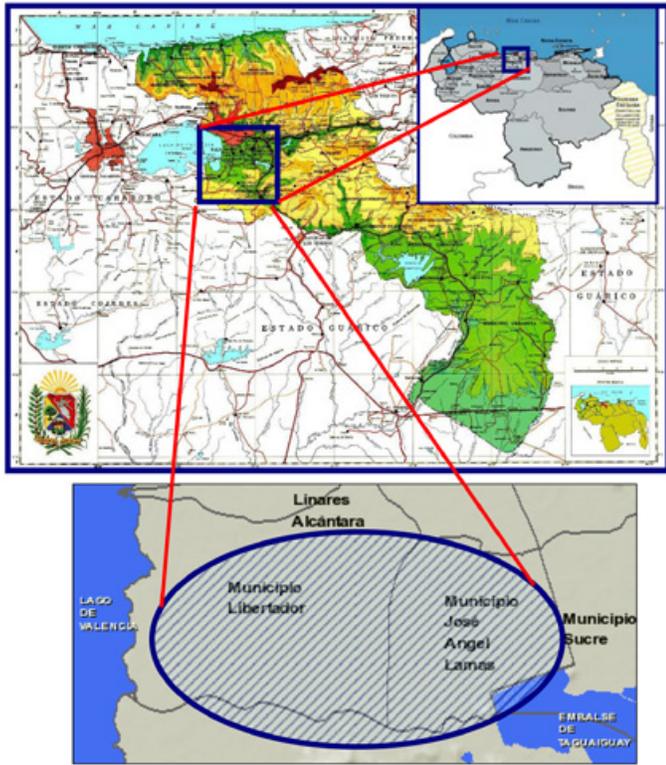


Figura 1. Ubicación Zona de Estudio área bajo riego sistema de riego Taguaiguay.

Ubicación del sitio de estudio y muestreo de suelo

El estudio se llevó a cabo en el sistema de riego Taguaiguay, ubicado en los valles del Estado Aragua, Venezuela, entre los Municipios Libertador, Lamas y Zamora, (Figura 1). La zona de estudio posee un área de ~7000ha, con una precipitación promedio anual de 921mm y una temperatura media entre 25 y 26°C. Los suelos de la zona se originaron de conglomerados metamórficos y esquistos. Este material original meteorizado se depositó principalmente en aluviones recientes primero; y como suelos lacustres en segundo lugar. Estos suelos se desarrollaron bajo una precipitación pluvial moderada con estaciones alternadas de sequía y lluvia, y temperaturas muy elevadas. Gran parte de la zona no ha sufrido meteorización, y es de reacción básica debido a la presencia de capas margosas formadas por pequeñas

conchas de caracol (Pineda, 1999).

Hay dos grandes clases de suelo en el área, los aluviales y los lacustrinos. Los aluviales muestran una gradación en el sentido descendente de la pendiente que varía de material grueso a material fino. El subsuelo es frecuentemente más grueso y sin meteorizar, lo que permite un mejor drenaje interno. Por otra parte, los suelos lacustrinos poseen horizontes margosos provenientes de capas de concha de caracol. Los materiales sedimentarios coloidales orgánicos e inorgánicos cercanos al lago tienen un alto contenido de humedad y una consistencia suave y elástica cuando se dejan sin regar lo suficiente para cultivarlos (Pineda, 1999).

En estos suelos predomina la serie de suelo Maracay, con texturas Franco arenosa y Franco limosa, pendiente general de 1%, drenaje interno moderadamente lento, perfil calcáreo, pH entre 7,7

y 8 con buenas características de fertilidad y productividad. La salinidad medida a través de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CE_c) fue valorada de acuerdo a Pizarro (1985).

