



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA  
VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA  
ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA”**

*Tesis de grado previa  
a la obtención del  
título de Ingeniero Civil*

**AUTOR:**

Víctor Hugo Guayllas Poma

**DIRECTOR:**

Ing. Eduardo Carrión Coronel

**LOJA – ECUADOR  
2010**

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. Eduardo Carrión Coronel,  
**DIRECTOR DE TESIS**

### **CERTIFICO:**

Que he dirigido la presente tesis desde su inicio hasta su culminación, la misma que se encuentra científica y reglamentariamente en condiciones de presentarse para la graduación del postulante.

Por lo expuesto, autorizo su presentación, disertación y defensa.

Loja, Julio de 2010.

---

Ing. Eduardo Carrión Coronel  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, Víctor Hugo Guayllas Poma, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad, la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”.

---

Víctor Hugo Guayllas Poma  
**AUTOR**

## **AUTORÍA**

El proceso de investigación realizado en la presente tesis como: análisis, estimaciones, verificaciones, comprobaciones, conclusiones y recomendaciones, así también como observaciones son de absoluta responsabilidad del autor; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.

*Víctor Hugo Guayllas Poma*

## **AGRADECIMIENTOS**

Para empezar quiero agradecer a Dios por darme la vida, oportunidad, capacidad y anhelo de lograr este objetivo.

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Ing. Eduardo Carrión Coronel, director de la presente investigación, por el tiempo concedido, paciencia y ayuda incondicional en la realización de este trabajo.

También quiero agradecer a los docentes investigadores de la UCG, en especial al Dr. Fernando Oñate Valdivieso y al Ing. Edgar Pineda Puglla por su incondicional apoyo y por compartir con mi persona sus valiosos conocimientos.

Finalmente a mis compañeros, quienes con su motivación y cariño aportaron con un granito de arena para la culminación de la presente tesis.

*Víctor Hugo Guayllas Poma*

## DEDICATORIA

Por el apoyo incondicional que he recibido de ellos, en el transcurso de mi vida estudiantil. Dedico mi investigación a toda mi familia en especial a mis padres: Manuel Guayllas y Carmen Poma. También a mis hermanos: Rosa, Miguel, Polivio, Vicente, Alberto. Finalmente a mis Amigos: Javier, Joffre y Stalin.

*Victor*

## RESUMEN

La presente tesis se inicia con la revisión de conceptos de la variabilidad espacial de propiedades del suelo y geoestadística, los mismos que permitieron familiarizarse con el tema de investigación.

Una vez efectuada la fase revisión de teoría, se procedió a realizar un muestreo aleatorio simple para un total de 50 puntos en las inmediaciones de los Cantones de Zaruma y Portovelo, sector “El Pache”, entre las coordenadas UTM 17S 651 614.202 X; 9 590 619.393 Y y 651 893.877 X; 9 589 159.221 Y.

El análisis de las propiedades del suelo (textura, materia orgánica y pH) se realizó empleando varios enfoques univariado, bivariado y geoestadística. El cual contribuyó con información acerca de las propiedades estudiadas, determinando que la arena, limo, materia orgánica y pH presentan un coeficiente de variación media, mientras que la arcilla presenta un coeficiente de variación alta.

En el análisis bivariado se pudo observar una baja correlación entre las distintas variables, excepto la correlación entre el porcentaje de arena y limo.

Mediante la aplicación de la geoestadística se pudo observar y graficar la distribución espacial de la variabilidad de las propiedades estudiadas, además mostró que en términos generales existe moderada dependencia espacial en las propiedades.

También se pudo evidenciar una total ausencia de correlación en la variable limo.

Seguidamente se evaluó la calidad de predicción a partir de la validación cruzada y se optó por utilizar la media estandarizada, y el error cuadrático medio estandarizado para valorar el modelo que proporciona las mejores predicciones.

El modelo que proporcionó las mejores predicciones fue el modelo esférico excepto para la variable pH, que se ajustó a un modelo exponencial.

Finalmente se procedió a realizar los mapas de predicción para cada una de las propiedades estudiadas.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	I
CESIÓN DE DERECHOS.....	II
AUTORÍA.....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA .....	V
RESUMEN.....	VI

### CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO .....	3
2.1.1 Componentes de la variabilidad .....	4
2.1.2 Evaluación de la variabilidad .....	4
2.1.2.1 Variabilidad aleatoria.....	4
2.1.2.2 Variabilidad sistemática .....	5
2.1.3 Variabilidad espacial de suelos .....	6
2.1.4 Factores del suelo que afectan a la disponibilidad y acumulación de metales pesados .....	6
2.1.4.1 pH.....	6
2.1.4.2 Textura .....	8
2.1.4.3 Materia orgánica.....	9
2.2 GEOESTADÍSTICA.....	11
2.2.1 Análisis de datos espaciales .....	112
2.2.2 Semivariograma .....	12
2.2.3 Análisis de semivariograma .....	13
2.2.4 Modelos teóricos de semivariogramas .....	15
2.2.5 Análisis de anisotropía .....	18
2.2.6 Kriging .....	19
2.2.7 Validación cruzada.....	20



### CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO .....	21
3.1 UBICACIÓN.....	21
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	21
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS.....	22
3.4 MUESTREO .....	22
3.4.1 Método de muestreo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4.1.1 Fase de campo .....	23
3.4.1.2 Fase de laboratorio .....	23
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	25
3.5.1 Análisis univariado.....	25
3.5.2 Análisis bivariado.....	26
3.6 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	27
3.7 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PREDICCIÓN.....	27
3.8 ELABORACIÓN DE MAPAS DE PREDICCIÓN.....	28

### CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 ESTADÍSTICA .....	29
4.1.1 Análisis Univariado.....	29
4.1.2 Análisis Bivariado .....	39
4.2 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	40
4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PREDICCIÓN.....	46
4.4 ELABORACIÓN DE MAPAS DE PREDICCIÓN.....	53

### CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	60
5.1 CONCLUSIONES .....	60
5.2 RECOMENDACIONES .....	61



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 Triángulo de texturas .....	9
Fig.2 Gráfico de semivariograma.....	12
Fig.3 Construcción del semivariograma a partir de datos muestrales .....	14
Fig.4 Gráfico modelo esférico.....	15
Fig.5 Gráfico modelo exponencial.....	16
Fig.6 Gráfico modelo gaussiano.....	17
Fig.7 Gráfico modelo lineal .....	17
Fig.8 Anisotropía geométrica .....	18
Fig.9 Anisotropía zonal.....	19
Fig.10 Distrito Minero Portovelo Zaruma), sector “El Pache” .....	21
Fig.11 Histograma de frecuencias variable Arena (A).....	30
Fig.12 Histograma de frecuencias variable Limo (L) .....	32
Fig.13 Histograma de frecuencias variable Arcilla (Ar) .....	33
Fig.14 Histograma de frecuencias variable LnArcilla (LnAr) .....	35
Fig.15 Histograma de frecuencias variable Materia Orgánica (MO).....	36
Fig.16 Histograma de frecuencias variable pH .....	38
Fig.17 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Arena (A).....	41
Fig.18 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Limo (L) .....	42
Fig.19 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Arcilla (Ar).....	43
Fig.20 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Materia Orgánica (MO).....	44
Fig.21 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable pH .....	45
Fig.22 Validación cruzada de la variable Arena (A).....	46
Fig.23 Valores observados frente a valores predichos de la variable Arena (A) .....	46
Fig.24 Errores de estimación de la variable Arena (A).....	47
Fig.25 Validación cruzada de la variable Limo (L) .....	47
Fig.26 Valores observados frente a valores predichos de la variable Limo (L).....	48
Fig.27 Errores de estimación de la variable Limo (L) .....	48
Fig.28 Validación cruzada de la variable Arcilla (Ar) .....	49
Fig.29 Valores observados frente a valores predichos de la variable Arcilla (Ar).....	49
Fig.30 Errores de estimación de la variable Arcilla (Ar) .....	50
Fig.31 Validación cruzada de la variable Materia Orgánica (MO).....	50
Fig.32 Valores observados frente a valores predichos de la variable Materia Orgánica (MO) .....	51
Fig.33 Errores de estimación de la variable Materia Orgánica (MO).....	51
Fig.34 Validación cruzada de la variable pH .....	52
Fig.35 Valores observados frente a valores predichos de la variable pH.....	52
Fig.36 Errores de estimación de la variable Materia pH.....	53
Fig.37 Mapa de predicción de la variable Arena (A).....	54
Fig.38 Mapa de predicción de la variable Limo (L).....	55
Fig.39 Mapa de predicción de la variable Arcilla (Ar) .....	56
Fig.40 Mapa de predicción de la variable Materia Orgánica (MO) .....	57
Fig.41 Mapa de predicción de la variable pH .....	58



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los suelos en función del pH y efectos esperables.....	7
Tabla 2 Resumen estadístico de las variables de estudio .....	29
Tabla 3 Matriz de varianzas y covarianzas de las variables de estudio.....	39
Tabla 4 Matriz de correlaciones de las variables de estudio .....	40
Tabla 5 Parámetros geoestadísticos.....	40



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Pruebas de normalidad para la variable Arena (A).....	31
Cuadro 2 Pruebas de normalidad para la variable Limo (L) .....	32
Cuadro 3 Pruebas de normalidad para la variable Arcilla (Ar).....	34
Cuadro 4 Pruebas de normalidad para la variable Ln Arcilla (LnAr) .....	35
Cuadro 5 Pruebas de normalidad para la variable Materia Orgánica (MO).....	37
Cuadro 6 Pruebas de normalidad para la variable pH .....	38



## CAPÍTULO I

### 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

Una característica dominante de los suelos es su heterogeneidad, aún en pequeñas áreas que podrían considerarse como homogéneas. Esta heterogeneidad induce una variabilidad en las propiedades del suelo que puede llegar a ser de considerable magnitud, la cual puede afectar grandemente las generalizaciones y predicciones que se hagan con ellas (Jaramillo, D. 2002)

Esta investigación tiene por objeto realizar la estimación de la variabilidad espacial de: textura, contenido de materia orgánica y pH de un suelo afectado por el vertido minero, desde un enfoque geoestadístico.

La variabilidad espacial constituye uno de los rasgos esenciales en la descripción, análisis y estimación de fenómenos espaciales o temporales tales como: parámetros agroclimáticos, propiedades físicas y químicas del suelo, variables hidrológicas, etc.

Es por ello que se utiliza el análisis geoestadístico, basado en el uso de los semivariogramas.

El semivariograma es una de las herramientas más adecuadas para determinar si existe estructura espacial para las variables del suelo a través de la identificación de la dependencia espacial.

Los principales contaminantes del suelo como metales pesados pueden ser aportados a este, debido a actividades humanas como la minería. Entre los contaminantes que más llegan a afectar las propiedades de los suelos están los residuos mineros.

Los resultados obtenidos en este trabajo proporcionan una información de gran interés para el adecuado seguimiento de la futura regeneración ambiental de la zona de estudio.

#### 1.2 JUSTIFICACIÓN

Por lo general y debido al costo de los análisis de laboratorio, el número de observaciones que se puede efectuar en el área de muestreo es limitado, por lo que frecuentemente es necesario extrapolar las propiedades de puntos en que son conocidas a otros en que se desconocen.

El análisis geoestadístico permitirá visualizar y graficar la distribución espacial de la variabilidad de las propiedades del suelo (textura, materia orgánica y pH) de un suelo afectado por vertido minero, mejorar la interpretación de los resultados de experimentos que se realicen en el futuro en la zona de estudio, facilitará la implementación de prácticas de manejo del suelo acordes con las características de la zona, además permitirá mostrar en términos generales la dependencia espacial en las propiedades.



## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

El objetivo principal de esta investigación es determinar los semivariogramas para estimar la variabilidad espacial de: textura, contenido de materia orgánica y pH de suelo afectado por el vertido minero en el sector “El Pache”.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Los pasos en las que se llevará a cabo el presente trabajo, se pueden resumir del siguiente modo:

- Realizar el muestreo aleatorio en la zona de estudio.
- Determinar las propiedades de las muestras de suelo (textura, contenido de materia orgánica y pH) en laboratorio.
- Efectuar el análisis estadístico de las propiedades de suelo en estudio.
- Llevar a cabo la caracterización de la variabilidad espacial de cada uno de los parámetros de suelo en estudio mediante semivariogramas.
- Realizar la Interpolación mediante técnicas geoestadísticas, en concreto, utilizando kriging ordinario.
- Elaborar mapas temáticos mediante el software ARCGIS 9.3 que permitan estimar valores en posiciones no muestreadas.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

La variabilidad depende de la propiedad que se analice, siendo más variables las propiedades químicas que las físicas. Además, hay menor variabilidad en las propiedades del suelo, en su condición natural, que cuando es sometido a uso. Aquellas propiedades que más se afectan por el manejo del suelo serán las que presenten la mayor variabilidad (Ovalles, 1992).

La variabilidad en el campo se debe a varios factores naturales y antropogénicos. El factor natural más importante es el tipo de suelo cuyas características están definidas por el material parental y la topografía. (Brouder, 1999).

La variabilidad de las propiedades del suelo de un punto a otro del paisaje tiene orígenes diversos, pudiendo provenir bien de las características inherentes a los procesos de formación predominantes, o bien de los factores de formación, es decir, la litología, el clima, la topografía, la actividad biológica y la acción humana. Algunos de los procesos y factores de formación que inducen la variación espacial afectan a pequeños volúmenes de suelo e introducen heterogeneidad en distancias cortas; otros, por el contrario, provocan dependencia espacial de más largo alcance (Webster, 2000; Ulloa G. 2002).

El material parental a menudo varía en patrones de gran escala regional, pero también se pueden observar variaciones a pequeña escala, en especial en suelos originarios de depósitos coluviales o aluviales en zonas cercanas a los ríos (Brady, N.; Weil, R. 2002).

La variabilidad horizontal se puede estudiar en diferentes escalas. A pequeña escala, se puede notar que las propiedades de los suelos cambian en pequeñas distancias. En esta escala las variaciones generalmente se deben a pequeños cambios en la topografía y al tamaño de las partículas derivadas de los materiales parentales, así como al efecto de microorganismos y uso anterior del suelo.

En las variaciones a gran escala, los patrones del suelo son principalmente resultado del clima y vegetación y secundariamente debidas a las diferencias de material parental. Aunque a menudo es útil referirse a las características regionales generales del suelo, es importante recordar que existen muchas variaciones al interior de cada grupo regional (Brady, N.; Weil, R. 2002).



### 2.1.1 Componentes de la variabilidad

Upchurch y Edmonds, (1992) sostienen que la variabilidad presenta dos componentes fundamentales: uno **Aleatorio** y el otro **Sistemático**, teniendo en cuenta la fuente de error que produce la variación. Los mismos autores definen la **variabilidad sistemática** como aquella que puede ser atribuida a causas conocidas, entendibles y predecibles. Wilding y Drees, citados por Trangmar et al., (1985), consideran que esta variabilidad está representada por los cambios que presentan las propiedades del suelo que pueden ser entendidos y explicados en términos de sus factores y procesos de formación, a la escala de observación usada.

Cuando la variabilidad no puede relacionarse con causas conocidas, Upchurch y Edmonds, (1992) la definen como **variabilidad aleatoria** o debida al **azar**.

Burrough, (1993) considera que cuando la acción de un factor de formación domina el desarrollo del suelo por largos períodos de tiempo, se puede llegar a reducir la variabilidad en él; con esta anotación puede concluirse que los suelos más evolucionados presentan menor variabilidad que aquellos que lo son menos evolucionados.

