

GEOESTADÍSTICA EN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA CULTIVOS

González Mariela, Guerrero César

Resumen: En este trabajo se muestra la utilización de Geoestadística para la clasificación de suelos para cultivos, el área de estudio es la zona de Villingota – Zapotal. Con el uso de técnicas Geoestadísticas, se determinan modelos para la distribución que presentan los diferentes componentes químicos y nutrimentos que se encuentran localizados en el suelo, que caracterizan el nivel de fertilidad de la zona de estudio; se realizan las respectivas estimaciones de los niveles de concentración presentes en cada una de las variables de interés, con sus correspondientes mapas. Con los concernientes resultados del análisis, se puede determinar los tipos de cultivos que se pueden dar en la zona de estudio.

Abstract: This paper is about the utilization of Geostatistics for the classification cultivation's soils, the area of study is the zone of Villingota- Zapotal. With the use of Geostatistics techniques, models are determined for the distribution that present the several chemical components and nutriments that are located in the soil, that they characterize the level of fertility of the zone of study; they are carried out the respective estimates of the levels of concentration present in each one of the variables of interest, with their corresponding maps. With the concerning outputs of the analysis, we could determine the types of cultivations that one could give in the zone of study.

Palabras Claves: Agricultura, Clasificación de Suelos, Geoestadística, Kriging, Variogramas.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de Geoestadística son una herramienta relativamente nueva que ayuda en el análisis de datos que siguen una distribución de acuerdo a características espaciales. Estas técnicas se desarrollaron primero para la geología y de allí se extendieron hacia otras ciencias de la tierra como la agricultura.

El propósito de este trabajo es mostrar como se utiliza estas técnicas en la agricultura para la clasificación de cultivos. Este trabajo se basa en una tesis de graduación (González M., 2002) que muestra la interrelación entre la estadística y las ciencias de la tierra.

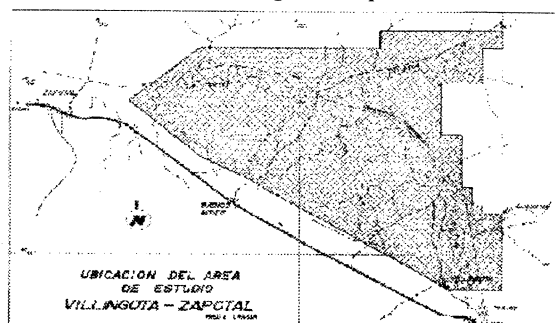
2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio Villingota-Zapotal está conformada aproximadamente de 4.000 Has. de terreno, la posición geográfica en la que se encuentra localizada la zona, está dada por las coordenadas 9°739.000 - 9°747.000 y 550.500 – 560.000.

Se encuentra ubicada en la región Tropical y su clima varía entre 23° C – 26° C. Dentro de la clasificación Bioclimática del Ecuador, se puede decir que esta zona es considerada Subdesértica con una Precipitación anual entre 500>P>200 (mm) y una Precipitación Máxima anual de hasta 3104.0 (mm), la dirección del viento en esta zona se da con frecuencia en la parte Noroeste, seguida en mayor frecuencia en el Oeste y con la más alta frecuencia en el Suroeste (Fuente: INAMHI).

En este sector se encuentran asentadas las poblaciones de Buenos Aires, Sucre y Villingota, y los poblados ya desaparecidos Dos Bocas y San Francisco, además por este lugar cruza las vías ya desmanteladas del ferrocarril. Por esta zona pasa el río Zapotal, y sus afluentes el Tinto, Jurca y Guacamay. A continuación se presenta el esquema del sector.

Gráfico 1
Zona De Villingota – Zapotal



González Mariela, Ingeniera en Estadística Informática; (e-mail: mariela_gn@yahoo.com.mx); César Guerrero, M.Sc., Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL);(e-mail:alex_fernad@yahoo.com).

Respecto a las muestras se cuenta con un total de 37 unidades de observación denominadas como calicatas, las cuales presentan datos de 3 tipos de capas de suelos diferentes. La primera capa tiene aproximadamente de 0 a 30 cm de profundidad, la segunda capa de 30 a 70 cm y la tercera capa de 70 a 100 cm de profundidad aproximadamente.

Las variables que se van a estudiar son

- Acidez: pH
- Salinidad: CE
- Fertilidad: CIC
- Sodio Intercambiable: %Na

A continuación se presenta una clasificación de los suelos de acuerdo a estas variables (INIAP, 1992)

De acuerdo a la acidez los suelos se clasifican en: extremadamente ácido (<4.0), muy fuertemente ácido (4.0-5.0), fuertemente ácido (5.0-5.5), moderadamente ácido (5.5-6.0), ligeramente ácido (6.0-6.7), rango neutro (6.7-7.3), débilmente alcalino (7.3-8.0), moderadamente alcalino (8.0-8.5), fuertemente alcalino (8.5-9.0), muy fuertemente alcalino (9.0-9.5) y extremadamente alcalino (>9.5).

De acuerdo a la salinidad los suelos se clasifican en: bajo salino (<1), medio salino (1-2) y alto salino (>2).

De acuerdo a la fertilidad los suelos se clasifican en: pobre fértil (< 5), bajo fértil (5-10), normal bajo fértil (10-15), normal alto fértil (15-25), alto fértil (25-40) y muy alto fértil (>40).

De acuerdo al sodio intercambiable los suelos se clasifican en: bajo intercambiable (<10), moderado intercambiable (10-20), alto intercambiable (20-30) y muy alto intercambiable (> 30).

3. CONCEPTOS DE GEOESTADÍSTICA

El estudio Geoestadístico (Goovaerts P., 1997; David M., 1997) trata de caracterizar e interpretar el comportamiento de datos distribuidos espacialmente "variables regionalizadas". Así que analiza y estima los fenómenos espaciales, basados en el comportamiento que presentan las variables de interés en una zona determinada, para este fin se establecen modelos que describen la tendencia que muestran dichas variables.