Para proceder a la ubicación de los puntos de muestreo, se determinó el número de muestras mediante el método del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (Comité, 2006) determinándose un tamaño de muestra de $n=374$ utilizando la ecuación

$$n = \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{C}} \quad (1)$$

donde C: longitud de los lados de cada cuadro, a: superficie, y n: número de muestras. Sustituyendo en Ec. 1 se obtiene que $a=7000ha \times 10000m$ y $C=500m$, valor asumido tomando en cuenta que solo se colectaron en campo 254 muestras de suelo. No se completó el tamaño de muestra planificado debido a diversos factores, tales como el incremento de los niveles del lago de Valencia, presencia de infraestructuras, vialidad y urbanismo, entre otros. Así mismo, la selección de los primeros 20cm de profundidad de muestreo en cada punto se hizo debido a que la mayor superficie de los suelos esta cultivada

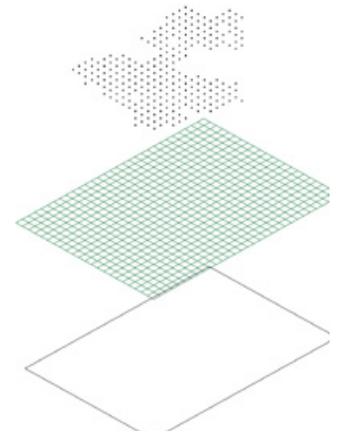


Figura 2. Superposición de capas para ubicar puntos de muestreo.

con hortalizas o pastos de raíces poco profundas y a la intensidad de muestreo, considerando además que hasta esa profundidad se pueden alcanzar potencialmente efectos de la disminución del rendimiento relativo de los cultivos por efecto de las sales.

Se procedió a ubicar espacialmente los puntos de muestreo siguiendo la metodología de muestreo sistemático expuesta por Espinoza (1998). Los puntos de muestreo se situaron como se indica en la Figura 2, es decir, sobre la base de una cuadrícula o malla espaciada por 500m de distancia entre punto y punto, la cual fue superpuesta sobre un ortofotomapa georeferenciado de la zona de estudio (carta 6646-IINE) a escala 1:25000

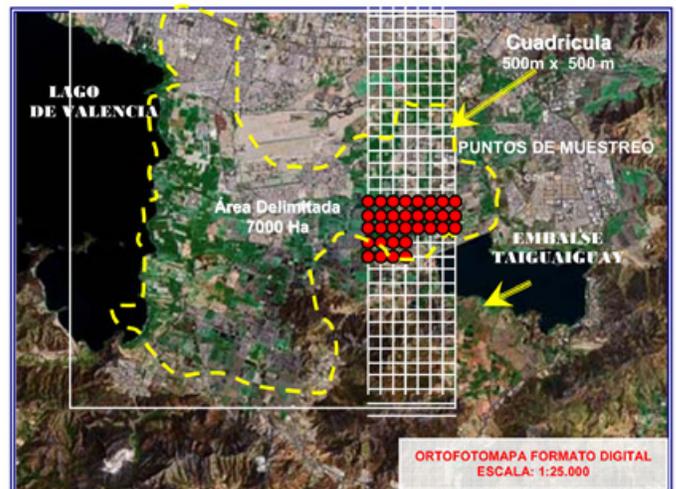


Figura 3. Ortofotomapa de la zona de estudio.

TABLA I
MEDIA Y VARIANZA DE LA CE_e

Variable	N	Media	Varianza	Error demuestreo
CE _e (ds m ⁻¹)	254	2,08	6,60	0,078

en formato digital, haciendo uso de las herramientas de dibujo CAD, tal como se aprecia en la Figura 3.

Ubicación de los puntos de muestreo en campo y recolección de muestras

Para obtener las coordenadas de los puntos de muestreo en campo se empleó un navegador personal (GPS) marca Garmin Modelo eTrex-Vista. Una vez ubicadas las coordenadas del punto, se procedió a tomar las muestras de suelo con las siguientes consideraciones y recomendaciones de USSLS (1954).

En cada punto de muestreo se limpió un área de aproximadamente ~100×100cm, se tomó una muestra ~2kg de suelo hasta una profundidad de 20cm y se le depositó en un recipiente para su homogenización. Luego se envasó en bolsas plásticas y se identificó cada bolsa con una etiqueta donde se señalaba: coordenadas del punto de muestreo, fecha, cultivo y altitud. El conjunto de muestras se trasladó al Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía UCV para ser procesadas.