### 2.1.2 Evaluación de la variabilidad

Teniendo en cuenta la división planteada anteriormente, hay diferentes métodos para evaluar los distintos componentes de la variabilidad.

#### 2.1.2.1 Variabilidad aleatoria

Según Upchurch y Edmonds, (1992): Cuando el grupo de datos cumple los supuestos de **normalidad**, **aleatoriedad** e **independencia** de las observaciones, la variabilidad de ellos puede ser estudiada con estimadores paramétricos como la amplitud del rango de valores, la varianza, la desviación estándar y/o el coeficiente de variación.

De los anteriores estimadores, Gómez, (1989) afirma que la amplitud del rango es el menos utilizado, debido a que es muy susceptible al efecto de los valores extremos. Además, de los restantes, el coeficiente de variación es el que permite hacer comparaciones de variabilidad entre grupos de datos o de experimentos, ya que cuantifica la magnitud del error en ellos.

Los estimadores citados se pueden calcular con las siguientes relaciones:

$$\text{Rango} = \max(x) - \min(x)$$

Donde  $\max(x)$  y  $\min(x)$  representan el valor mayor y menor, respectivamente, que toma la variable  $x$  que se está estudiando.



La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de una distribución estadística.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

$S^2$ : Varianza

$xi$ : Valores de la variable.

$\bar{x}$  : Valor promedio de la variable.

$n$ : Número de datos.

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza. Describe la dispersión de los datos respecto a la media en las mismas unidades que los datos originales.

$$S = \sqrt{S^2}$$

Donde  $S$  es la desviación estándar.

El coeficiente de variación, indica la relación existente entre la desviación estándar de una muestra y su media multiplicada por cien. Es una medida de dispersión útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida invariante ante cambios de escala.

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

CV: Coeficiente de variación.

$S$ : Desviación estándar.

$\bar{x}$  : Promedio general del grupo de datos.

### 2.1.2.2 Variabilidad sistemática

Este tipo de variabilidad se reconoce porque los valores de las propiedades cambian de acuerdo con la ubicación que presenta la muestra analizada, bien sea en el espacio (variabilidad espacial) o en el tiempo (variabilidad temporal).

El tipo principal de variabilidad sistemática, en los suelos, lo constituye la variabilidad espacial, la cual se caracteriza porque las propiedades que la presentan adquieren valores diferentes



dependiendo de la ubicación y/o del espaciamiento entre las muestras utilizadas para caracterizarlas (Jaramillo 2002).

### 2.1.3 Variabilidad espacial de suelos

Con el desarrollo de la teoría de las variables regionalizadas y su incorporación a los estudios de suelos, se han adquirido herramientas estadísticas que ayudan a evaluar buena parte de dicha variabilidad, mejorando así los resultados que se obtienen en la investigación hecha en suelos.

Cuando el valor que toma una variable en un sitio depende de la distancia y/o la dirección a la cual se ubica de otro sitio vecino, se tiene una variable con **dependencia espacial**. Si una variable presenta dependencia espacial, durante el muestreo se puede violar el principio de la independencia entre las muestras y los procedimientos de la estadística paramétrica clásica no son adecuados para su estudio.

Journel y Huijbregts, (1978) llaman a estas variables que presentan dependencia espacial **“variables regionalizadas”**. Estas variables regionalizadas son una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido y tienen, según Vieira et al., (1983) algún grado de **autocorrelación** tales como: precipitación, concentraciones de contaminantes, propiedades físicas y químicas del suelo etc.

Para el estudio de este tipo de variables se tiene un grupo de herramientas estadísticas conocido con el nombre genérico de **“Geoestadística”** o **“Estadística Espacial”**.

### 2.1.4 Factores del suelo que afectan a la disponibilidad y acumulación de metales pesados

El establecimiento de las características edáficas de un suelo (propiedades físicas, químicas y composición), resulta imprescindible a la hora de determinar la toxicidad de un metal pesado ya que de estas características depende el comportamiento del suelo frente a la acumulación de metal.

#### 2.1.4.1 pH

Es uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos, en la reactividad del suelo y en la movilidad de los contaminantes.

La concentración de un metal en la disolución del suelo y por tanto su biodisponibilidad y su toxicidad potencial, está controlada por las reacciones de adsorción y desorción que ocurren en la materia coloidal del suelo.



Estos procesos de adsorción de metales por el suelo se ven fuertemente influenciados por diversos parámetros edáficos y en concreto por el pH como se pone de manifiesto en numerosos estudios:

Gerriste and van Driel, (1984) y Naidu et al., (1994), comprueban en sus estudios que en general los suelos de pH más básicos (7.9 - 8.4) presentan adsorción más fuerte para los metales pesados que los de pH más ácidos ( $\text{pH} < 4.5$ ).

Hooda y Alloway, (1994a, 1994b, 1998), han estudiado la adsorción de cadmio y plomo en diferentes suelos y han comprobado la influencia del pH, estableciendo también en sus conclusiones que los suelos de pH más básico (7.9 - 8.4) presentan mayor retención de los metales.

En la Tabla 1 se muestran los principales efectos esperables para los distintos intervalos de pH tal y como establece el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1971)

*Tabla 1. Clasificación de los suelos en función del pH y efectos esperables.*

pH	Evaluación	Efectos esperables en el intervalo
<4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por $\text{Al}^{3+}$
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S Suelos sin $\text{CaCO}_3$ El hormigón ordinario resulta atacado Actividad bacteriana escasa
5.6 - 6.0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6.6 - 7.3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos Por debajo de $\text{pH}=7,0$ el $\text{CaCO}_3$ no es estable en el suelo
7.4 - 7.8	Medianamente básico	Suelos generalmente con $\text{CaCO}_3$
7.9 - 8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B
8.5 - 9.0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH básicos suelen deberse al $\text{MgCO}_3$ , si no hay sodio intercambiable
9.1 - 10.0	Alcalino	Presencia de $\text{Na}_2\text{CO}_3$
> 10.0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable Toxicidad: Na, B Movilidad del P como $\text{Na}_3\text{PO}_4$ Actividad microbiana escasa Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo

*Fuente: (USDA, 1971)*



#### 2.1.4.2 Textura

El término textura se utiliza para representar la composición granulométrica del suelo. Cada término textural corresponde a una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla.

La textura de un suelo da una idea de su porosidad, parámetro que determina la permeabilidad del suelo es decir la velocidad con que agua y aire se mueven desde las capas altas a las más profundas. Otro parámetro importante que define la textura es la estructura, que da una idea de cómo se unen las partículas entre sí.

La arcilla tiene un papel fundamental a la hora de caracterizar la contaminación de metales pesados en suelos ya que influye sobre su movilidad. Tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos, carecen de esta capacidad de fijación por lo que los metales pesados pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

Las partículas de arcilla, dada su gran superficie específica, intercambian iones de la disolución del suelo, lo que hace que tenga un buen poder de retención de nutrientes. No obstante, se compactan muy fácilmente, con lo que su capacidad de retención es buena, pero su capacidad de infiltración es baja. Es por esta razón que los suelos arcillosos suelen estar inundados (Sánchez, 2003).

Las combinaciones posibles en los porcentajes de arcilla, limo y arena pueden agruparse en unas clases texturales. La fracción de arcillas resulta ser la más determinante en el comportamiento de un horizonte y en consecuencia en el comportamiento del suelo que las restantes fracciones, debido a lo cual de forma sencilla pueden clasificarse los suelos atendiendo al contenido en arcilla como:

Arenosos < 10 % arcilla

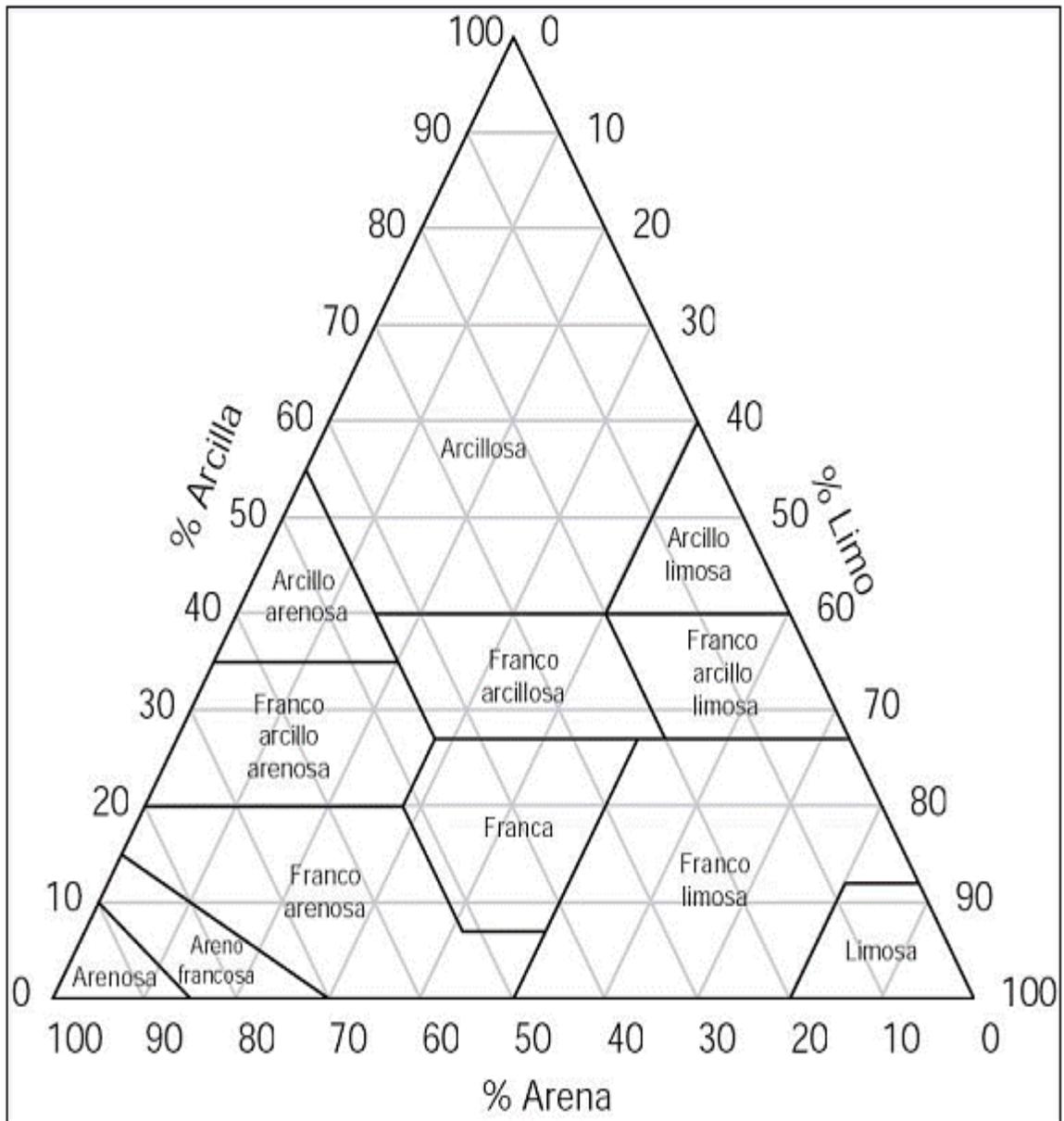
Franco 10 - 30 % arcilla

Arcillosos > 30 % arcilla

Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones Fig.1.



Fig.1 Triángulo de texturas



Fuente:( [www.slideshare.net/guest98d120/suelos-2978827](http://www.slideshare.net/guest98d120/suelos-2978827))

### 2.1.4.3 Materia orgánica

La materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte.



Se acepta que hay una relación general directa entre el contenido de materia orgánica del suelo y la altitud: a mayor altitud mayor contenido de materia orgánica. Este comportamiento está relacionado con el hecho de que al aumentar la altitud se reduce la temperatura, lo que ocasiona una disminución de descomposición de aquella, produciéndose su acumulación (Jaramillo, 2002).

En condiciones naturales, hay un equilibrio entre la acumulación y la mineralización de la materia orgánica aportada al suelo, permaneciendo su contenido más o menos constante a través del tiempo, dentro de un rango específico de valores; el cambio de cobertura de bosque a cultivo o a pradera produce pérdida de materia orgánica en el suelo; esta pérdida es mayor en las zonas más cálidas (Jaramillo, 2002).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales que pueden quedar en posición no disponible para las plantas. Por este motivo, algunas plantas de suelos con contenidos elevados en materia orgánica presentan carencias de elementos como el cobre.

Existen numerosos estudios sobre la influencia que la materia orgánica de suelo ejerce sobre la retención de los metales:

Elliot et al., (1985), han estudiado el efecto de la adsorción sobre Cd, Cu, Pb y Zn simultáneamente de la materia orgánica de los suelos, sugiriendo que un mayor contenido en materia orgánica incrementa la retención del cadmio sobre el cinc.

Sauvé et al., (1998), han estudiado el efecto que la materia orgánica y el pH tienen sobre la especiación de plomo en la disolución del suelo.

Como ha podido comprobarse, la complejación por la materia orgánica del suelo, es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y disponibilidad de los metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación de los organismos del suelo, es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Aún así, hay que tener en cuenta que también la presencia de abundantes complejos puede reducir la concentración de los iones tóxicos en la disolución del suelo (Sanchez, 2003).

Aunque la materia orgánica solo representa una pequeña porción de la masa total de la mayoría de los suelos, la naturaleza dinámica de este componente hace que tenga una influencia dominante sobre muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Jaramillo, 2002).



En resumen podemos concluir que la materia orgánica ejerce una influencia importante en las propiedades del suelo. Sus efectos son:

- **Estructura**, favorece su formación, aumenta el tamaño y estabilidad de los agregados.
- **Porosidad**, aumenta la cantidad de macroporos.
- **Aireación**, aumenta el volumen de aireación y mejora la circulación del aire.
- **Infiltración**, aumenta su velocidad.
- **Drenaje**, aumenta la velocidad de circulación del agua dentro del suelo.
- **Erodabilidad**, Disminuye la susceptibilidad del suelo a la erosión.
- **pH**, Disminuye.
- **Contaminación**, La materia orgánica almacena compuestos y/o elementos tóxicos como algunos ingredientes activos no degradables de agroquímicos o metales pesados (Pb, Ni, etc.), que llegan al suelo, dificultando su eliminación de este medio.

## 2.2 GEOESTADÍSTICA

La geostatística es una manera de describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural. Con ello llegamos a conocer la forma en que varía cualquier variable continua en el espacio, con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio.

La palabra geostatística es normalmente asociada con la geología, desde que esta ciencia tiene sus orígenes en la minería.

De la minería, las técnicas geostatísticas, se han exportado a más campos como la hidrología, física del suelo, ciencias de la tierra y más recientemente a la gestión ambiental y al procesado de imágenes de satélite.

La geostatística utiliza funciones para modelar esta variación espacial, y estas funciones son utilizadas posteriormente para interpolar en el espacio el valor de la variable en sitios no muestreados.