Los pasos de un análisis geoestadístico son:

1. Análisis de los datos exploratorios (estadística estándar).
2. Análisis estructural (cálculo y modelación de variogramas).
3. Estimaciones (kriging o simulaciones).

Los variogramas son estimadores de la varianza poblacional, con una tendencia de estacionaridad, el variograma está relacionado con una dirección y distancia entre muestras, y es la principal herramienta básica que da soporte a las técnicas del kriging.

Los principales tipos de variogramas son:

- Variograma esférico.
- Variograma exponencial.
- Variograma lineal.
- Variograma gaussiano.

El kriging es un método de interpolación geoestadístico que nos proporciona un estimador lineal insesgado que hace que la suma de los errores tienda a cero y que la suma del cuadrado de las desviaciones sea mínimo. El kriging usa un método de interpolación semejante a los de media móvil ponderada, donde los pesos son asignados a partir de un análisis espacial basado en el semivariograma experimental.

Los principales tipos de kriging son:

- Kriging ordinario
- Kriging simple
- Kriging de punto
- Kriging de bloque

4. ANALISIS GEOESTADISTICO

El análisis geoestadístico se lo ha realizado principalmente enfocado a los pasos 2 (análisis estructural) y 3 (estimaciones) de los análisis estándares. Este análisis se lo ha hecho por cada capa y cada una de las variables.

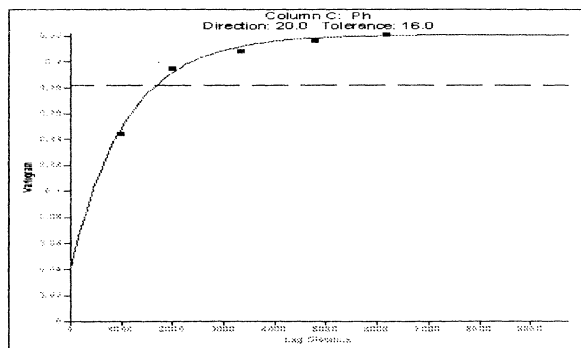
4.1 Capa 1

Acidez

El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de acidez presente en el suelo, es el modelo Exponencial con una Dirección de 20.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 16.0°, un

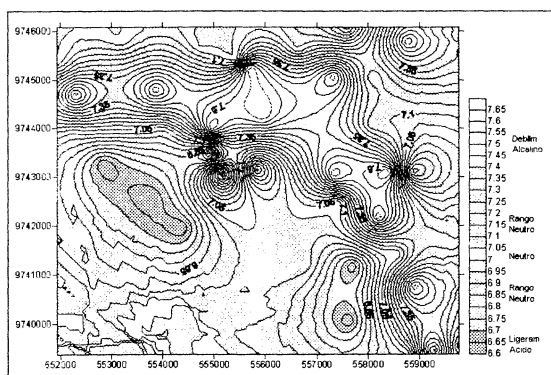
valor Efecto Nugget de 0.04, una Escala de 0.181 y un Rango de 1100.0.

Gráfico 2
Variograma de la acidez (1ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, se muestran en el Gráfico 3.

Gráfico 3
Estimaciones del nivel de pH (1ra capa)



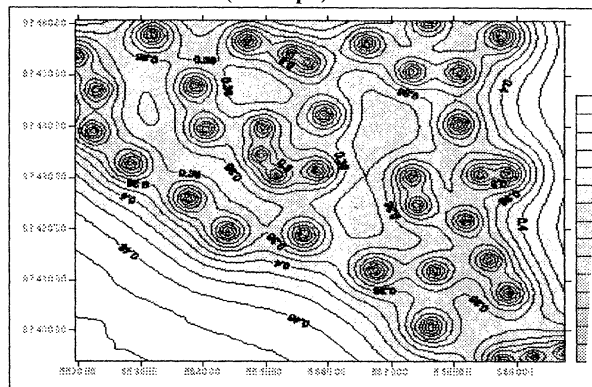
El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría de Rango Neutro (Color Gris), seguido de determinadas regiones Ligeramente Ácidas (Color Naranja), también presenta regiones Débilmente Alcalinas (Color Naranja claro), en una representación muy pequeña tenemos zonas que poseen un nivel de pH Neutro (Color Blanco).

En el sector Suroeste se presentan irregularidades en los contornos, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de acidez presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector que

contiene un nivel de concentración neutro y rango neutro de acidez.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 4:

Gráfico 4
Desviación estándar de las estimaciones de pH (1ra capa)



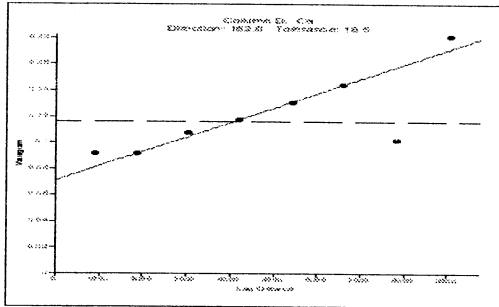
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.22 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y el máximo valor de 0.5 está localizado en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Salinidad

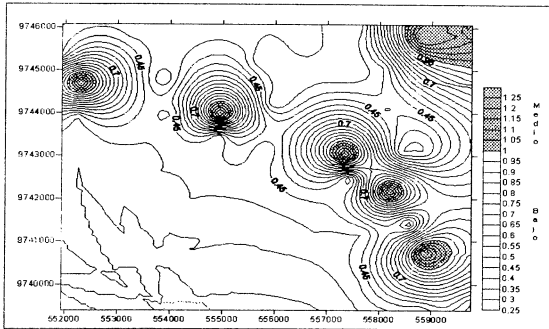
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de salinidad presente en el suelo, es el modelo Lineal con una Dirección de 162.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 18.5°, un valor Efecto Nugget de 0.0711, una Pendiente de 0.00001111.