Análisis de laboratorio

Para el análisis de laboratorio, las muestras consistentes de ~2kg de suelo cada una fueron secadas al aire para posteriormente ser trituradas y pasadas por un tamiz N° 2. Se preparó una pasta de suelo saturada, que se dejó en reposo durante 24h, para luego ser filtrada a través de un embudo filtro Buchner con papel filtro Whatman N° 40 haciendo uso de una bomba de

vacío, para así obtener el extracto de saturación. A cada extracto así obtenido le fue determinada la conductividad eléctrica (CE_e).

Montaje de la base de datos

El procesamiento de los datos en los programas geoestadístico VESPER (*Variogram estimation and spatial prediction with error*) y Arc View/GIS 3.2 se hizo a través del montaje de los mismos en hojas del programa Excel.

Análisis geoestadístico de datos

Como herramienta metodológica para obtener la distribución espacial de la CE_e se utilizó la geoestadística. Existen muchos antecedentes de su aplicación, siendo a menudo utilizada en estudios sobre otras propiedades del suelo (Warrick y Nielsen, 1981; Or y Hanks, 1992).

En el presente estudio se determinó la variabilidad espacial y distribución de la CE_e con la finalidad de

TABLA II
MEDIA Y VARIANZA DE LA CE_e PARA LA REGIÓN LACUSTRINA Y ALUVIAL

Región	N	Media	Varianza	Error de muestreo
Lacustrina	144	2,18	5,88	0,0025
Aluvial	110	1,95	2,56	0,251

conocer los niveles de afectación por sales en suelos de la zona de estudio a través de la determinación de la existencia de estacionaridad de la varianza y la media y el ajuste del semivariograma previa estimación de la semivarianza. Para un conjunto de valores $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)$ de una propiedad del suelo en posiciones x_1, \dots, x_n , se estima la semivarianza $\gamma(h)$ (Webster, 1985) como

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}n(h)\sum_i [Z(X_i) - Z(X_i-h)]^2$$

donde $n(h)$: número de pares separados por una distancia h .

Resultados y Discusión

Con base en la información de la conductividad eléctrica del extracto de la pasta de suelo saturada (CE_e, dS·m⁻¹) empleada para generar un indicador en la gestión de la concentración total de sales disueltas en la solución de suelo, y con base en la distribución del territorio en el

área de estudio, se encontraron dos regiones geomorfológicas distintas, lacustrina y aluvial, las cuales presentan marcadas diferencias de suelos y de posiciones en el relieve, lo cual permite expresar aun mejor los resultados objeto de este estudio.

Análisis estadístico de los datos

Se exploró la base de datos y se extrajo cada uno de los valores estadísticos descriptivos de la variable CE_e, verificándose la presencia de estacionaridad en el cálculo de la media y la varianza de los 254 datos de CE_e (Tabla I). Se obtuvo que para 254 datos, la media y la varianza no cumplen con el supuesto de estacionaridad ya que según Vilorio (1999) la estacionaridad estadística no es más que la variación de la propiedad interpolada en el área considerada, o al menos, en la vecindad de interpolación, la cual debe ser homogénea. De esta forma se espera que el valor esperado de la variable z en cualquier sitio x debe ser su media aritmética o aproximarse a ella.

Las diferencias entre valores en sitios separados por una distancia dada deben ser independientes de la localización real de los mismos y de los valores reales de la propiedad. Esas diferencias deben depender solo de la distancia y dirección entre los sitios, para que puedan ser predichas adecuadamente por el semivariograma. Cuando las condiciones de estacionaridad se cumplen, el krigado provee estimados exactos de los valores de la propiedad interpolada en los sitios no muestreados