Todos los métodos geostatísticos forman parte de la familia del kriging (ordinario, simple, universal, de probabilidad, indicador, disyuntivo, cokriging). Estos métodos de interpolación son considerados una estima muy robusta ya que se basa en la función continua que explica el comportamiento de la variable en las distintas direcciones del espacio, y que en contraste con otros métodos de interpolación (como por ejemplo interpolar un punto usando los valores de los puntos que le rodean ponderados por la distancia que los separa), el kriging se apoya en modelos matemáticos y estadísticos que incluyen probabilidad. Es decir, que cuando se realiza una predicción ésta va asociada a una probabilidad. Se calcula el error de la predicción. Además, descansa en la noción de autocorrelación que se expresa en función de la distancia (Moreno, 2006).



Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas:

- Análisis exploratorio de datos espaciales.
- Análisis estructural. (Cálculo y modelación de los Semivariogramas).
- Estimaciones (Kriging o simulaciones).

### 2.2.1 Análisis de datos espaciales

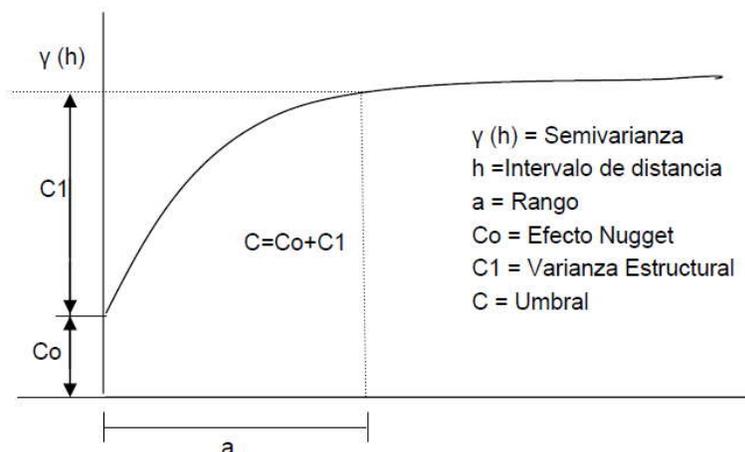
En el análisis exploratorio de datos se deben corregir las anomalías que se encuentren, antes de obtener el semivariograma; si los datos no se distribuyen en forma normal o presentan asimetría, hacer transformaciones para simetrizar su distribución; si se detectan tendencias, eliminarlas.

### 2.2.2 Semivariograma

Es una gráfica que representa los valores de semivarianza que adquiere la variable en relación con el espaciamiento entre muestras. El semivariograma es un variograma aproximado y algunos autores no hacen ninguna diferenciación entre los dos términos.

El semivariograma está relacionado con una dirección y distancia ( $h$ ), es la principal herramienta básica, que da soporte a las técnicas de kriging, permite representar cuantitativamente la variación de un fenómeno regionalizado en el espacio.

*Fig.2 Gráfico de semivariograma*



*Fuente: (Jaramillo 2002)*



El semivariograma Fig.2 está conformado por los siguientes elementos:

**El Efecto Pepita (Nugget):** El semivariograma por definición es nulo en el origen, pero en la práctica las funciones obtenidas pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama efecto de pepita, en inglés (Nugget effect). Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del semivariograma empírico y extender ésta hasta que se intercepte con el eje Y. Si esta intersección ocurre por debajo de cero, el valor asumido por este efecto es cero, pues valores negativos de  $\gamma(0)$  no tienen significado y no es común. El efecto pepita se representa como  $(C_0)$ .

**Umbral (Sill):** Es el valor de  $\gamma(h)$  para el cual con el aumento de  $h$  su valor permanece constante, se representa como  $(C = C_0 + C_1)$  y se denomina meseta. Puede obtenerse trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del semivariograma y su valor se lee en la intersección de esta línea con la ordenada.

**El Alcance (Rango):** La distancia  $h$  para la cual las variables  $Z(x)$  y  $Z(x+h)$  son independientes, se denomina alcance y se representa como  $(a)$ , es decir, las distancias para la cual los valores de la variable dejan de estar correlacionados, o lo que es lo mismo, la distancia para la cual el semivariograma alcanza el umbral.

### 2.2.3 Análisis de semivariograma

Para el análisis de semivarianza, el grupo de datos debe tener una distribución normal y estacionariedad, es decir, que para todas las distancias la varianza de las diferencias de valores en las dos posiciones definidas sea finita e independiente de la posición (Trangmar et al., 1985).

La estacionariedad puede ser un problema a la hora de la interpolación de puntos en el espacio pero no justifica el abandono de la geostatística a favor de otras técnicas de interpolación (como la técnica del inverso de la distancia) ya que son igualmente sensibles a la falta de estacionariedad (Isaaks y Srivastava, 1989).

Algunos autores como (Yost et al., 1982a, 1982b) y (Burrough, 1993) han encontrado que la no estacionariedad en los datos no afecta apreciablemente el análisis de semivarianza. Robertson y Gross, (1994) también reconocen lo anterior y adicionan que la semivarianza es más sensible a las distribuciones asimétricas de los datos y a las tendencias que a la no estacionariedad.



La semivarianza se estima mediante la siguiente relación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum [Z(x) + Z(x+h)]^2$$

Donde:

$\gamma(h)$ : Semivarianza.

n: Número de pares de observaciones comparadas en cada distancia.

Z(x): Valor de la variable en el sitio x.

Z(x+h): Valor de la variable en un sitio ubicado a una distancia h del sitio x.

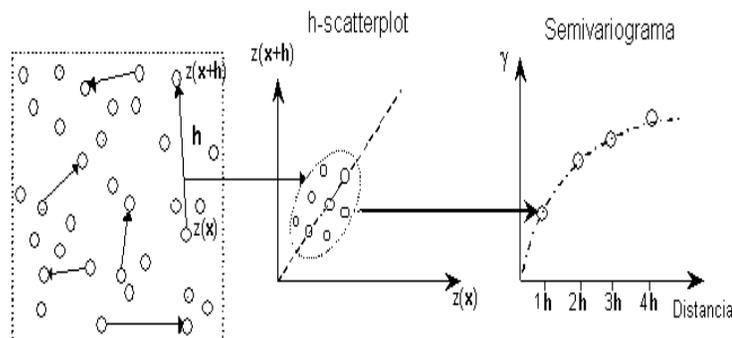
(x) y (h) son vectores, es decir, interesa su dirección, además de su magnitud.

El procedimiento básico para llevar a cabo el análisis de semivarianza es el siguiente:

- Se hace el muestreo cuidadosamente.
- La ubicación de cada muestra debe ser referenciada mediante coordenadas (x, y) o (x, y, z), verdaderas o artificiales.
- Se debe tener sumo cuidado en la elaboración de la base de datos.
- Cuando ya se tiene la base de datos completa se debe hacer un análisis exploratorio de los datos.
- Se obtiene el semivariograma y se analizan sus características.

Para calcular el semivariograma se debe definir un incremento (lag), tomar todos los pares de puntos que tengan esa distancia entre ellos, calcular el cuadrado de las diferencias para cada par de puntos, resumir todas las diferencias y luego dividir para dos veces el numero de pares de puntos que tienen esta distancia entre sí, este resultado es el valor de la semivarianza ( $\gamma$ ). Hacer lo mismo para otros incrementos lag.

*Fig.3 Construcción del semivariograma a partir de datos muestrales*



*Fuente: (AI-GEOESTATS)*



## 2.2.4 Modelos teóricos de semivariogramas

Entre los modelos teóricos de semivariogramas, que son capaces de explicar los diferentes comportamientos que pueden presentar las variables regionalizadas, teniendo presente las dos características más importantes en el modelado de semivariogramas que son según Journel y Huijbregts, (1978):

- Su comportamiento en el origen, el cual puede ser lineal, parabólico y con Efecto de Pepita.
- La presencia o ausencia de meseta.

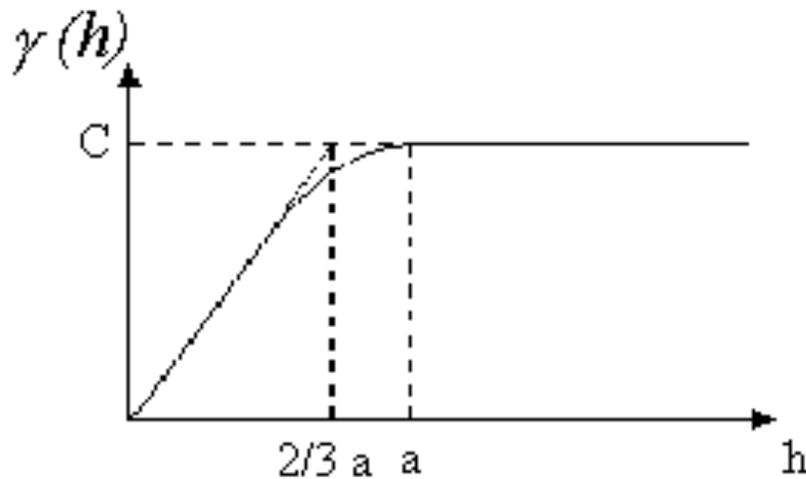
Estos modelos son:

**Modelo esférico:** Está representado por la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \left\{ 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \text{ si } h \leq a \right\}$$

Este modelo es probablemente el más utilizado, es una expresión polinomial simple, en su forma representada en la Fig.4, se puede observar un crecimiento casi lineal y después a cierta distancia finita del origen se alcanza una estabilización, el *Sill*. La tangente en el origen encuentra el *Sill* en el punto de abscisa  $(2/3) \times a$ .

*Fig.4 Gráfico modelo esférico*



*Fuente: (Cuador et al., 1997)*

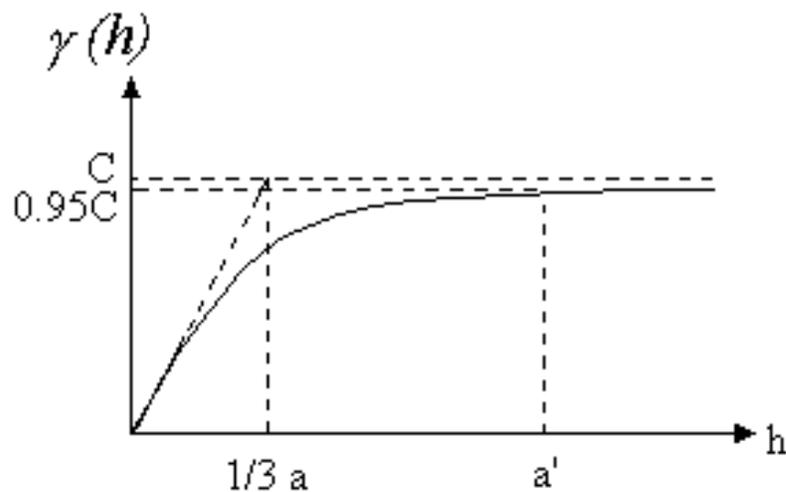


**Modelo Exponencial:** Está representado por la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right)$$

Este modelo a diferencia del esférico crece inicialmente más rápido y después se estabiliza de forma asintótica Fig.5. Como el *Sill* no se alcanza a una distancia finita, se usa con fines prácticos el “alcance efectivo” o “alcance práctico”  $a'$ , valor que se obtiene en el punto de abscisa para el cual el modelo obtiene el 95% del *Sill*, con un valor  $a' = 3 \times a$ . La tangente en el origen encuentra el *Sill* en el punto  $a = (1/3) \times a'$ .

Fig.5 Gráfico modelo exponencial



Fuente: (Cuador et al., 1997)

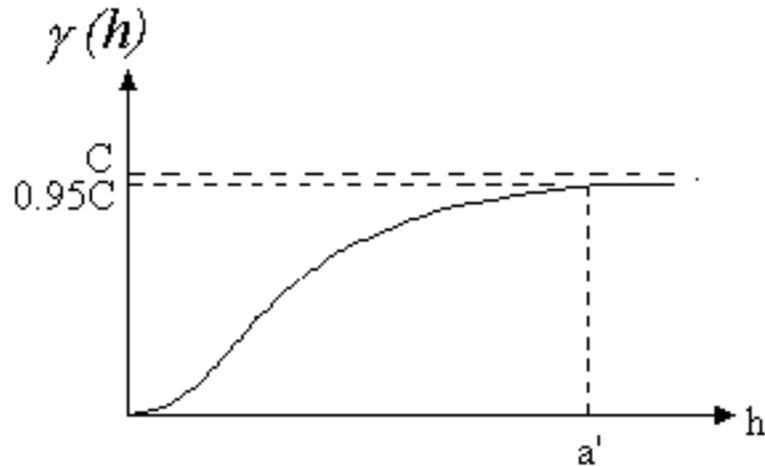
**Modelo Gaussiano:** Está representado por la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right)$$

Este es un modelo extremadamente continuo Fig.6, inicialmente presenta un comportamiento parabólico en el origen, después al igual que en el modelo Exponencial se alcanza el *Sill* de forma asintótica. El alcance práctico tiene un valor de  $a' = 1.73a$ , que es el valor de la abscisa donde se alcanza el 95% del *Sill*.



Fig.6 Gráfico modelo gaussiano



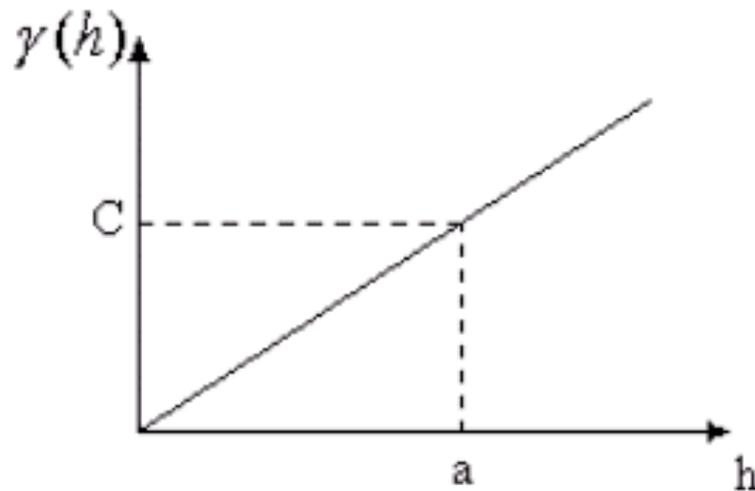
Fuente: (Cuador et al., 1997)

**Modelo Lineal:** Está representado por la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{C}{a} \times h$$

Este es un modelo que no posee valor *Sill* ni *Alcance* Fig.7, continua aumentando mientras la distancia (h) aumenta. Muchos programas informáticos denotan la pendiente del modelo lineal con la relación C/a.

Fig.7 Gráfico modelo lineal



Fuente: (Cuador et al., 1997)



Los criterios para seleccionar un modelo u otro dependen de los objetivos del trabajo. Si el objetivo es encontrar el que mejor se ajuste al semivariograma experimental y no se dispone de información a priori del comportamiento del fenómeno bajo estudio, es posible utilizar algún software que permita ajustar automáticamente el mejor modelo (Gallardo, 2006).