Gráfico 5
Variograma de la salinidad (1ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, se presentan en el Gráfico 6.

Gráfico 6
Estimaciones del nivel de C.E. (1ra capa)



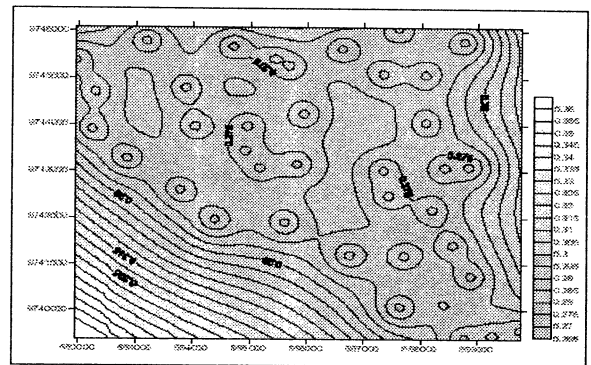
El suelo de la zona de estudio se caracteriza por tener un suelo en su mayoría de Bajo contenido (Color Blanco), seguido de determinadas regiones de Medio contenido de salinidad (Color Mostaza), estas presencias de Salinidad se deben a que la zona de Villingota – Zapotal es considerada una región Subdesértica.

En el sector Suroeste se encuentran localizados los más bajos niveles de salinidad estimados como son de 0.25, 0.3, 0.35 y 0.4, en este sector se presentan los contornos de una manera más diseminada, lo que nos indica que los niveles de salinidad no tienen una fuerte influencia de variación, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de salinidad presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector de Bajo contenido de salinidad.

En los sectores Noroeste, Noreste y Sureste se encuentran localizados los máximos niveles de las estimaciones para la concentración de la salinidad, con valores de 1.2 y 1.25, esto indica que abundan los sulfatos y los cloruros de Na, Ca, Mg y K, en los sectores que se caracterizan por ser Bajos en salinidad, nos indica que hay una falta de fertilizantes generalmente de Nitrógeno, Fósforo o Magnesio.

Las desviaciones estandares de los errores son presentadas en el Gráfico 7.

Gráfico 7
Desviación estándar de las estimaciones de C.E. (1ra capa)



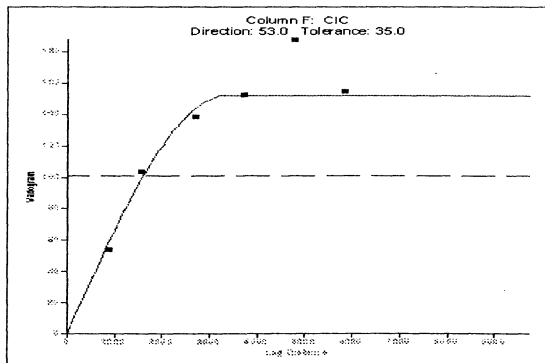
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.265 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 0.35 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Capacidad de intercambio de cationes.

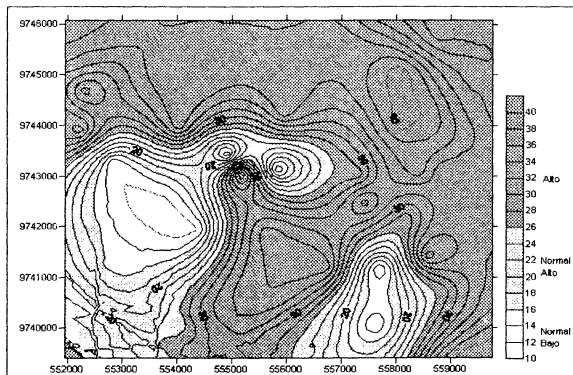
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de fertilidad presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 53.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 35.0°, un valor Efecto Nugget de 0.0, una Escala de 152.0 y un Rango de 3360.0.

Gráfico 8
Variograma de la C.I.C. (1ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, se muestran en el Gráfico 9.

Gráfico 9
Estimaciones del nivel de C.I.C. (1ra capa)



El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría de Alta fertilidad (Color Verde Oscuro), seguido de determinadas regiones de fertilidad Normal Alta (Color Verde Agua) y en pocas cantidades tenemos zonas de una fertilidad Normal Baja (Color Verde Claro).

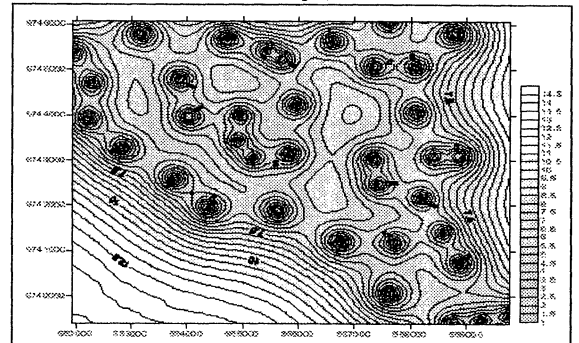
Los mínimos y máximos valores estimados para determinar, el nivel de concentración de la variable salinidad están representados por los contornos de color lila.

Los niveles más Bajos de fertilidad de 10.0, se encuentran ubicados en el sector Oeste y en el sector Suroeste se encuentran niveles de fertilidad de 20.0, 22.0, 24.0 y 26.0 que son considerados

Altos. En el sector Noreste donde se encuentra ubicado el máximo nivel de concentración para la fertilidad de 40.0, se encuentra rodeado por contornos de 32.0, 34.0, 36.0 y 38.0. Un valor de 40.0 también se encuentra en el sector Sureste y en la franja central.