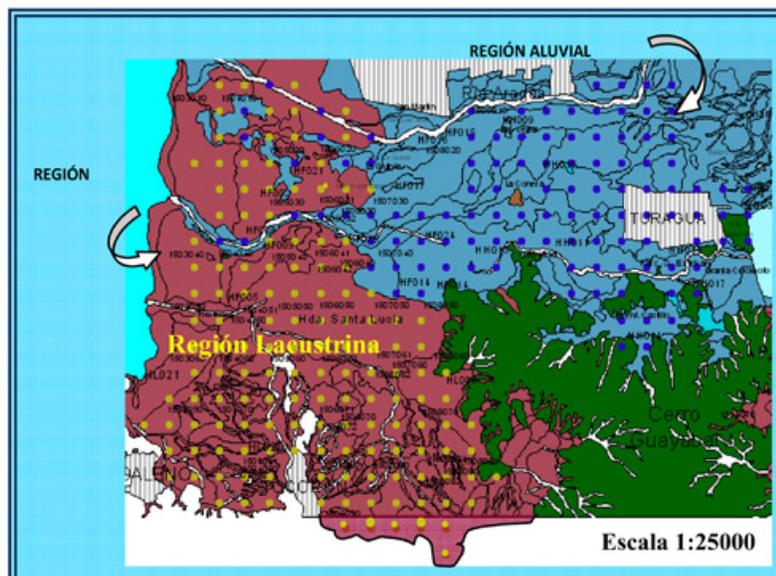


Figura 4. Conjunto de puntos de muestreo de la CE_e divididos en las regiones aluvial y lacustrina.

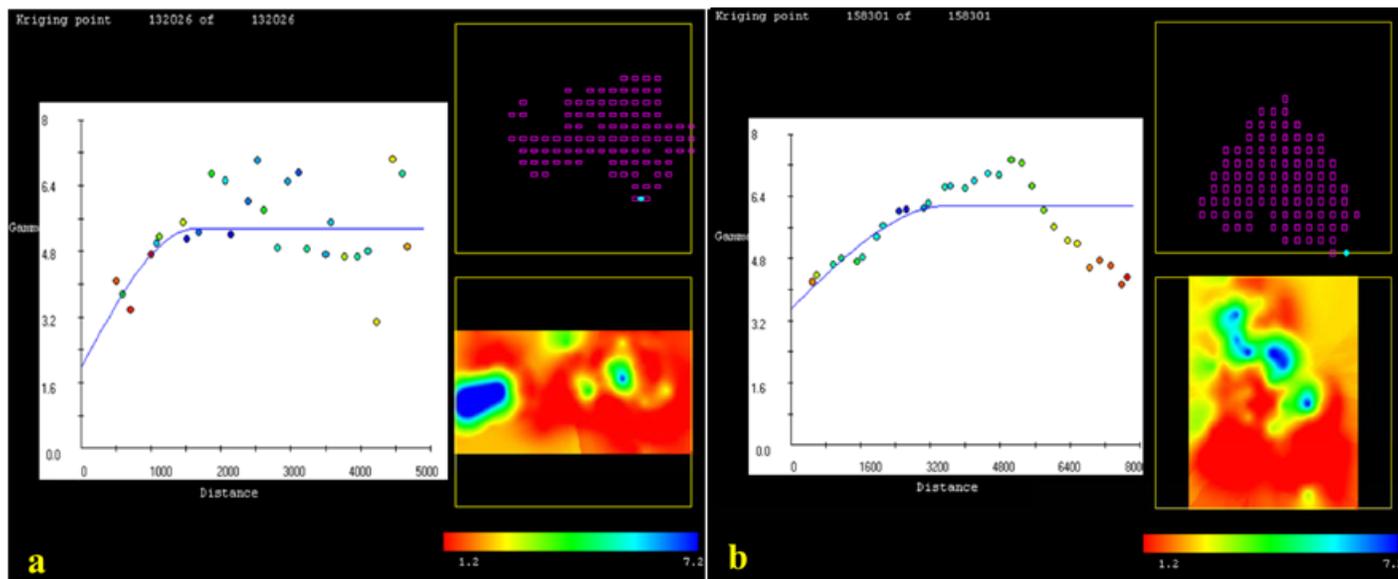


Figura 5. Semivariograma generado por el programa VESPER para a: suelos aluviales, y b: suelos lacustrinos.