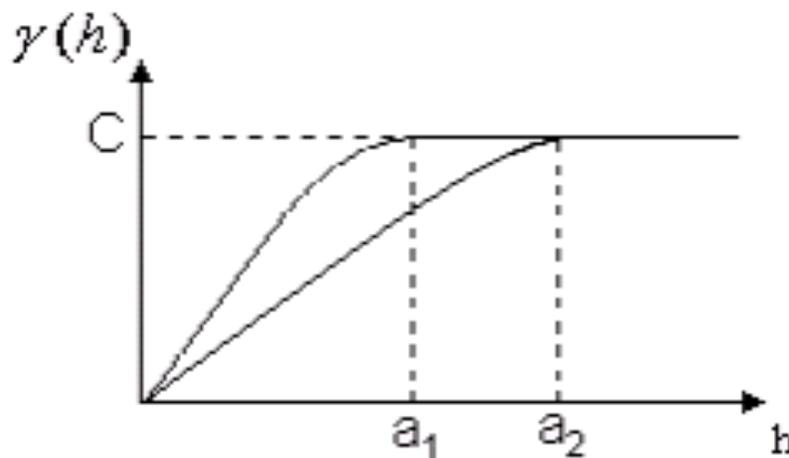
### 2.2.5 Análisis de anisotropía

Se conoce que el semivariograma describe las características de continuidad espacial de la variable regionalizada en una dirección, pero este comportamiento puede variar según la dirección que se analice. Se exige por este motivo un análisis del comportamiento de la continuidad en distintas direcciones, el Análisis de Anisotropía.

Cuando el semivariograma calculado en diferentes direcciones (norte-sur, este-oeste, y en direcciones intermedias de  $45^\circ$  o de  $22.5^\circ$ , con tolerancia de  $22.5^\circ$ ), muestra similar comportamiento, se dice que el fenómeno es **Isotrópico**, cuando muestran diferentes comportamientos es **Anisotrópico**. Los tipos de anisotropías más comunes son la Geométrica y la Zonal.

**Anisotropía Geométrica:** Está presente cuando los semivariogramas en diferentes direcciones tiene la misma meseta pero distintos alcance (Fig.8), ésta puede ser corregida por una transformación lineal de coordenadas que permita reducir una elipse a un círculo.

*Fig.8 Anisotropía geométrica*

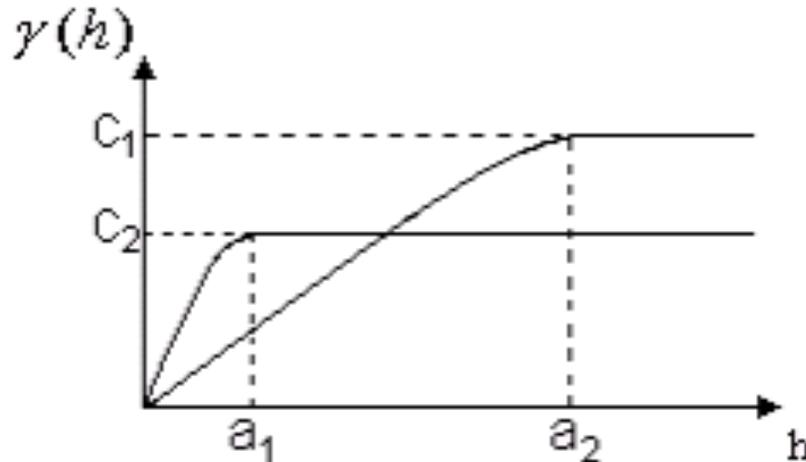


*Fuente: (Cuador et al., 1997)*



**Anisotropía Zonal:** Está presente cuando los semivariogramas en diferentes direcciones tiene diferentes mesetas y alcances (Fig.9), puede ser corregido separando el semivariograma en sus componentes isotrópicos horizontal y anisotrópico vertical.

*Fig.9 Anisotropía zonal*



*Fuente: (Cuador 1997 et al., 1997)*

### 2.2.6 Kriging

Es conocida como la mejor técnica de interpolación utilizada en geostatística. Su fortaleza radica en el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio. Así, la forma del semivariograma nos indica la capacidad predictiva que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto.

Para realizar la predicción de un valor no muestral sobre un lugar específico se utilizarán el modelo ajustado del semivariograma, la configuración espacial de los datos y los valores de los puntos muestrales que existen alrededor del lugar de predicción.

El kriging asume que el fenómeno que se está estudiando, toma valores (no necesariamente medidos) en todas partes del área de estudio, es decir, tiene una continuidad espacial. En cuanto al tipo de datos con los que trabaja el kriging pueden ser numéricos de tipo continuo o entero, datos categóricos ordenados o sin ordenar e incluso pueden ser datos binarios.

Para acomodarse a todos los tipos de valores se han desarrollado las diferentes formas de kriging. Presenta dos propiedades básicas que son:

- Hacer que la suma de errores tienda a cero.
- Que el cuadrado de las desviaciones sea mínimo.



Existen diferentes tipos de kriging. El más frecuente es el **kriging ordinario** que asume que la variable es estacionaria y que no tiene tendencia, su ecuación es:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s)$$

Siendo  $Z(s)$  la variable de interés;  $\mu(s)$  una constante (media) desconocida,  $\varepsilon(s)$  los errores aleatorios;  $s$  simplemente indica el lugar con unas determinadas coordenadas espaciales  $X$  (longitud) e  $Y$  (latitud).

Cuando existe tendencia en los datos o un lento de cambio en los valores medios se utiliza el **kriging universal** cuya ecuación es la misma, salvo que  $\mu(s)$  es la tendencia, que es modelada mediante una función polinómica de tal modo que:

$$Z(s) = \beta_0 + \beta_1 x_1(s) + \beta_2 x_2(s) + \dots + \beta_p x_p(s) + \varepsilon(s)$$

Donde  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  son los coeficientes de tendencia y  $\varepsilon(s)$  los errores que se supone que son estacionarios.

Semejante al kriging ordinario es el **kriging simple**, salvo que considera la media de los datos una constante conocida y que la suma de los pesos nos da 1 (Moreno, 2006).

### 2.2.7 Validación cruzada

Existe una forma de comprobar el efecto de todas las decisiones tomadas en los métodos de estimación de la variable en el espacio. El método se conoce como validación cruzada y consiste en eliminar un valor de la variable, calcular el semivariograma correspondiente y estimar el valor eliminado a partir de dicho semivariograma. Si esto lo hacemos uno por uno con todos los valores de las variables, finalmente podremos representar todos los valores interpolados frente a sus valores reales (Moreno, 2006).

El beneficio real de una validación cruzada es el de señal de aviso. El estudio de los resultados de la validación cruzada debe concentrarse en los aspectos negativos, como en errores muy abultados o áreas con evidente sobre o subestimación.



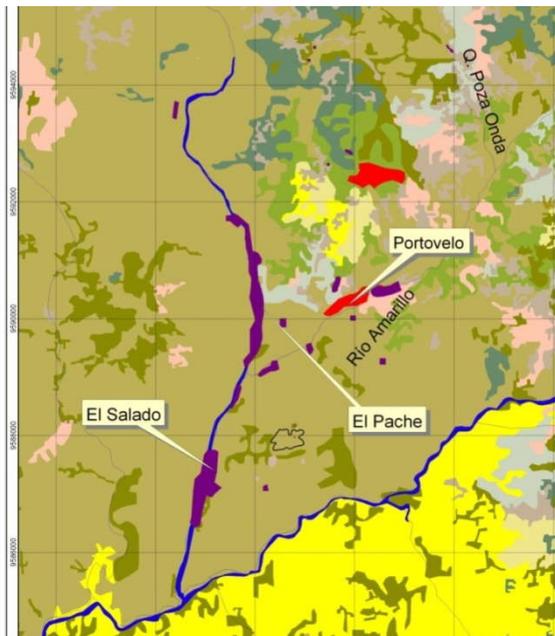
## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 UBICACIÓN

La zona de estudio está conformada aproximadamente de 40.84 ha de terreno y se encuentra ubicada en la parte alta de la Provincia de El Oro, en las inmediaciones de los Cantones de Zaruma y Portovelo, sector “El Pache”. El área de análisis tiene una cota de altitud que varía de 660 hasta 671 msnm, entre las coordenadas UTM 17S 651 614.202 X; 9 590 619.393 Y y 651 893.877 X; 9 589 159.221 Y.

*Fig.10 (Distrito Minero Portovelo Zaruma), sector “El Pache”*



*Fuente: (UTPL – Ministerio del Ambiente, 2008)*

#### 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área presenta en general un clima definido con dos estaciones bien marcadas: una época húmeda con fuertes precipitaciones durante los meses de diciembre a mayo y una estación seca en los meses de junio a noviembre. La temperatura oscila entre un mínimo de 16 °C a un máximo de 30 °C, con una temperatura promedio anual de 22 °C (Worldclim, 2005).



Las formaciones vegetales presentes en el distrito Distrito Minero Portovelo – Zaruma, sector “El Pache” son el resultado de una compleja interacción entre diferentes factores biofísicos que a través del tiempo han evolucionado, modificando y dando origen a un complejo paisaje heterogéneo. La cobertura vegetal del área de estudio está definida según la clasificación ecológica de (Baquero et al., 2004) por bosques de tipo montano, pero con composiciones y estructuras totalmente diferentes entre estos.

La mineralización del Distrito Minero Portovelo – Zaruma está alojada en vulcanitas intermedias a silíceas de la recientemente definida Unidad Portovelo (Pratt et al., 1997) que esta fallada contra las rocas metamórficas del sur a lo largo del Sistema de Fallas Piñas-Portovelo y que se superpone disconformemente sobre el Complejo Metamórfico de El Oro. Esta unidad está dominada por lavas andesíticas masivas porfídicas a basaltos andesíticos y brecha.

### **3.3 MATERIALES Y EQUIPOS**

Los materiales y equipos utilizados en el presente trabajo son:

- GPS marca GARMIN ETREX
- Balanza electrónica con sensibilidad de 0.1 gr
- Cuarteador mecánico Fornei
- Bandejas metálicas
- Barretas
- Cucharones
- Muestras de suelo
- Etiquetas
- Bolsas

### **3.4 MUESTREO**

Para el efecto de muestreo, se hace un reconocimiento de la zona de estudio, para establecer la estructura orográfica de la que está compuesta, seguidamente se procede a determinar la técnica de recolección de los datos y conjuntamente a determinar la localización exacta de cada unidad de observación. Como siguiente paso se procede a obtener 2 kg de muestra de suelo mediante un cucharón a una profundidad de (0-15 cm), ya que a este nivel se refleja la deposición de contaminantes transportados por aire o depositados recientemente.

#### **3.4.1 Método de muestreo**

Los datos obtenidos corresponden al mes de enero de 2010, originarios del Distrito Minero Portovelo – Zaruma, sector “El Pache”.



La técnica de muestreo aplicado fue el **muestreo aleatorio simple**, que consiste en la toma de una muestra de tamaño **n** (número de prueba) de una población de tamaño **N** (número total) de tal forma que cada individuo de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado. (Ovalles, 2001).

### 3.4.1.1 Fase de campo

Entre enero y febrero de 2010 se realizó las siguientes actividades

- Recolección de muestras en 50 puntos de la zona de interés.
- Los puntos muestrados se georeferenciaron mediante un GPS.
- Cada muestra se introdujo en bolsas herméticamente cerradas con su respectiva identificación.

### 3.4.1.2 Fase de laboratorio

Entre marzo y abril de 2010 se evaluaron los siguientes parámetros.

#### Propiedad Física:

**Textura:** Se determinó por el método del hidrómetro y con eliminación de materia orgánica.

Para establecer la textura del suelo por este método, en análisis de rutina y con suelos que tengan bajo contenido de materia orgánica (< 5%), se llevan a cabo las siguientes acciones.

- Se pesan 50 g de suelo, cernido por tamiz de 2 mm y seco al aire, siempre que no se note arenoso, caso en el cual se pesan 100 g de suelo.
- Se coloca el suelo en el vaso de una batidora (especialmente diseñada para no moler el suelo), se le agregan 10 a 20 mL de dispersante y se bate durante 10 minutos.
- Se transfiere la suspensión anterior a un cilindro graduado de 1000 mL, se lava el vaso con agua destilada y se completa el volumen del cilindro.
- Se agita la suspensión unas 10 veces, vigorosamente, con un émbolo de caucho y se deja reposar, tomando registro del tiempo a partir del momento en que se retire el émbolo.
- A los 40 s de reposo se hace la primera lectura con el hidrómetro apuntando, además, la temperatura de la suspensión; con esta lectura se calcula el contenido de arena (A%) con la siguiente fórmula:

$$(A\%) = 100 - \left( \frac{\text{Lectura.Correctada.40s}}{\text{Peso.Muestra}} \times 100 \right)$$

- Al terminar la lectura de los 40 s, se retira el hidrómetro y se deja en reposo la suspensión hasta completar 2 horas. Al cabo de éstas, se introduce nuevamente el hidrómetro y se



hace otra lectura; se toma también la temperatura; con esta lectura se calcula el contenido de arcilla ( $Ar\%$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$(Ar\%) = \frac{Lectura.Corregida.2h}{Peso.Muestra} \times 100$$

- A continuación, se calcula el contenido de limo ( $L\%$ ) con la siguiente fórmula:

$$(L\%) = 100 - [(A\%) + (Ar\%)]$$

- Los porcentajes obtenidos se llevan al triángulo textural (ver Fig.1) y se define la clase textural correspondiente a la muestra tratada.

### Propiedades Químicas:

**pH:** se realizó, por el método del potenciómetro con electrodo de vidrio en relación 1:2.5 (suelo-agua).

El procedimiento, según el Soil Survey Laboratory (SSL, 1996), consiste en:

- Se calibra el potenciómetro con las soluciones buffer que se tienen para este efecto, a pHs de 4 y de 7.
- Se toma una muestra de 20 g de suelo seco al aire, se coloca la muestra en un beaker de volumen adecuado al tamaño de ella y se le adicionan 50 g de agua destilada (50 mL son equivalentes); si se va a utilizar la relación con volumen, se toma la muestra de suelo con una cuchara volumétrica, enrasándola bien en el borde de la misma y, con la misma cuchara, se toma un volumen de agua destilada igual al volumen de la muestra de suelo; se deja la suspensión en reposo durante 1 hora, agitándola ocasionalmente.
- Se introduce el electrodo de vidrio del potenciómetro en la suspensión, teniendo la precaución de que quede en contacto con el suelo y se hace la lectura correspondiente.
- Chequear la calibración del potenciómetro, cada cierto número de muestras (12 por ejemplo).

**Materia Orgánica:** se empleó el método Walkley – Black.

Con este método se estima el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo, completo o de alguna de sus fracciones. Es el método más utilizado en nuestro medio para evaluar la materia orgánica del suelo. Motta et al., (1990) exponen los procedimientos para llevar a cabo esta determinación como se presentan a continuación:

- Se pesan entre 0.2 y 2 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm (o al tamaño de la fracción requerida), dependiendo del color del suelo: más oscuro menor cantidad y viceversa.



- Se coloca la muestra en un erlenmeyer de 250 mL y se le adicionan 5 mL de dicromato de potasio 1N y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se agita y se deja enfriar; hay que tener precaución en este punto pues la reacción que se presenta es violenta.
- Cuando se enfría el conjunto anterior, se diluye con 50 mL de agua destilada y se le agregan 5 mL de ácido fosfórico y 3 gotas de difenilamina o 5 gotas de ortofenantrolina.
- Se prepara un blanco, es decir, una mezcla de todos los reactivos mencionados pero sin suelo.
- Se titulan la mezcla inicial y el blanco con una solución de sulfato ferroso 1N; la titulación está completa cuando se obtiene un color verde.
- Se calcula el contenido de carbono orgánico con la siguiente ecuación:

$$(C\%) = \frac{V \times \left(1 - \frac{M}{B}\right) \times 0.003}{Pm}$$

Donde:

(C%)= Contenido de carbono orgánico en %.

V= Volumen de dicromato de potasio empleado en la muestra y en el blanco (5 mL).

M = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco.

Pm = Peso de la muestra.