Las desviaciones estándares de los errores se presentan en el Gráfico 10.

Gráfico 10
Desviación estándar de las estimaciones de C.I.C. (1ra capa)

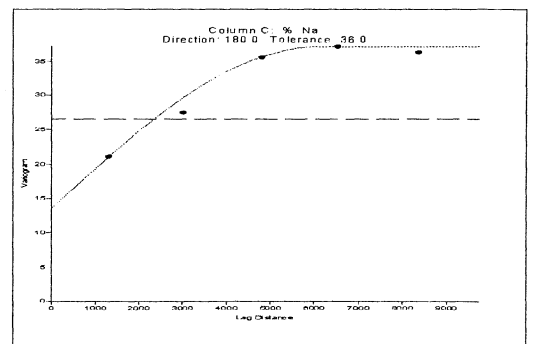


En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Sodio intercambiable

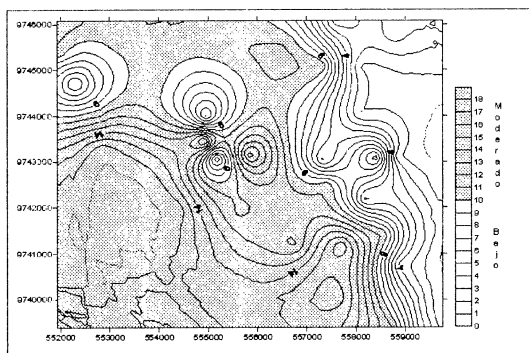
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de sodio presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 180.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 36.0°, un valor Efecto Nugget de 13.6, una Escala de 23.56 y un Rango de 6100.0.

Gráfico 11
Variograma del % Na (1ra cpa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 12:

Gráfico 12
Estimaciones del % Na (1ra capa)



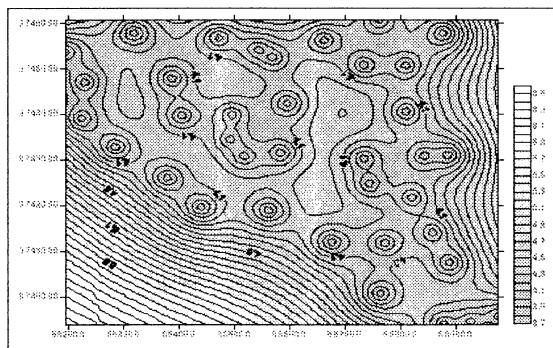
El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría de Moderado contenido de Sodio (Color Celeste), y el resto por regiones de Bajo contenido de Sodio (Color Blanco).

Los máximos y mínimos valores de % de sodio, resultados de la estimación están indicados en el gráfico con una línea color lila, el mínimo valor de 0.0 está ubicado en el sector Noreste y el máximo valor de 18.0 está ubicado en el sector Oeste y Suroeste.

En el sector Suroeste se presentan irregularidades en los contornos, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de porcentajes de sodio presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector que presenta un Moderado contenido de sodio.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 13.

Gráfico 13
Desviación estándar de las estimaciones del % Na (1ra capa)



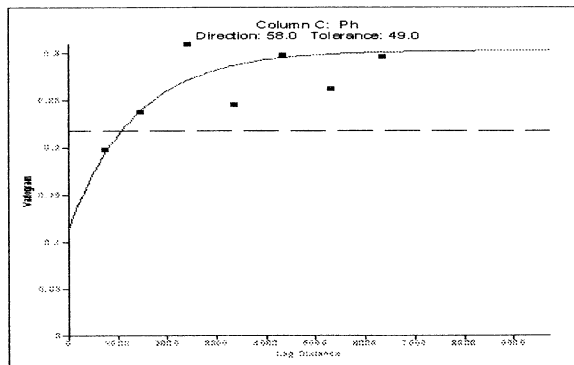
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

4.2. Capa 2

Acidez

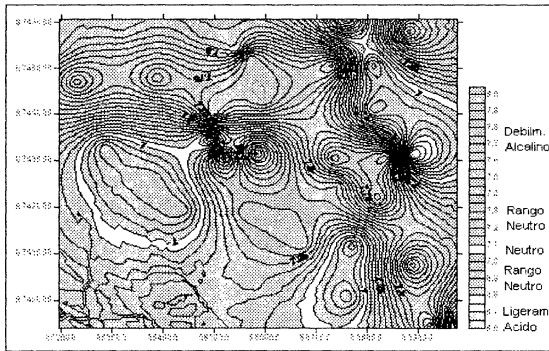
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de acidez presente en el suelo, es el modelo Exponencial con una Dirección de 58.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 49.0°, un valor Efecto Nugget de 0.113, una Escala de 0.19 y un Rango de 1340.0.

Gráfico 14
Variograma de la acidez (2da capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 15.

Gráfico 15
Estimaciones del nivel de pH (2da capa)

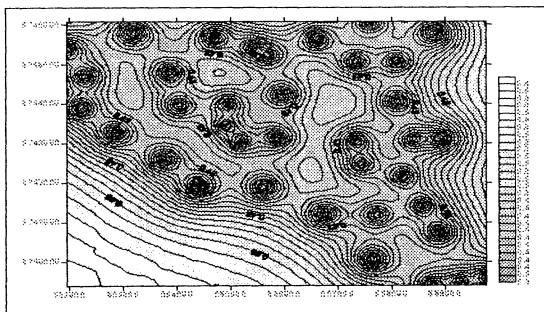


El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría Débilmente Alcalino (Color Naranja), De Rango Neutro (Color Gris), en pequeñas regiones se dan niveles Ligeramente Ácidos (Color Gris Claro), y contenido Neutro de acidez en mínimas regiones (Color Blanco).

En el sector Suroeste se presentan irregularidades en los contornos, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de acidez presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector que presenta un contenido de Rango Neutro de acidez.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 16.