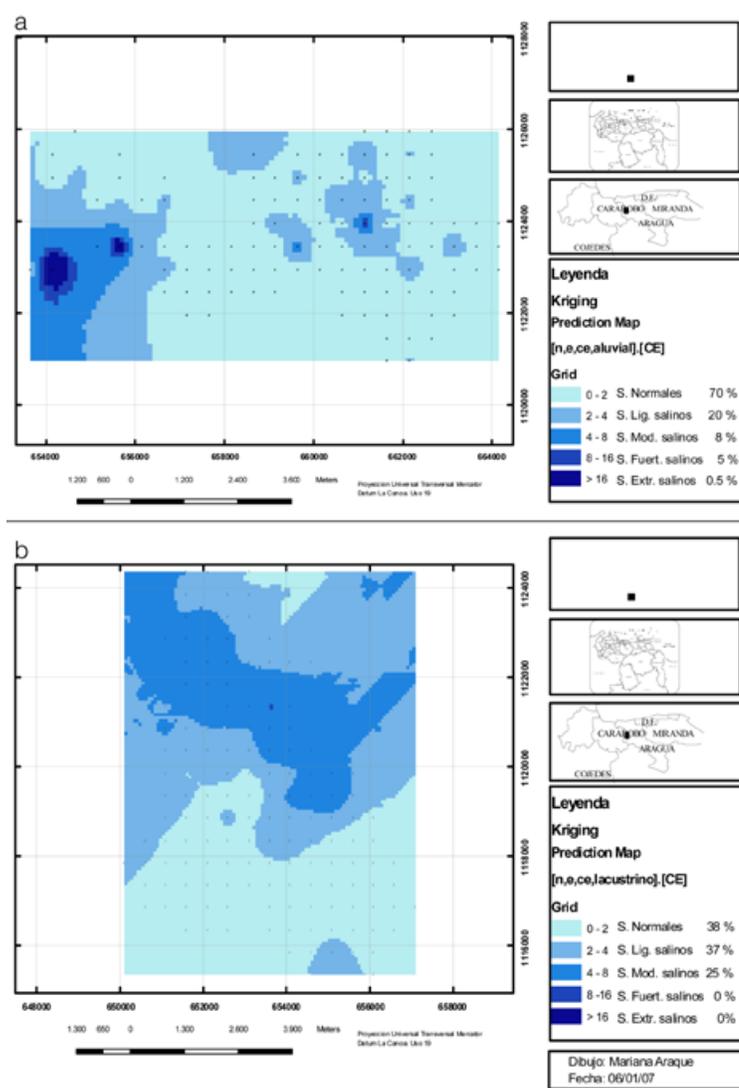


Figura 6. Mapa de CEE para a: la región aluvial, y b: región lacustrina del sistema de riego Taiguaiguay.

con varianza de estimación conocida y mínima.

Al no existir estacionaridad en el conjunto de datos, como se explicó anteriormente, se realizó nuevamente el estudio estadístico mediante los parámetros de varianza y media para cada valor de CE_e , dividiendo los datos en filas y columnas donde reiteradamente se encontró la no estacionaridad estadística, basados en los parámetros de media y varianza. Así, la zona de muestreo se dividió en dos regiones geomorfológicas (Viloria *et al.*, 1998), lacustrina y aluvial, tal como se puede apreciar en la Figura 4. Bajo este nuevo arreglo se encontró la estacionaridad de los datos manifestado por una varianza más baja para cada una de las regiones estudiadas (Tabla II). Una vez finalizada la fase anterior, los datos por regiones se procesaron haciendo uso del programa geostatístico VESPER y se determinó la variabilidad espacial mediante la técnica del kriging, es decir, interpolación de datos una vez calculado el semivariograma, con el debido ajuste de su función a los valores ingresados al pro-

grama. La función o modelo del semivariograma que más se ajustó fue la esférica en cada caso, para suelos aluviales y lacustrinos, como se aprecia en las Figuras 5a y b, respectivamente. Así mismo, en estas figuras se incorporan los mapas de interpolación por kriging que se generaron con el VESPER. En cada región estudiada se obtuvieron mapas de riesgo de salinidad a través del programa Arc View/GIS (Figuras 6a y b).