- Se transforma el contenido de carbono orgánico a contenido de materia orgánica, en porcentaje (%MO), mediante la relación

$$(MO\%) = (C\%) \times 1.724$$

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.5.1 Análisis univariado

En esta etapa se realiza el análisis estadístico del comportamiento que presenta cada una de las variables de interés.

Primeramente se realizó un análisis exploratorio de datos espaciales, a partir de la extensión Geostatistical Analyst del programa ARCGIS 9.3. Los productos obtenidos del análisis permitieron conocer la distribución de frecuencias, medidas de tendencia central, detectar valores extremos (outliers), buscar tendencias, entre otros importantes estadísticos.

En el caso de que una variable no tuviera distribución normal, para hacer que los datos estén normalmente, fue necesario transformarla a una variable que si la dispusiera, aspecto al que se llegó a partir de funciones de transformación (Box-Cox, Logarítmica). Si bien antes de



transformar una variable se ha tenido en cuenta las características y forma de su distribución. Se tuvo presente que en una distribución normal los valores de la media y la mediana coinciden y en consecuencia la razón de estos valores debe ser igual a 1. Por lo tanto éste es uno de los criterios para determinar cuál es la mejor transformación, que el cociente entre ambos estadísticos se aproxime a la unidad. Otros criterios serán comprobar que la asimetría esté próxima a 0 y la curtosis próxima a 3 (Moreno, 2006)

La extensión Geostatistical Analyst del programa ARCGIS 9.3 posee 2 métodos de transformación:

**A) Transformación de Box-Cox:**

$$Y(s) = \left( \frac{Z(s^\lambda) - 1}{\lambda} \right)$$

Para  $\lambda \neq 0$ . Siendo  $Y(s)$  el valor resultante de la transformación,  $Z(s)$  el valor original de la variable, y  $\lambda$  el exponente al que elevo la variable original. La transformación Box-Cox se utiliza tanto para datos con asimetría positiva o negativa.

Cuando  $\lambda = 0$  la transformación corresponde a  $\ln(Z(s))$ .

**B) Transformación logarítmica:**

$$Y(s) = \ln(Z(s))$$

Para  $Z(s) > 0$  siendo  $\ln$  logaritmo natural. La transformación Logarítmica se utiliza cuando los datos presentan una asimetría positiva y por tanto existe un grupo con valores muy elevados.

Una vez que la variable fuese transformada, se le aplicaron las mismas pruebas de normalidad a las que fue sometida la variable original. Las pruebas de normalidad se las realizó mediante el programa BioStat 2009.

### 3.5.2 Análisis bivariado

En este tipo de análisis, se estudió el comportamiento que tienen entre cada par de variables, que componen el suelo de la zona de estudio.

Se determinó si el nivel de concentración de cada variable es influenciado de una manera directa o indirecta por cada una de las demás variables.

Para determinar las relaciones entre dos conjuntos de datos se hizo uso de la covarianza y coeficiente de correlación.



La covarianza mide la relación existente entre dos variables. Si la covarianza es grande, manifestará la existencia de una cierta dependencia. Si es pequeña, indicará que ambas variables se comportan de manera más independiente.

El coeficiente de correlación, es un indicador del grado de la relación entre las dos variables, el cual oscila en el intervalo cerrado  $[-1,+1]$ , es decir,  $-1 \leq r \leq +1$ .

Cuando  $r$  toma un valor extremo, ya sea  $r=1$  ó  $r=-1$  existe una correlación perfecta positiva o negativa según el signo.

Sin embargo, no todas las relaciones son tan ideales, en el común de los casos  $-1 \leq r \leq +1$ . Empíricamente se afirma que:

- Si  $r = \pm 1$  Correlación perfecta
- Si  $0.9 \leq r < 1$  ó  $-1 < r \leq -0.9$  Correlación excelente
- Si  $0.8 \leq r < 0.9$  ó  $-0.9 < r \leq -0.8$  Correlación buena
- Si  $0.6 \leq r < 0.8$  ó  $-0.8 < r \leq -0.6$  Correlación regular
- Si  $0.3 \leq r < 0.6$  ó  $-0.6 < r \leq -0.3$  Correlación mala
- Si  $-0.3 < r < 0.3$  No hay correlación

La covarianza y coeficiente de correlación fueron calculados a partir del programa BioStat 2009 y la extensión Microsoft Excel 2009.

### 3.6 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

En esta etapa se calcularon los semivariogramas empíricos para explorar y cuantificar la dependencia espacial de cada una de las variables. El ajuste a los semivariogramas teóricos para obtener los parámetros de los semivariogramas se lo ejecutó automáticamente mediante la extensión Geostatistical Analyst del programa ARCGIS 9.3.

Definidos los modelos rango, sill y nugget de los semivariogramas, se procedió a realizar la predicción, es decir la ejecución del kriging ordinario teniendo en cuenta el número de vecinos a considerar en la interpolación. Esta operación fue realizada con la extensión Geostatistical Analyst en el programa ARCGIS 9.3 para cada una de las variables de interés.

### 3.7 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PREDICCIÓN

La evaluación de la calidad de predicción se lo realizó a partir de la validación cruzada que consiste en quitar un dato muestral y lo predice con el resto de la muestra, después compara el valor predicho de ese punto con el valor observado.



La eficiencia del modelo que proporciona las mejores predicciones se midieron en términos de la media estandarizada (Mean Standardized Prediction Errors), y el error cuadrático medio estandarizado (Root Mean Square Standardized).

### Media Estandarizada

$$MS = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \hat{Z}(s_i) - z(s_i) \right) / \hat{\sigma}(s_i)}{n}$$

Donde:

Ms = Media estandarizada

$\hat{Z}(s_i)$  = Valor pronosticado

$z(s_i)$  = Valor observado

$\hat{\sigma}(s_i)$  = Desviación estándar de los valores observados

n = Número de datos.

### Error Cuadrático Medio Estandarizado

$$RMSS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \hat{Z}(s_i) - z(s_i) \right) / \hat{\sigma}(s_i)}{n}}^2$$

Donde:

RMSS = Error cuadrático medio estandarizado

## 3.8 ELABORACIÓN DE MAPAS DE PREDICCIÓN

Posteriormente a la evaluación de la calidad de predicción para cada una de las variables de estudio se efectuó los mapas de predicción, mediante el método de interpolación kriging ordinario.

Los mapas de predicción fueron realizados con la extensión Geostatistical Analyst en el programa ARCGIS 9.3.



## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ESTADÍSTICA

En esta etapa se realiza el análisis estadístico del comportamiento que presenta cada una de las variables de interés.

El estudio estadístico está comprendido por los análisis univariado y bivariado.

##### 4.1.1 Análisis Univariado

Warrick y Nielsen (1980), indican para las propiedades del suelo una variabilidad baja para coeficientes de variación (CV) menores a 12%, variabilidad media para coeficientes de variación (CV) entre 12 y 60% y variabilidad alta coeficientes de variación (CV) mayores a 60%.

En la tabla 2 se presenta los valores obtenidos en el análisis univariado de cada una de las variables de interés.

*Tabla 2 Resumen estadístico de las variables de estudio*

Análisis Univariado	VARIABLES				
	A %	L %	Ar %	MO %	pH
Mínimo	36.4	18	2	0.7	4
Máximo	75.2	53.2	25.6	4.9	7.5
Rango	38.8	35.2	23.6	4.2	3.5
Sesgo	0.002	0.096	1.801	0.035	0.677
Curtosis	2.753	2.749	8.545	2.169	1.757
1er Cuartil	52.4	30.4	3.6	1.3	4.1
Mediana	57.4	34.8	6.8	2.8	4.4
3er Cuartil	63.2	40.4	9.2	3.1	6.5
Media	57.904	35.16	7.016	2.496	5.172
Varianza	71.834	61.030	18.032	1.337	1.693
Desv. Estándar	8.476	7.812	4.247	1.156	1.301
Coef. Variación	14.6	22.2	60.5	46.3	25.2
N° Observaciones	50	50	50	50	50

A%= Porcentaje de arena    %L= Porcentaje de limo    Ar %= Porcentaje de arcilla  
MO%= Porcentaje de materia orgánica

*Fuente: El Autor*



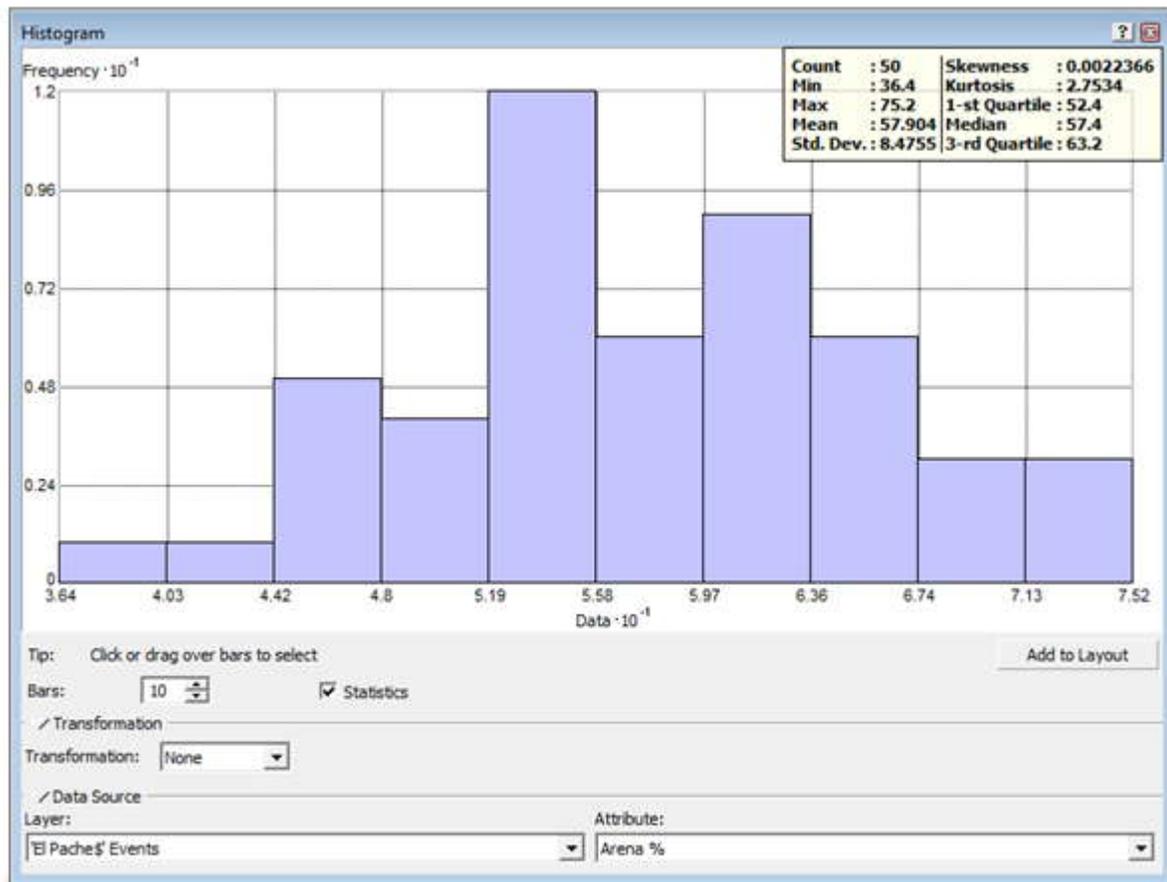
## Textura

- **Arena:** Las medidas de centralidad de esta variable son: *media* (57.904) y *mediana* (57.4) con un coeficiente de variación media (CV) de (14.6%), lo que indica lo concentrado que se encuentran los valores alrededor de su media, a pesar de la amplitud que en general tiene el conjunto de datos evaluado (38.8). El *primer* y el *tercer cuartil* corresponden a una proporción acumulada de 0.25 y 0.75 respectivamente. Como los datos están ordenados de forma creciente, el 25% de los valores están por debajo del primer cuartil (52.4%) y el 25% de los datos están por encima del tercer cuartil (63.2%).

El sesgo del conjunto de datos es (0.002) el cual se aproxima a una distribución perfectamente simétrica cuyo valor es cero. La media está por encima de la mediana, son claros indicadores de que nuestros datos tienen asimetría positiva.

El curtosis de esta variable es (2.753), por lo tanto la distribución es platicúrtica.

**Fig.11** Histograma de frecuencias de la variable Arena (A)



Eje X= Arena% · 10<sup>-1</sup>

Eje Y= Frecuencia · 10<sup>-1</sup>

*Fuente: El Autor*



En cuanto a las pruebas de normalidad de los datos, realizadas a la variable contenido de arena (A) y sus resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

**Cuadro 1** Pruebas de normalidad para la variable Arena (A)

Pruebas de Normalidad			
<b>Arena</b>			
Tamaño muestral	50	Media	57.904
Desviación Típica	8.4755	Mediana	57.4
Sesgamiento	0.0022	Kurtosis	2.7534
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0.0023	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-0.1429
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0.0206	1.	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0.9866	0.8361	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0.0072	0.9943	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0.0261	0.9792	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0.0007	0.9996	Aceptar la Normalidad

**Fuente:** El Autor

Los resultados mostrados en el Cuadro 1 permiten constatar que la variable contenido de arena (A) presenta una distribución de probabilidad normal. Pasó todas las pruebas de normalidad.

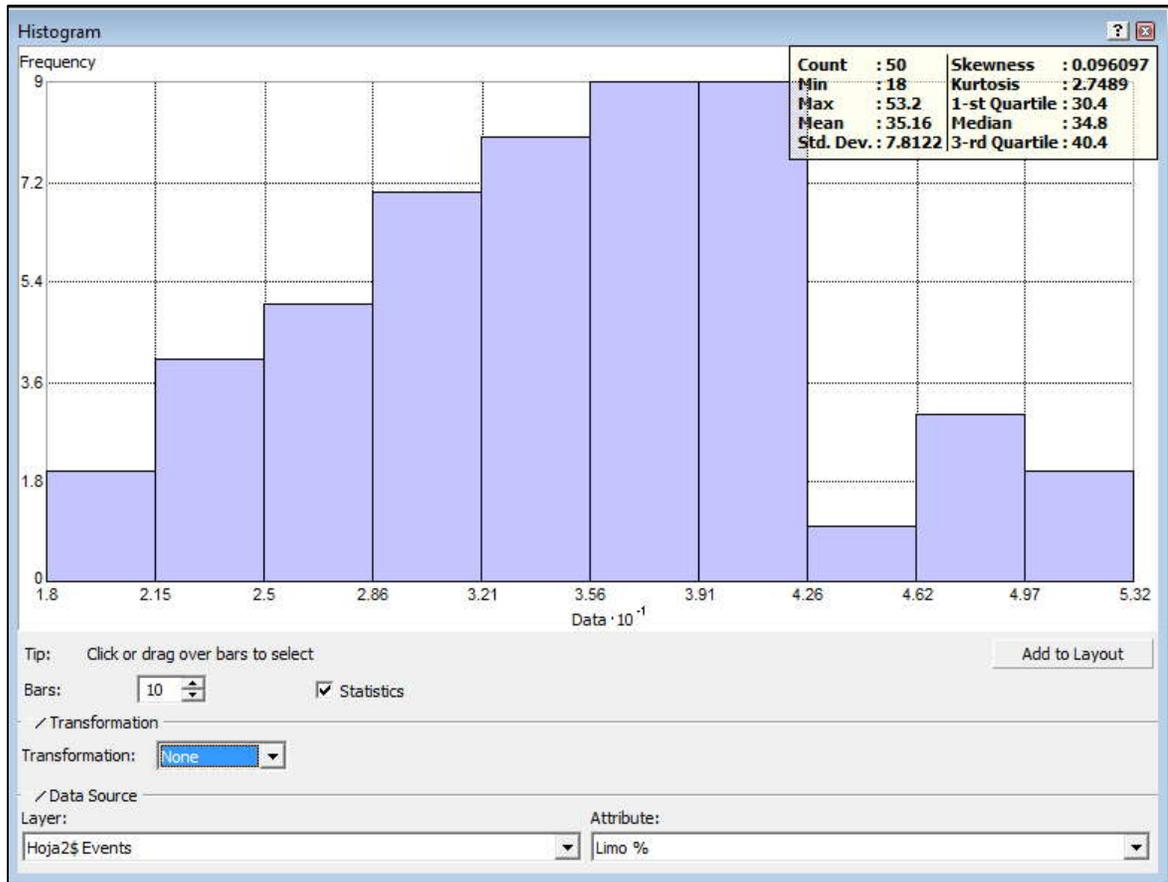
- **Limo:** Las medidas de centralidad de esta variable son: *media* (35.16) y *mediana* (34.8), tiene un coeficiente de variación media (CV) de (22.2%), lo que indica lo concentrado que se encuentran los valores alrededor de su media, a pesar de la amplitud que en general tiene el conjunto de datos evaluado (35.2). El *primer* y el *tercer cuartil* corresponden a una proporción acumulada de 0.25 y 0.75 respectivamente. Como los datos están ordenados de forma creciente, el 25% de los valores están por debajo del primer cuartil (30.4%) y el 25% de los datos están por encima del tercer cuartil (40.4%).