Gráfico 16
Desviación estándar de las estimaciones de pH (2da capa)



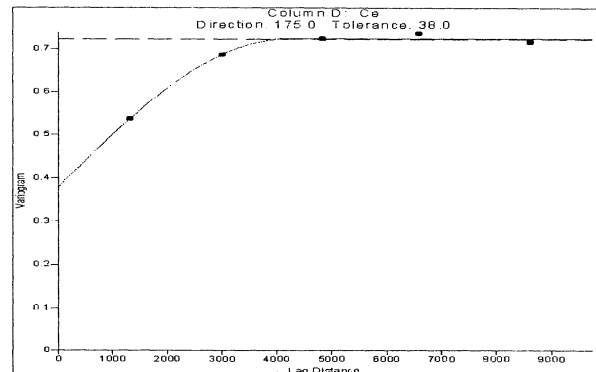
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación

estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Salinidad

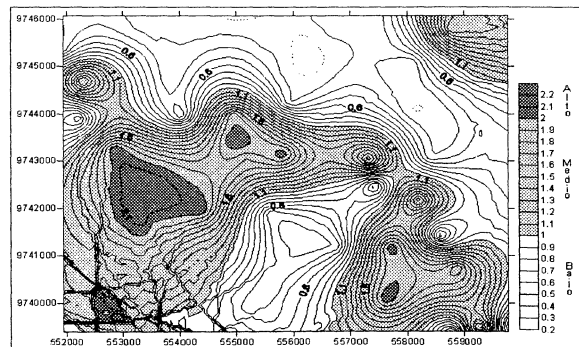
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de salinidad presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 175.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 38.0°, un valor Efecto Nugget de 0.38, una Escala de 0.344 y un Rango de 4170.

Gráfico 17
Variograma de la salinidad (2da capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 18:

Gráfico 18
Estimaciones del nivel de C.E. (2da capa)

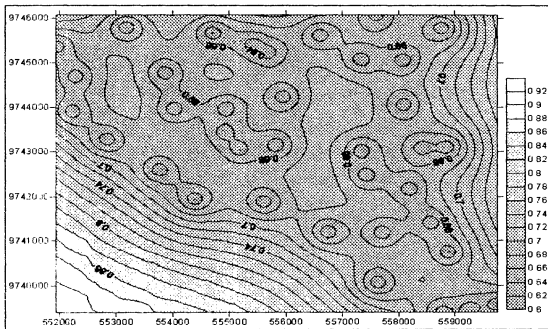


Como podemos observar la zona de estudio se caracteriza por tener un suelo en su mayoría de Medio contenido (Color Mostaza), seguido de regiones de Bajo contenido de salinidad (Color

Blanco) y pequeñas regiones que presentan Altos contenidos de salinidad (Color Verde), estas presencias de Salinidad se deben ya que la zona de Villingota – Zapotal es considerada una región Subdesértica.

En los sectores que se encuentran localizados los máximos niveles de las estimaciones para la concentración de la salinidad, con valores de 2.2 esto indica que abundan los sulfatos y los cloruros de Na, Ca, Mg y K, en los sectores que se caracterizan por ser Bajos en salinidad, nos indica que hay una falta de fertilizantes generalmente de Nitrógeno, Fósforo o Magnesio. Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 19.

Gráfico 19
Desviación estándar de las estimaciones de C.E.
(2da capa)



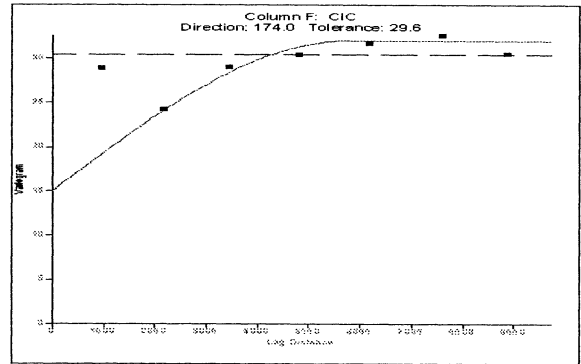
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.6 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 0.92 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Capacidad intercambio cationes

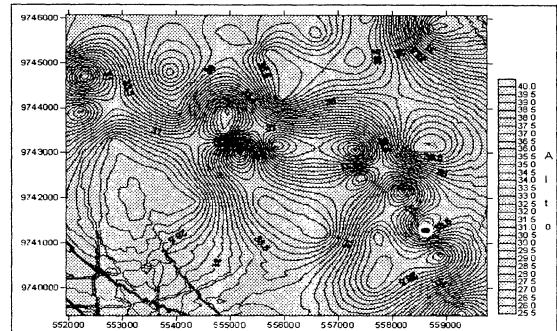
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de fertilidad presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 174.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 29.6°, un valor Efecto Nugget de 15.0, una Escala de 17.0 y un Rango de 5800.0.

Gráfico 20
Variograma de la C.I.C. (2da capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 21.

Gráfico 21
Estimaciones del nivel de C.I.C. (2da capa)

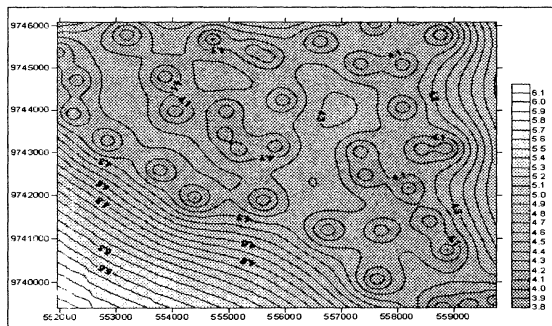


El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su totalidad de Alta fertilidad (Color Verde).