Los resultados obtenidos indican que los suelos pertenecientes a las región aluvial están constituidos por un 65% de suelos normales ($CE_e \leq 2dS \cdot m^{-1}$), 28% con ligeras a moderadas concentraciones de sales ($CE_e 2-8dS \cdot m^{-1}$) y 7% con fuerte a extrema salinidad ($CE_e > 8dS \cdot m^{-1}$). Por su parte, los suelos pertenecientes a la región lacustrina constan de un 38% de suelos normales ($CE_e \leq 2dS \cdot m^{-1}$) y un 62% con ligeras a moderadas concentraciones de sales ($CE_e 2-8dS \cdot m^{-1}$).

De las 5582ha cultivadas en el área del estudio se encontró que un 40% de estos suelos están potencialmente afectados por problemas moderados a fuertes de salinidad. Esto muy probablemente se deba al incremento de la sales presentes en el agua de riego, producto también del incremento en

la concentración de las sales presentes en las aguas residuales que llegan al embalse de Taiguaiguay, a un elevado aumento en el uso de fertilizantes y al manejo del agua de riego, al no considerarse en la lámina de riego una fracción de lavado.

De la realización del presente estudio se concluye que los suelos del sistema de riego Taiguaiguay, que hacen uso de las aguas residuales usadas para riego del embalse Taiguaiguay, pueden potencialmente estar afectados en forma moderada por sales que pueden incidir directamente en la productividad de los cultivos que allí se desarrollan. Por lo tanto, se recomienda en aquellas zonas de cada una de las dos regiones estudiadas realizar un seguimiento a menor escala para acometer con mayor precisión la determinación de los niveles de salinidad y su influencia directa en la producción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico la Universidad Central de Venezuela por el financiamiento del proyecto PG 01-5719-2006.

REFERENCIAS

Comité (2006) *Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides y Manejo de las Muestra*. Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México. México. 25 pp.

Decreto (1979) *Decreto N° 304, mediante el cual se declara el Area Crítica con Prioridad de Tratamiento de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Valencia*. Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela N°321839 del 20/09/1979.

Espinoza E. (1998): *Evaluación del Efecto de la Densidad de Muestreo sobre la Predicción de Atributos de Suelos*. Tesis. Universidad Central de

Venezuela. Maracay, Venezuela. 125 pp.

López D. (1999): *Evaluación Automatizada de Tierras Para Agricultura de Regadío en el Sistema de Riego Taiguaiguay*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. LUGAR???, Venezuela. 125 pp.

Méndez F. (2003) *Estudio de la Salinidad, Sodicidad y Metales Pesados Presentes en Suelos Regados por la Acequia de Favara bajo un Enfoque Espacio-Temporal*. Tesisl. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 513 pp.

Méndez F, Monteverde M, Valles A (2005) *Evaluación de Impacto ambiental en el uso de las aguas residuales vertidas en el Sistema de Riego Taiguaiguay*. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 67 pp.

Or D, Haans J (1992) Soil water and crop yield spatial variability induced by irrigation nonuniformity. *Soil Sci. Am. J.* 56: 226-233.

Pineda C (1999) *Evaluación del Uso Actual de la Tierra para la Generación de un Máximo Consumo de Agua y Máximo Rendimiento en el Sistema de*

Riego Taiguaiguay. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 142 pp.

Pizarro F (1985) *Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos*. 2ª ed. Agrícola Española. Madrid, España. 942 pp.

USSLS (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaly Soils*. United States Department of Agriculture. Handbook N° 60. Washington, DC, EEUU. 160 pp.

Viloria J (1999) *Fundamentos de Geoestadística Aplicados a la Ciencia del Suelo*. Departamento e Instituto de Edafología. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 116 pp.

Viloria, J, Estrada C, Rey J (1998) *SISDELAV: Sistema de Información de Suelos de la Depresión del lago de Valencia*. Biblioteca de Edafología. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 65 pp.

Warrick A, Nielsen D. (1981): Spatial variability of soil physical properties in the field. Practical applications. *Soil Phys. I:* 319-344.

Webster R. (1985): Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Adv. Soil Sci.* 3: 1-70.