El *sesgo* del conjunto de datos es (0.096). La media está por encima de la mediana, son claros indicadores de que nuestros datos tienen asimetría positiva.

El *curtosis* de esta variable es (2.749), por lo tanto la distribución es platicúrtica.



Fig.12 Histograma de frecuencias de la variable Limo (L)



Fuente: El Autor

En cuanto a las pruebas de normalidad de los datos, realizadas a la variable contenido de limo (L) y sus resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 2 Pruebas de normalidad para la variable Limo (L)

Pruebas de Normalidad			
<b>Limo</b>			
Tamaño muestral	50	Media	35.16
Desviación Típica	7.8122	Mediana	34.8
Sesgamiento	0.0961	Kurtosis	2.7489
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0.0991	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-0.1478
	Estadísticas de la Prueba	nivel p	Conclusión: (5%)
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0.0203	1.	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0.9897	0.9395	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0.3088	0.7574	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0.035	0.9721	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0.0966	0.9528	Aceptar la Normalidad

Fuente: El Autor



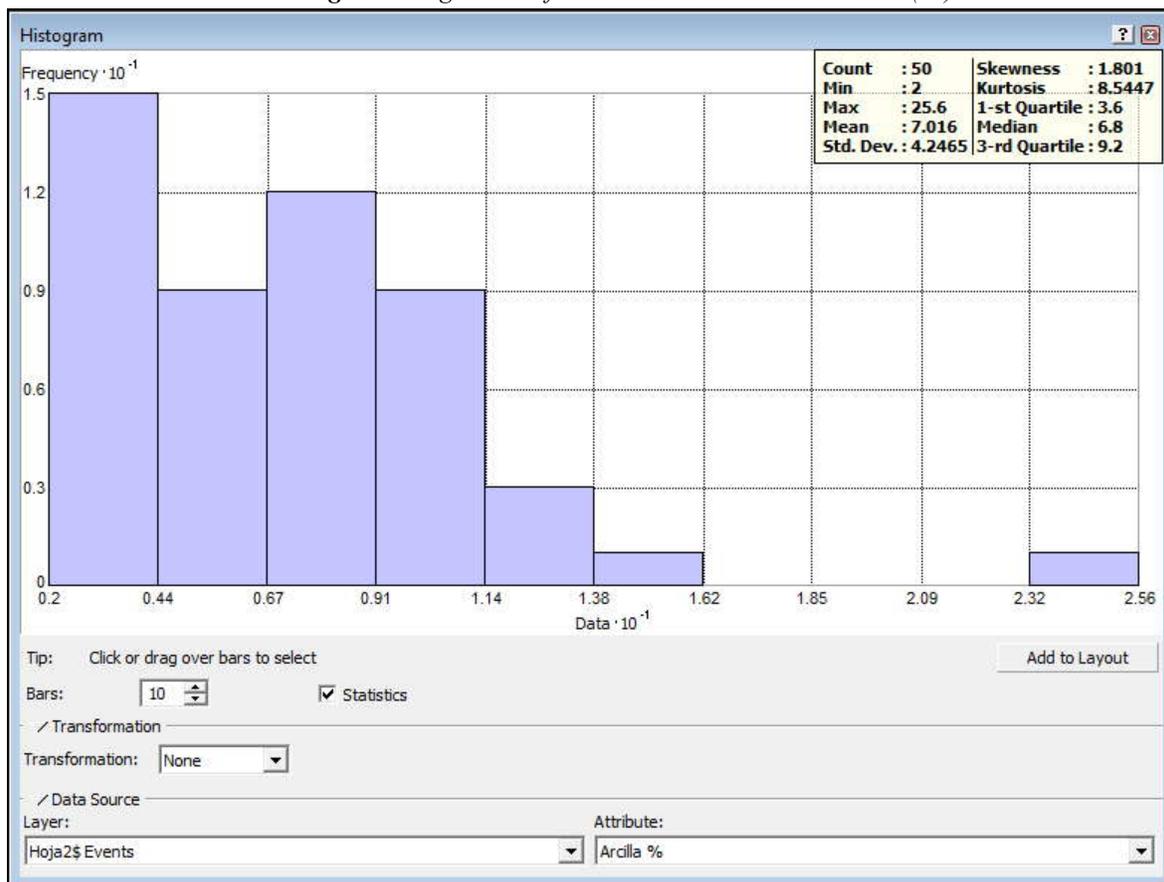
Los resultados mostrados en el Cuadro 2 permiten constatar que la variable contenido de limo (L) presenta una distribución de probabilidad normal o gaussiana. Pasó todas las pruebas de normalidad.

- **Arcilla:** Las medidas de centralidad de esta variable son: *media* (7.016) y *mediana* (6.8), tiene un coeficiente de variación alto (60.5%), lo que indica la baja concentración de los valores alrededor de la media, a pesar de la amplitud que en general tiene el conjunto de datos evaluado (23.6). El *primer* y el *tercer cuartil* corresponden a una proporción acumulada de 0.25 y 0.75 respectivamente. Como los datos están ordenados de forma creciente, el 25% de los valores están por debajo del primer cuartil (3.6%) y el 25% de los datos están por encima del tercer cuartil (9.2%).

El *sesgo* del conjunto de datos es (1.801). La media está por encima de la mediana, son claros indicadores de que nuestros datos tienen asimetría positiva.

El *curtosis* de esta variable es (8.545) con una distribución muy picuda o leptocúrtica.

*Fig.13* Histograma de frecuencias de la variable Arcilla (Ar)



*Fuente:* El Autor



En cuanto a las pruebas de normalidad de los datos, realizadas a la variable contenido de arcilla (Ar) y sus resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

*Cuadro 3 Pruebas de normalidad para la variable Arcilla (Ar)*

Pruebas de Normalidad			
<b>Arcilla</b>			
Tamaño muestral	50	Media	7.016
Desviación Típica	4.2465	Mediana	6.8
Sesgamiento	1.801	Kurtosis	8.5447
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	1.8572	Kurtosis Alterna (de Fisher)	6.2722
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0.	1.	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0.8552	0.	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	4.3425	0.	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	3.7943	0.0001	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	33.2541	0.	Rechazar la Normalidad

*Fuente: El Autor*

Los resultados mostrados en el Cuadro 3 permiten constatar que la variable contenido de arcilla (Ar) no presenta una distribución de probabilidad normal. Puesto que todas las pruebas de normalidad fueron rechazadas.

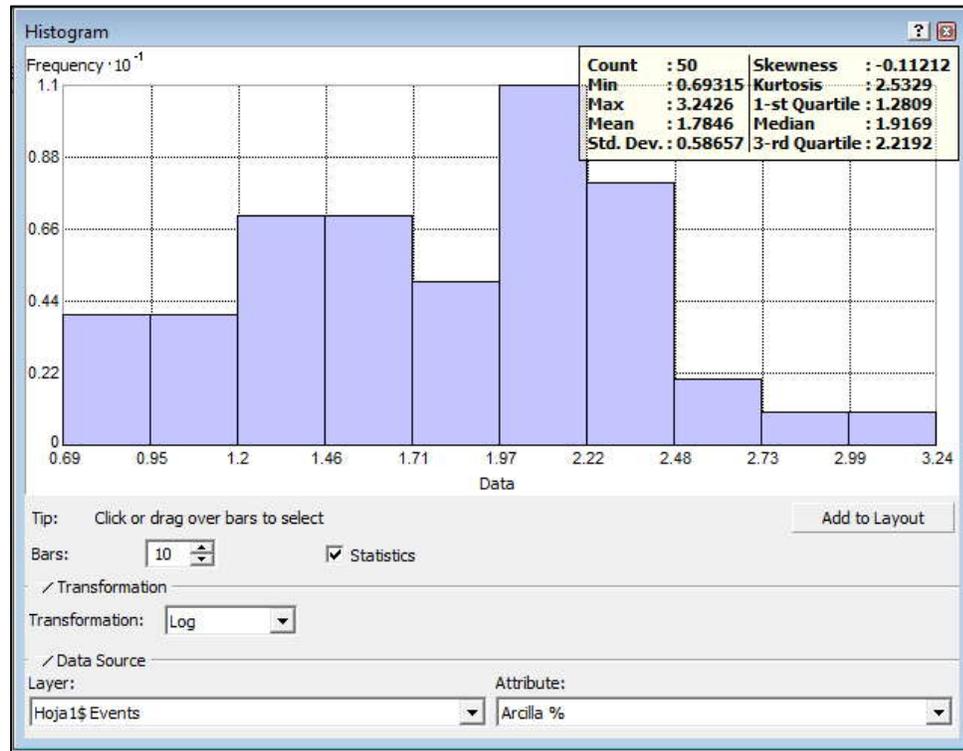
Para hacer que los datos estén normalmente distribuidos y además se satisfaga la asunción de igualdad de su variabilidad (igualdad de sus varianzas), o por lo menos que las varianzas sean más constantes, fue necesario transformarla a una variable que si la dispusiera.

Si bien es cierto todos los métodos de interpolación probabilísticos como kriging requieren que se cumpla el supuesto de normalidad. Para realizar mapas de predicción no es estrictamente necesario, pero cumplir con este supuesto disminuye notablemente el error en las predicciones.

Para la variable contenido de arcilla se utilizó la transformación Logarítmica porque los datos presentaron asimetría positiva.



*Fig.14 Histograma de frecuencias de la variable Ln Arcilla (LnAr)*



*Fuente: El Autor*

Como se puede observar en la Fig.14 utilizando la transformación Logarítmica se obtuvo una transformación más óptima.

Nuevamente se aplicó las pruebas de normalidad a la variable transformada y sus resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

*Cuadro 4 Pruebas de normalidad para la variable Ln Arcilla (LnAr)*

Pruebas de Normalidad			
<b>Ln Arcilla</b>			
Tamaño muestral	50	Media	1.7846
Desviación Típica	0.587	Mediana	1.92
Sesgamiento	-0.1173	Kurtosis	2.5327
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0.121	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-0.3874
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0.	1.	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0.9686	0.202	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0.3767	0.7064	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0.5134	0.6077	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0.4054	0.8165	Aceptar la Normalidad

*Fuente: El Autor*



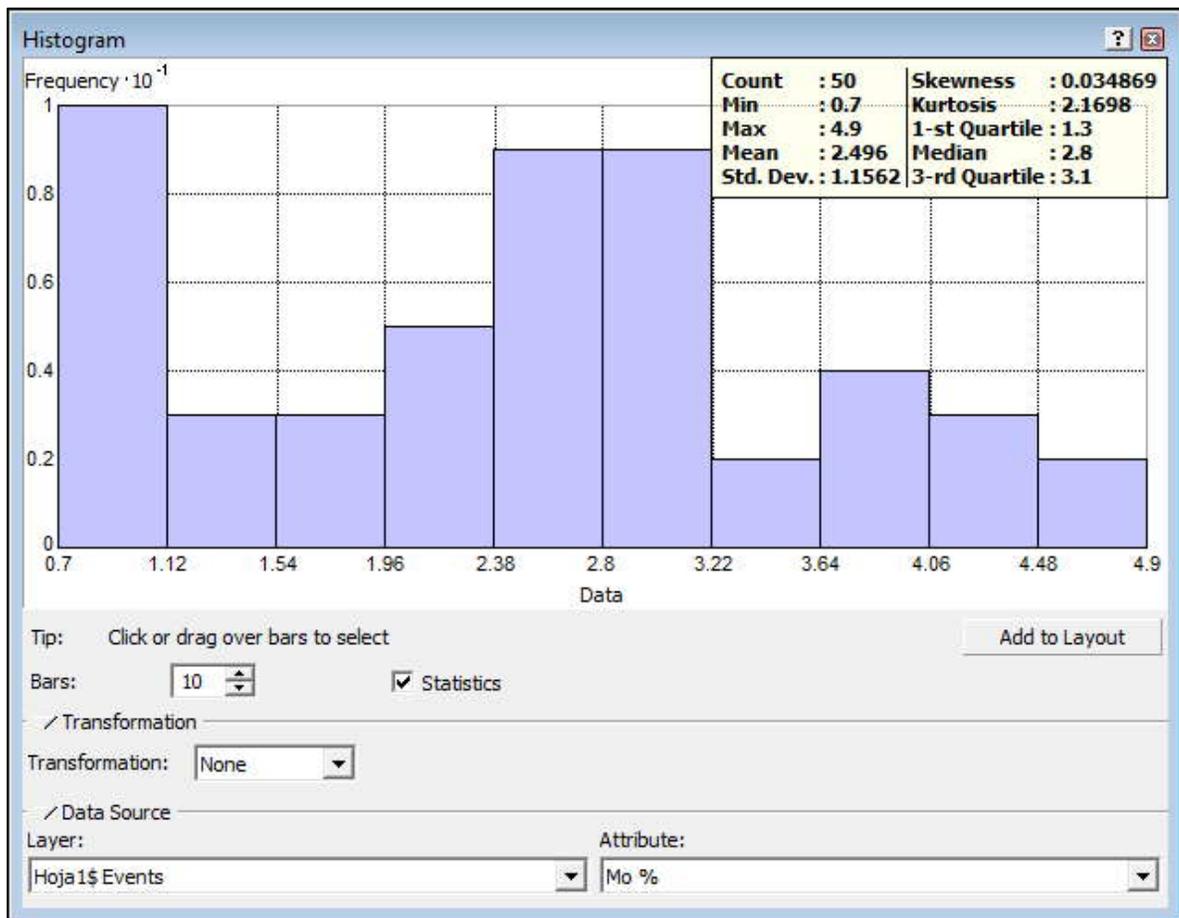
Los resultados mostrados en el Cuadro 4 permiten constatar que la variable Ln del contenido de arcilla (LnAr) presenta una distribución de probabilidad normal. Pasó todas las pruebas de normalidad.