Los mínimos y máximos valores estimados para determinar, el nivel de concentración de la variable salinidad están representados por los contornos de color rojo.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 22.

Gráfico 22
Desviación estándar de las estimaciones de C.I.C.
(2da capa)



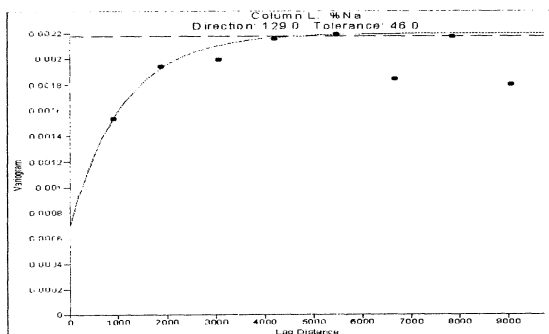
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 3.8 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 6.1 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Sodio intercambiable

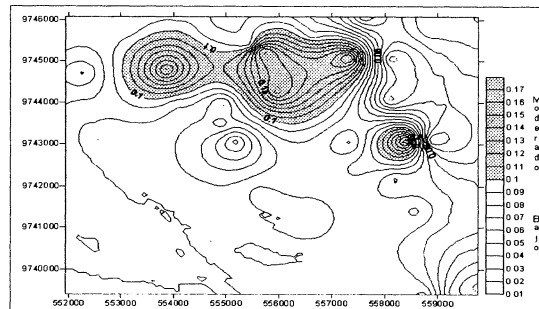
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de sodio presente en el suelo, es el modelo Exponencial con una Dirección de 129.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 46.0°, un valor Efecto Nugget de 0.0007, una Escala de 0.0015 y un Rango de 1100.0.

Gráfico 23
Variograma del % Na (2da capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 24.

Gráfico 24
Estimaciones del % Na (2da capa)



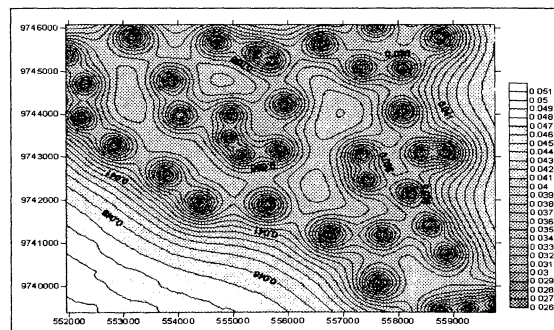
El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría de Bajo contenido de Sodio (Color Blanco), y el resto por regiones de Moderado contenido de Sodio (Color Celeste).

Los máximos y mínimos valores de % de sodio, resultados de la estimación están indicados en el gráfico con una línea color rojo.

En el sector Suroeste se presentan irregularidades en los contornos, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de porcentajes de sodio presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector que presenta un Bajo contenido de sodio.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en Gráfico 25.

Gráfico 25
Desviación estándar de las estimaciones del % Na
(2da capa)



En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

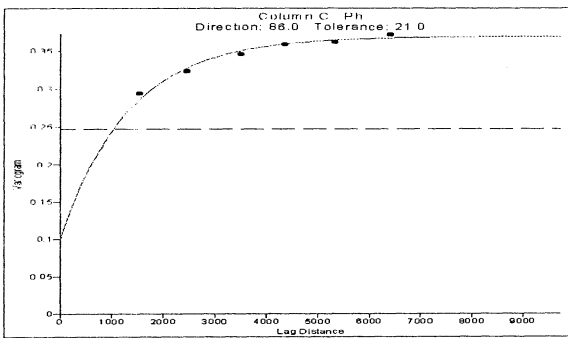
Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.026 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 0.051 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

4.3 Capa 3

Acidez

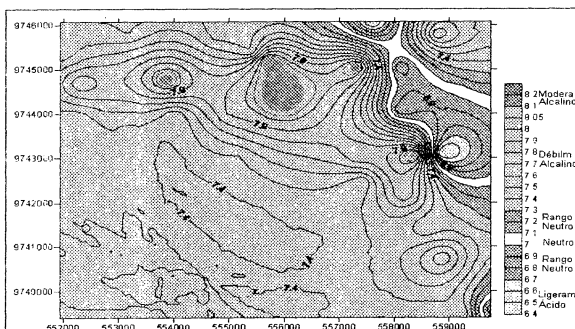
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de acidez presente en el suelo, es el modelo Exponencial con una Dirección de 86.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 21.0°, un valor Efecto Nugget de 0.1, una Escala de 0.27 y un Rango de 1320.0.

Gráfico 26
Variograma de la acidez (3ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 27.

Gráfico 27
Estimaciones del nivel de pH (3ra capa)

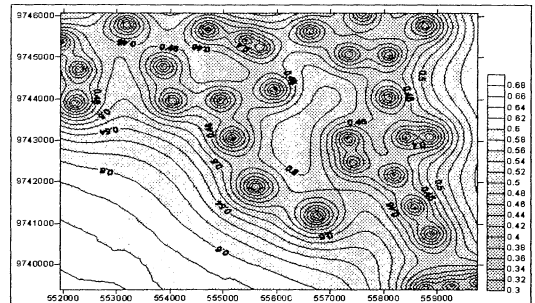


El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayor a Débilmente Alcalino (Color Naranja), de Rango Neutro (Color Gris), en pocas regiones se dan niveles Ligeramente ácidos (Color Gris Claro), y contenido Neutro de acidez en mínimas regiones (Color Blanco), también se presentan pocas regiones que contienen niveles Moderadamente Alcalinos.

En el sector Suroeste se presentan irregularidades en los contornos, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de acidez presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector que presenta un contenido Débilmente Alcalino.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 28.

Gráfico 28
Desviación estándar de las estimaciones de pH (3ra capa)

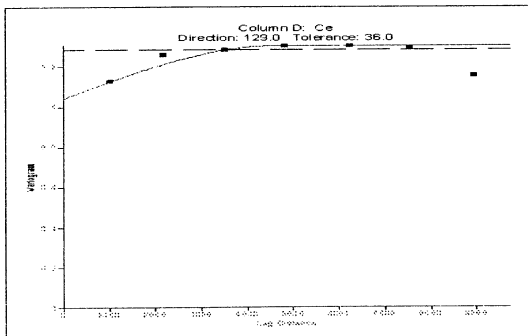


En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Salinidad

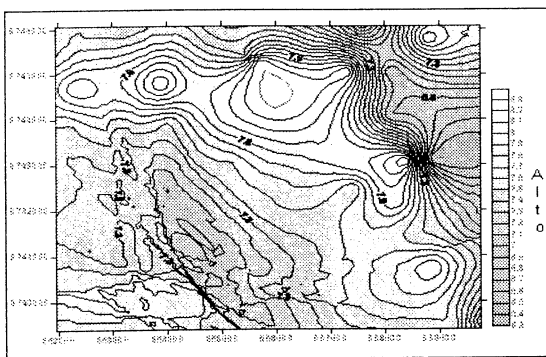
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de salinidad presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 129.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 36.0°, un valor Efecto Nugget de 1.04, una Escala de 0.265 y un Rango de 4610.

Gráfico 29
Variograma de la salinidad (3ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 30.

Gráfico 30
Estimaciones del nivel de C.E. (3ra capa)

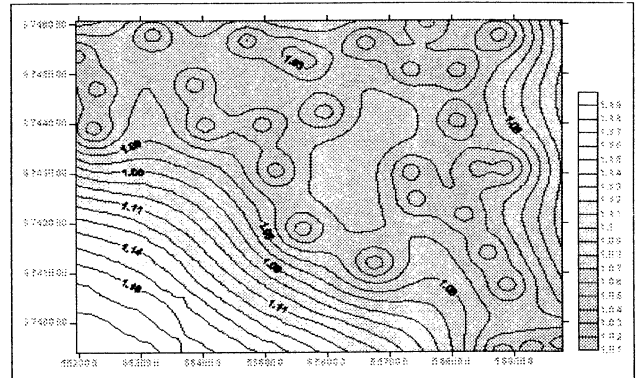


Como podemos observar la zona de estudio se caracteriza por tener un suelo en su mayoría de Alto contenido de sales (Color Gris).

En los sectores que se encuentran localizados los máximos niveles de las estimaciones para la concentración de la salinidad, nos indica que abundan los sulfatos y los cloruros de Na, Ca, Mg y K.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 31.

Gráfico 31
Desviación estándar de las estimaciones de C.E. (3ra capa)



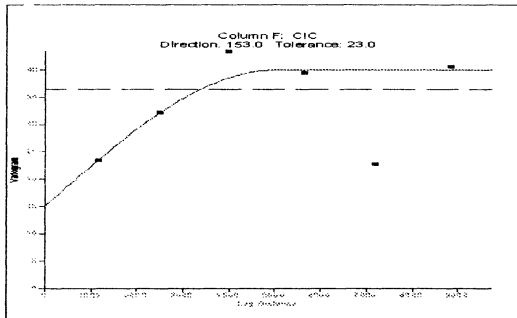
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 1.19 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 1.01 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Capacidad intercambio cationes

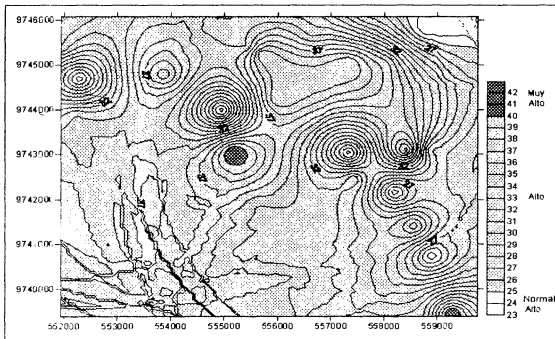
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de fertilidad presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 153.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 23.0°, un valor Efecto Nugget de 15.0, una Escala de 25.0 y un Rango de 5000.0.

Gráfico 32
Variograma de la C.I.C. (3ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 33.

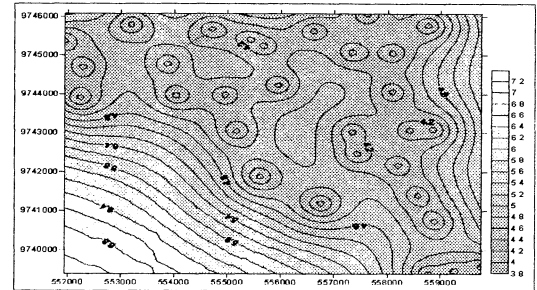
Gráfico 33
Estimaciones del nivel de la C.I.C. (3ra capa)



El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría de Alta fertilidad (Color Verde Claro), en pequeñas regiones se observan regiones de Normal Alto contenido de fertilidad y también se dan regiones que poseen contenidos de fertilidad Muy Altos.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 34.