**Materia Orgánica:** Las medidas de centralidad de esta variable son: media (2.496) y mediana (2.8), tiene un coeficiente de variación media (46.3%), lo que indica la baja concentración de los valores alrededor de la media, a pesar de la amplitud que en general tiene el conjunto de datos evaluado (4.2). El primer y el tercer cuartil corresponden a una proporción acumulada de 0.25 y 0.75 respectivamente. Como los datos están ordenados de forma creciente, el 25% de los valores están por debajo del primer cuartil (1.3%) y el 25% de los datos están por encima del tercer cuartil (3.1%).

El sesgo del conjunto de datos es (0.035). La media está por debajo de la mediana, son claros indicadores de que nuestros datos tienen una asimetría negativa.

El curtosis de esta variable es (2.169), por lo tanto la distribución es platicúrtica.

*Fig.15 Histograma de frecuencias de la variable Materia Orgánica (MO)*



*Fuente: El Autor*



En cuanto a las pruebas de normalidad de los datos, realizadas a la variable contenido de materia orgánica (MO) y sus resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

*Cuadro 5 Pruebas de normalidad para la variable Materia Orgánica (MO)*

Pruebas de Normalidad			
<b>Mo</b>			
Tamaño muestral	50	Media	2.496
Desviación Típica	1.1562	Mediana	2.8
Sesgamiento	0.0349	Kurtosis	2.1698
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0.036	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-0.7894
Estadísticas de la Prueba		nivel p	Conclusión: (5%)
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0.0103	1.	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0.9468	0.0252	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0.1122	0.9107	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-1.5973	0.1102	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	2.5641	0.2775	Aceptar la Normalidad

*Fuente: El Autor*

Los resultados mostrados en el Cuadro 5 permiten constatar que la variable contenido de materia orgánica (MO) presenta una distribución de probabilidad normal con un nivel de confianza del 95%. Aunque no pasó la prueba de Shapiro-Wilk.

El nivel p (nivel de significancia) tiene que ser mayor a 0.05 para aceptar la normalidad.

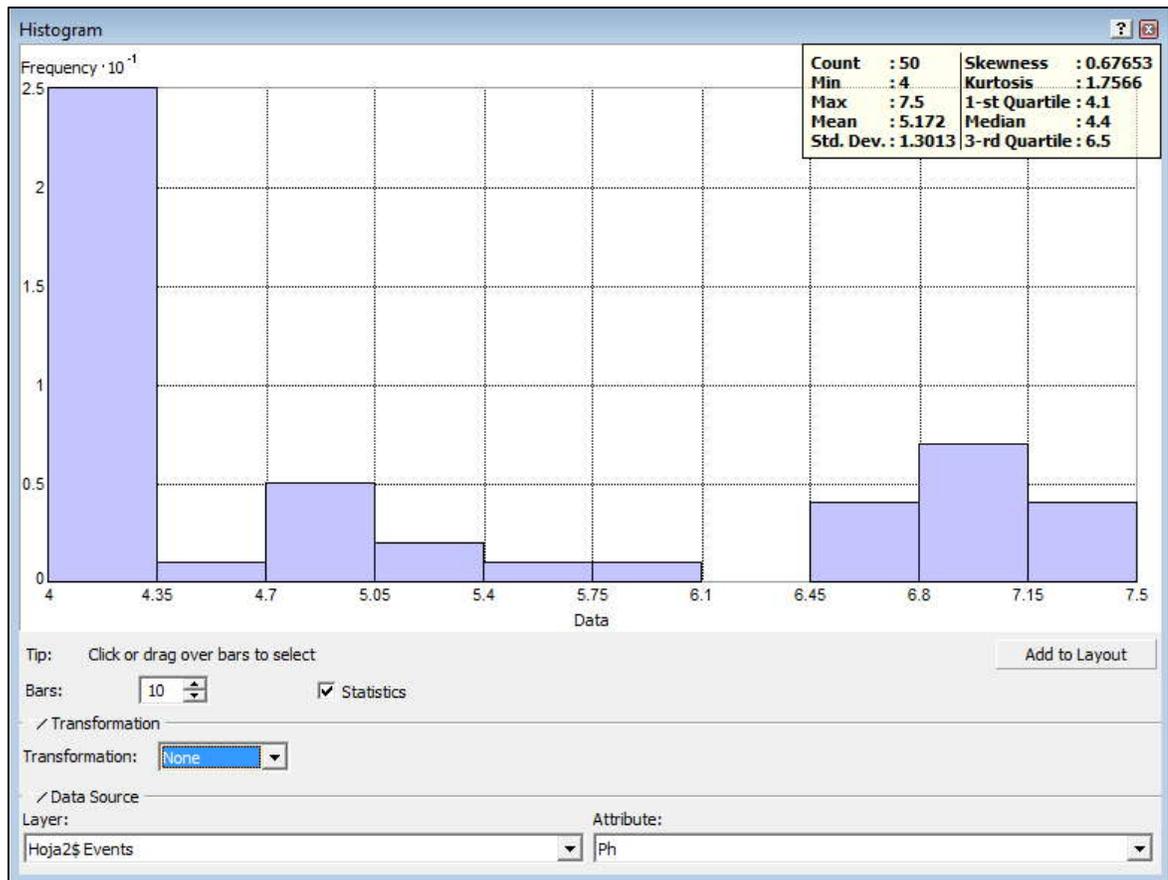
**pH:** Las medidas de centralidad de esta variable son: media (5.172) y mediana (4.4), tiene un coeficiente de variación media (25.2%), lo que indica la baja concentración de los valores alrededor de la media, a pesar de la amplitud que en general tiene el conjunto de datos evaluado (3.5). El primer y el tercer cuartil corresponden a una proporción acumulada de 0.25 y 0.75 respectivamente. Como los datos están ordenados de forma creciente, el 25% de los valores están por debajo del primer cuartil (4.1%) y el 25% de los datos están por encima del tercer cuartil (6.5%).

El sesgo del conjunto de datos es (0.677). La media está por encima de la mediana, son claros indicadores de que nuestros datos tienen asimetría positiva.

El curtosis de esta variable es (1.757), por lo tanto la distribución es platicúrtica.



Fig.16 Histograma de frecuencias de la variable pH



Fuente: El Autor

En cuanto a las pruebas de normalidad de los datos, realizadas a la variable pH y sus resultados se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6 Pruebas de normalidad para la variable pH

Pruebas de Normalidad			
<b>pH</b>			
Tamaño muestral	50	Media	5.172
Desviación Típica	1.3013	Mediana	4.4
Sesgamiento	0.6765	Kurtosis	1.7566
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0.6976	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1.247
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0.	1.	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0.7882	0.	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2.0376	0.0416	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3.7385	0.0002	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	18.1282	0.0001	Rechazar la Normalidad

Fuente: El Autor



Los resultados mostrados en el Cuadro 6 permiten constatar que la variable pH no presenta una distribución de probabilidad normal. Puesto que todas las pruebas de normalidad fueron rechazadas.

Se procedió a realizar la transformación Logarítmica y Box-Cox a los datos, pero nuevamente al realizar las pruebas de normalidad fueron rechazadas. Por lo que se optó por trabajar con los datos de la variable sin transformación alguna.

#### 4.1.2 Análisis Bivariado

En la tabla 3 muestra las varianzas y covarianzas encontradas entre las variables de estudio.

*Tabla 3 Matriz de varianzas y covarianzas de las variables de estudio*

	A	L	Ar	MO	pH
A	71.83				
L	-55.71	61.03			
Ar	-13.40	-4.67	18.03		
MO	1.77	-1.95	0.24	1.34	
pH	-1.69	1.21	0.40	0.26	1.69

*Fuente: El Autor*

Para valores positivos, el coeficiente de la covarianza entre dos variables nos indica que el nivel de concentración de la una variable crece a medida que aumenta el nivel de concentración de la otra variable.

Mientras que un coeficiente de covarianza negativo, nos indica que el nivel de concentración de la una variable disminuye a medida que aumenta el nivel de concentración de la otra variable.

El problema de la covarianza es que carece de un valor máximo, por lo que es difícil juzgar si la correspondencia entre las dos variables es la mejor posible.

En la tabla 4 muestra las correlaciones encontradas entre las variables de estudio.



*Tabla 4 Matriz de correlaciones de las variables de estudio*

	A	L	Ar	MO	pH
A	1.00				
L	-0.86	1.00			
Ar	-0.38	-0.14	1.00		
MO	0.18	-0.22	0.05	1.00	
pH	-0.16	0.12	0.07	0.18	1.00

*Fuente: El Autor*

De manera general se puede apreciar los bajos valores de correlación entre las distintas variables, lo cual puede estar en correspondencia con el coeficiente de variación de los valores obtenidos en los puntos de muestreo.

El porcentaje de arena y limo mostró correlación inversa, lo que indica que a mayor contenido de arena, se presenta menor contenido de limo. El valor de -0.86 revela que hay una correlación buena.

## 4.2 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

Este análisis evalúa el comportamiento espacial de cada una de las variables de estudio. El semivariograma experimental carece de una función matemática precisa que la describa, por lo cual se hace necesario ajustar el semivariograma a un modelo teórico, de comportamiento conocido, que adicionalmente permite extender los valores más allá de la distancia máxima definida (Moral y Marques, 2002).

En la tabla 5 se resumen los parámetros de los semivariogramas teóricos de mejor ajuste obtenidos para cada una de las propiedades estudiadas.

*Tabla 5 Parámetros geoestadísticos*

Propiedad	Nº de intervalos	Amplitud del intervalo	Modelo	Efecto Nugget Co	Sill Co+C	%Co	Rango Mayor m	Rango Menor m	Nº de vecinos	Tipo de sector
Arena	12	121.83	Esférico	69.573	73.97	94.06	1433.77	1218.06	48	⊕
Limo	Efecto nugget puro									
Arcilla	12	26.897	Esférico	0.18438	0.39	47.28	318.817	109.831	48	⊕
Materia orgánica	12	121.83	Esférico	1.0812	1.51	71.60	1433.77	528.981	25	⊗
pH	12	121.83	Exponencial	1.1987	1.83	65.50	1433.77	220.909	17	⊕

*Fuente: El Autor*

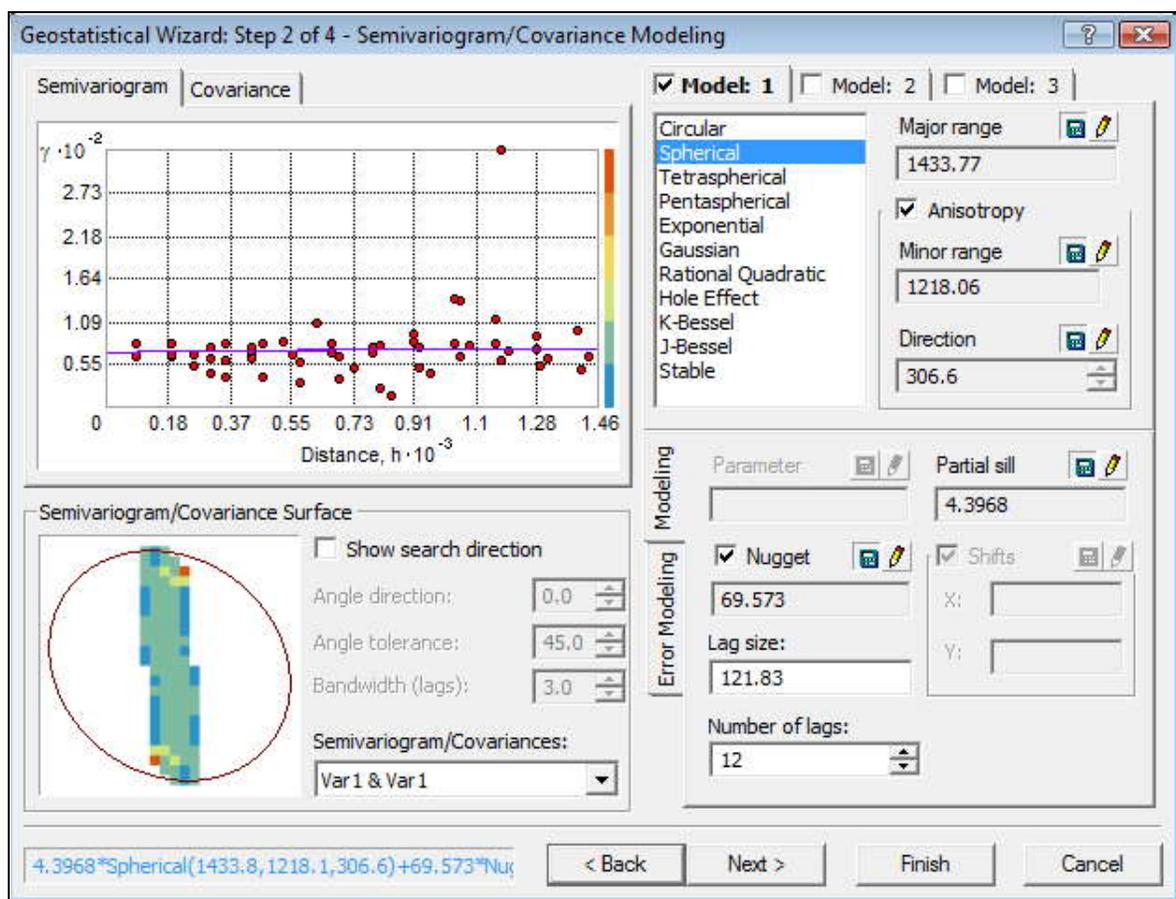
*%Co: Porcentaje que representa el nugget en el sill.*



Cambardella et al., (1994), establecieron 3 categorías para agrupar la importancia de la variabilidad espacial de las variables, de acuerdo con el porcentaje que representa el nugget en el sill, así:

- Fuerte dependencia espacial o de rango corto: nugget menor de 25%.
- Moderada dependencia espacial o de rango medio: nugget entre 25 y 75%.
- Débil dependencia espacial o de rango alto: nugget mayor del 75%.