Gráfico 34
Desviación estándar de las estimaciones de C.E. (3ra capa)



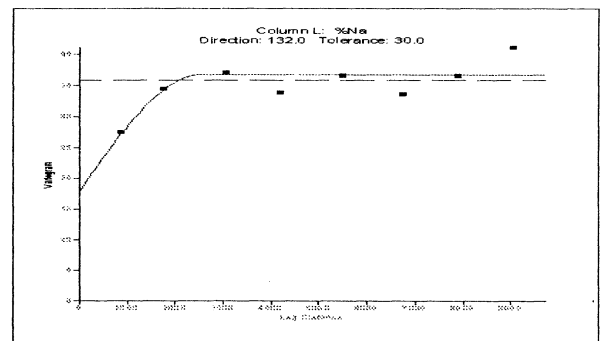
En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 3.0 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 7.2 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Sodio Intercambiable

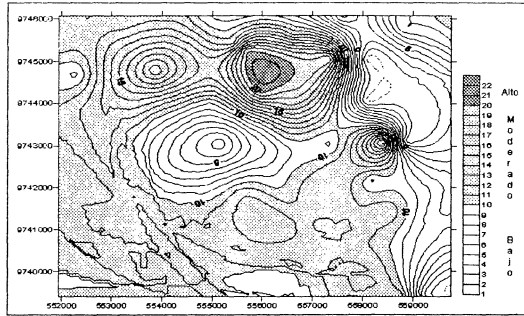
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de sodio presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 132.0° (NO-SE), una Tolerancia Angular de 30.0°, un valor Efecto Nugget de 17.8, una Escala de 19.0 y un Rango de 2550.0.

Gráfico 35
Variograma del % Na (3ra capa)



Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado el Gráfico 36.

Gráfico 36
Estimaciones del nivel del % Na (3ra capa)



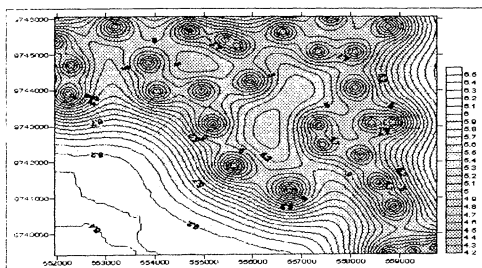
El suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría de Moderado contenido de Sodio (Color Celeste), seguido por regiones de Bajo contenido de Sodio (Color Blanco) y en regiones muy pequeñas observamos Alto contenido en sodio (Color Azul).

Los máximos y mínimos valores de % de sodio, resultados de la estimación están indicados en el gráfico con una línea color rojo.

En el sector Suroeste se presentan irregularidades en los contornos, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de porcentajes de sodio presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector que presenta un Moderado y Bajo contenido de sodio.

Las desviaciones estándares de los errores son presentadas en el Gráfico 37.

Gráfico 37
Desviación estándar de las estimaciones de C.E. (3ra capa)



En el mapa se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 4.2 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 6.5 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

5. CONCLUSIONES

Respecto a las direcciones de los variogramas:

1. La geografía de la cuenca hidrográfica parece incidir en las direcciones (NE-SO, NO-SE) de las distribuciones de las variables estudiadas.

2. Hay un cambio en la dirección de la distribución de la fertilidad de la capa superficial hacia las capas no superficiales denotando posiblemente la incidencia de la agricultura como modificador del entorno agrícola.

3. Hay presencias de focos de salinidad a lo largo de vecindades de la cuenca hidrográfica principal y de la vía férrea abandonada. NO-SE: salinidad, % sodio; posible efecto del río principal y el viento.

Respecto a los cultivos por sectores se recomendaría cultivar:

4. Norte: algodón, banano, cacao, cítricos, cocotero, maíz, maracuyá, melón, papaya, plátano, sorgo, caña de azúcar, cebolla, maíz dulce, naranja, papa, uva, algodón (germinación), arveja, maní y trigo.

5. Noreste: algodón, banano, cacao, cítricos, cocotero, maíz, maracuyá, melón, papaya, plátano, sorgo, caña de azúcar, cebolla, maíz dulce, naranja, papa, uva, algodón (germinación), arveja y maní.

6. Centro: algodón, arroz, banano, cacao, café, cítricos, cocotero, maíz, mango, maracuyá, melón, palma africana, papaya, piña, plátano, sorgo, soya, yuca, caña de azúcar, cebolla, maíz dulce, naranja,

papa, uva, algodón (germinación), arveja, maní y trigo.

7. Este: algodón, banano, cacao, cítricos, cocotero, maíz, maracuyá, melón, papaya, plátano, sorgo, caña de azúcar, cebolla, maíz dulce, naranja, papa, uva, algodón (germinación), arveja y maní.

8. Oeste: algodón, arroz, banano, cacao, café, cítricos, cocotero, maíz, mango, maracuyá, melón, palma africana, piña, papaya, plátano, sorgo, soya, cebolla, maíz dulce, naranja, yuca, papa, uva, algodón (germinación), arveja, maní y trigo.

9. Sur: algodón, banano, cacao, cítricos, cocotero, maíz, maracuyá, melón, papaya,

plátano, sorgo, caña de azúcar, cebolla, maíz dulce, naranja, algodón (germinación), arveja, maní y trigo.

10. Sureste: algodón, arroz, banano, cacao, cítricos, cocotero, maíz, mango, maracuyá, melón, palma africana, papaya, piña, plátano, sorgo, soya, caña de azúcar, yuca, cebolla, maíz dulce, naranja, papa, uva, algodón (germinación), arveja, maní y trigo.

11. Suroeste: algodón, arroz, banano, cacao, cítricos, cocotero, maíz, maracuyá, melón, papaya, plátano, sorgo, caña de azúcar, cebolla, maíz dulce, naranja, algodón (germinación), arveja, maní y trigo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **GONZÁLEZ, M.**, (2002). "*Geoestadística aplicada a la clasificación de suelos de cultivos*". Tesis de Grado ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
2. **DAVID, M.**, (1997). "*Geostatistical Ore Reserve Estimation, Developments in Geomathematics*". vol 2. Amsterdam, Oxford, New York.
3. **GOOVAERTS, P.**, (1997). "*Geostatitics for Natural Resources Evaluation*". Oxford University Press, New York-Oxford
4. **INIAP**, (1999). "*Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el litoral ecuatoriano, Manual técnico #26*". Estación experimental Pichilingue, Guayaquil, Ecuador