*Fig.17 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Arena (A)*



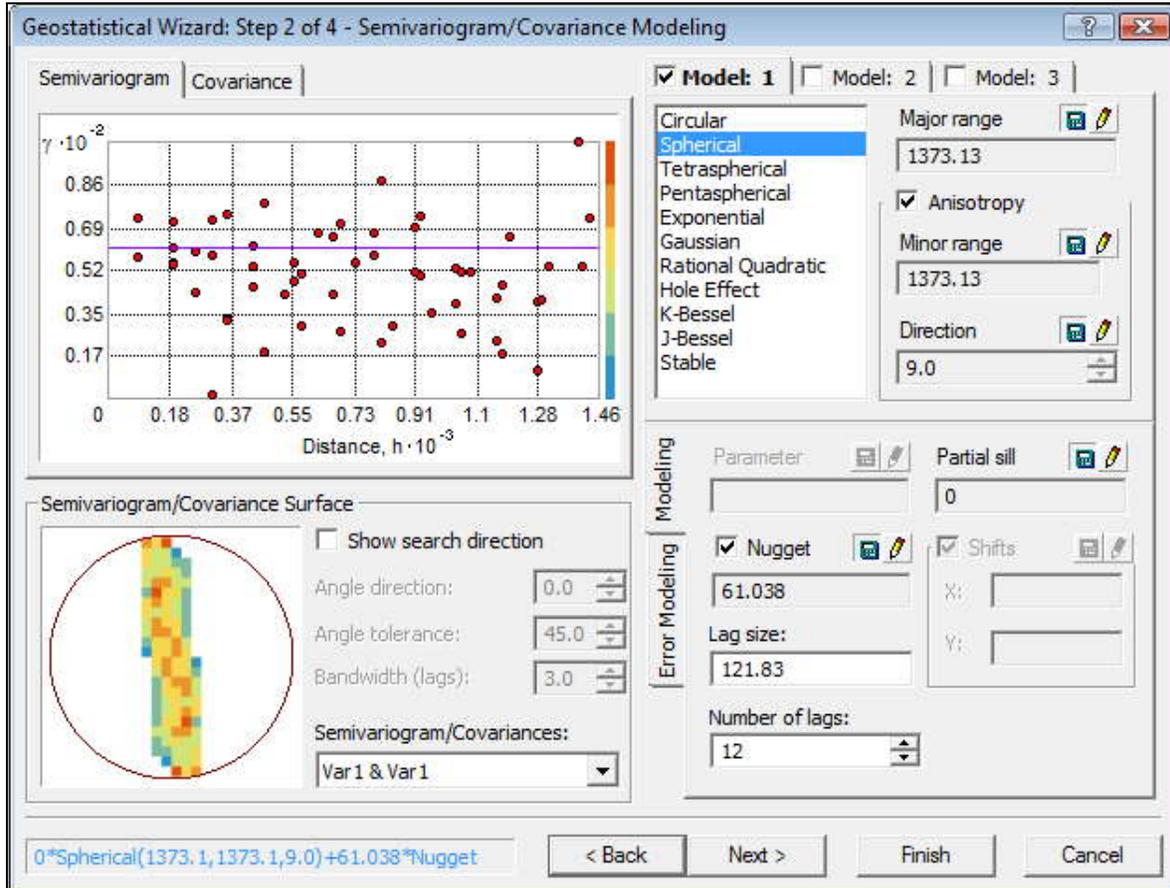
*Fuente: El Autor*

Para modelar el presente semivariograma se optó por el modelo esférico, que es el que mejor describe el comportamiento de la variable arena, y el cálculo de la anisotropía (Fig.17). El análisis del semivariograma indica que el nugget, la semivarianza a cero distancia de separación, tiene un valor de (69.573). El alcance o distancia a partir de la cual los valores de semivarianza se estabilizan varía en función de la dirección. Detectamos un alcance mayor a 1433.77 m que



coincide con el eje mayor de la elipse en dirección NW-SE y un alcance menor a 1218.06 m que coincide con el eje más corto de la elipse, lo que nos demuestra que existen influencias direccionales en los datos y que la autocorrelación espacial de la variable es mayor en una dirección que otra. El valor de la meseta (sill) es (73.97) que es el valor estable de semivarianza.

Fig.18 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Lim o (L)



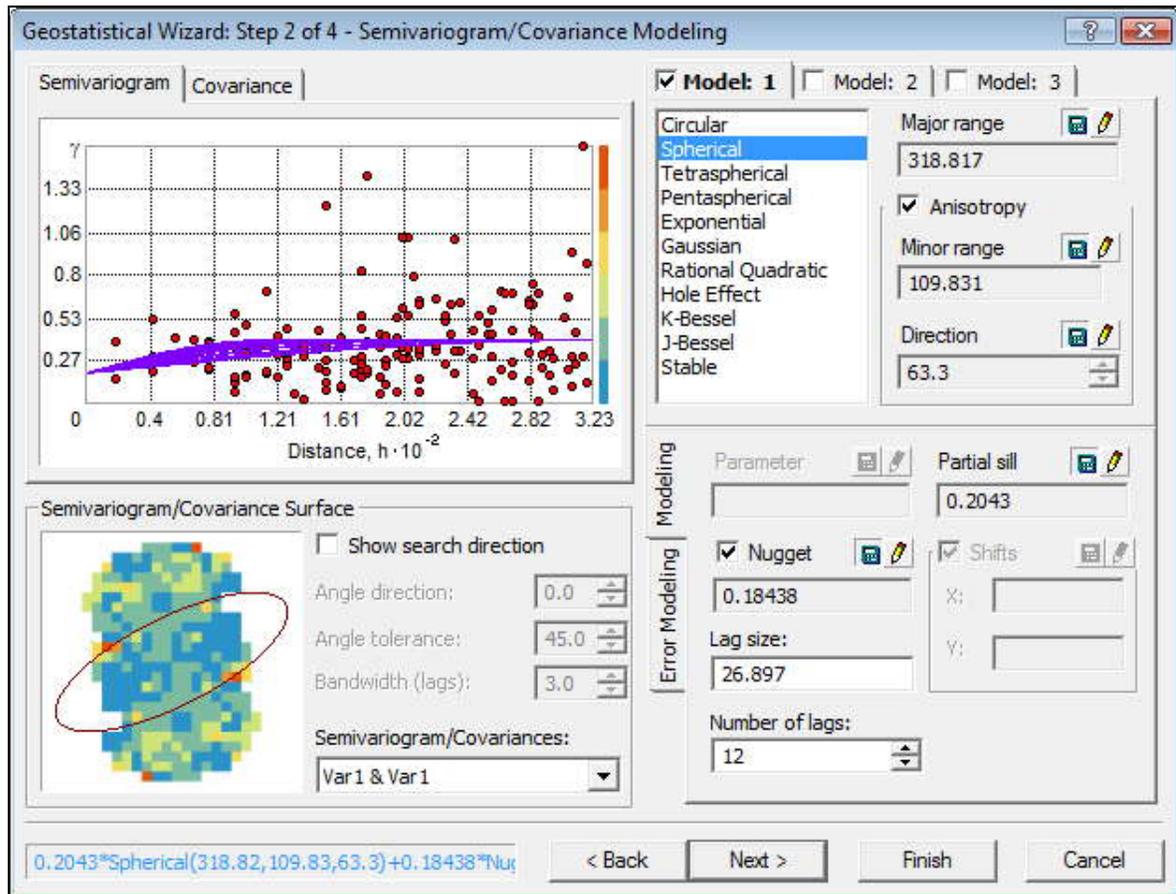
Fuente: El Autor

El análisis del semivariograma (Fig.18) indica que los datos de la variable limo presentan efecto nugget puro (semivariograma completamente plano), o sea que la distancia entre muestras no fue suficiente para detectar la variabilidad espacial de los datos.

Este modelo de semivariograma corresponde a un fenómeno puramente aleatorio sin correlación entre muestras.



Fig.19 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Arcilla (Ar)

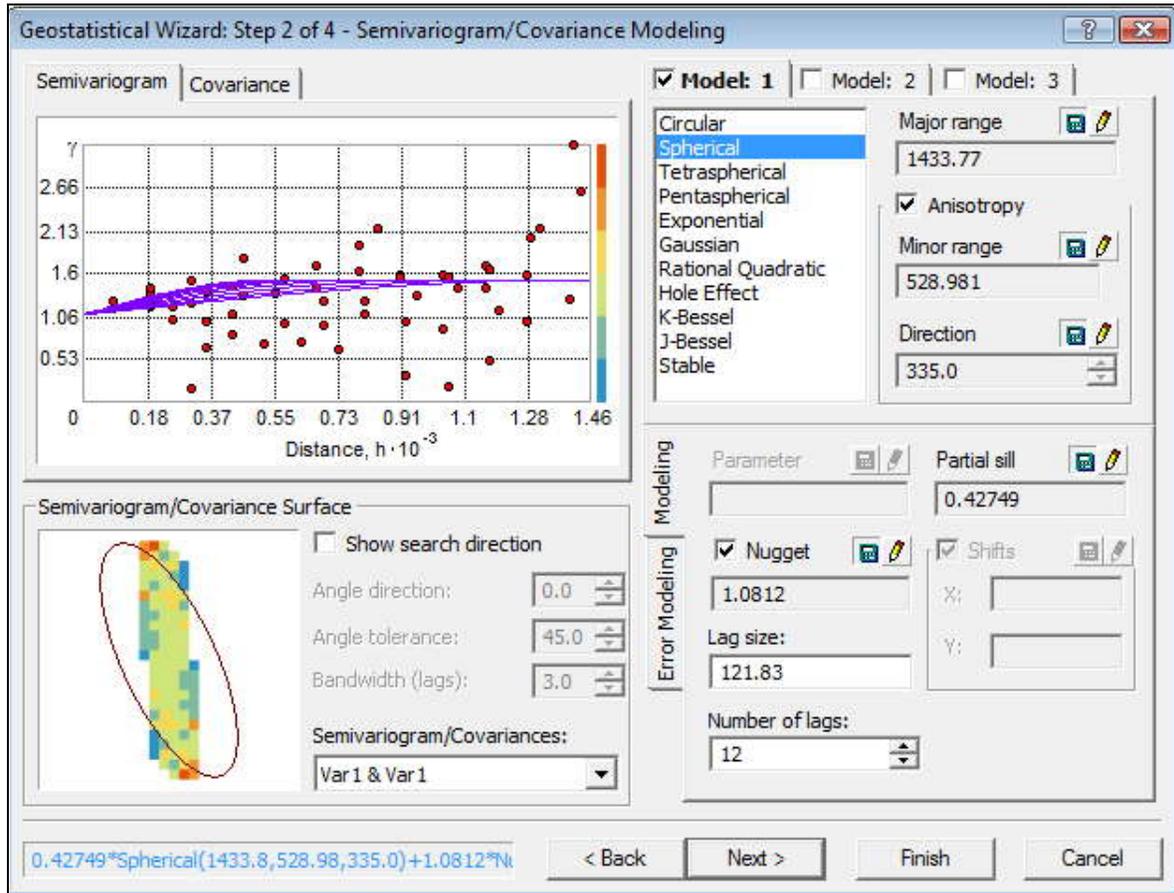


Fuente: El Autor

Para modelar el presente semivariograma se optó por el modelo esférico, que es el que mejor describe el comportamiento de la variable arcilla, y el cálculo de la anisotropía (Fig.19). El análisis del semivariograma indica que el nugget, la semivarianza a cero distancia de separación, tiene un valor de (0.18438) lo que indica que el error es pequeño. El alcance o distancia a partir de la cual los valores de semivarianza se estabilizan varía en función de la dirección. Detectamos un alcance mayor a 318.817 m que coincide con el eje mayor de la elipse en dirección NE-SW y un alcance menor a 109.831 m que coincide con el eje más corto de la elipse, lo que nos demuestra que existen influencias direccionales en los datos y que la autocorrelación espacial de la variable es mayor en una dirección que otra. El valor de la meseta (sill) es (0.39) que es el valor estable de semivarianza.



Fig.20 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable Materia Orgánica (MO)

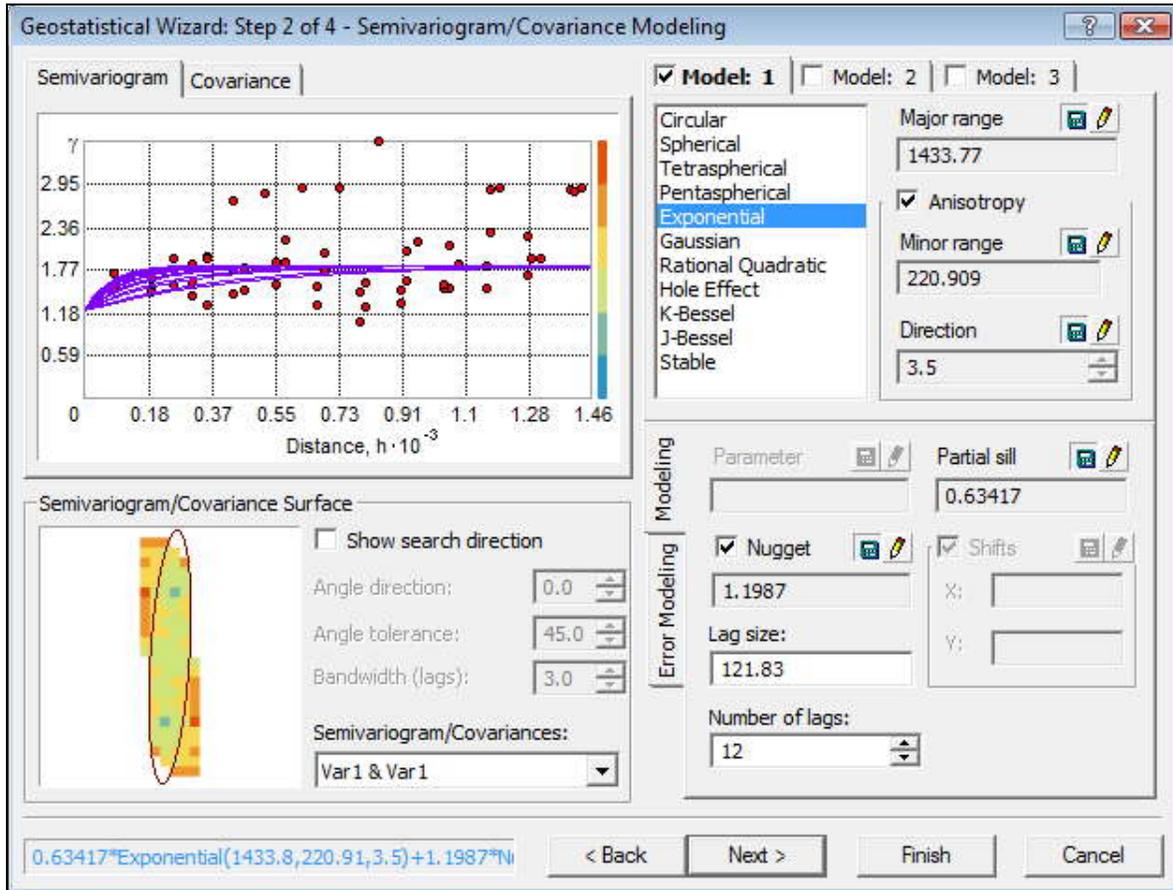


Fuente: El Autor

Para modelar el presente semivariograma se optó por el modelo esférico, que es el que mejor describe el comportamiento de la variable materia orgánica, y el cálculo de la anisotropía (Fig.20). El análisis del semivariograma indica que el nugget, la semivarianza a cero distancia de separación, tiene un valor de (1.0812) lo que indica que el error es pequeño. El alcance o distancia a partir de la cual los valores de semivarianza se estabilizan varía en función de la dirección. Detectamos un alcance mayor a 1433.77 m que coincide con el eje mayor de la elipse en dirección NW-SE y un alcance menor a 528.981 m que coincide con el eje más corto de la elipse, lo que nos demuestra que existen influencias direccionales en los datos y que la autocorrelación espacial de la variable es mayor en una dirección que otra. El valor de la meseta (sill) es (1.51) que es el valor estable de semivarianza.



Fig.21 Parámetros del modelado del semivariograma de la variable pH



Fuente: El Autor

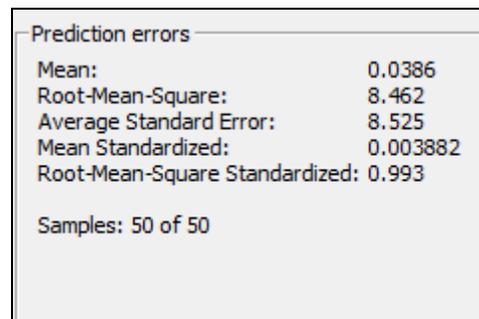
Para modelar el presente semivariograma se optó por el modelo exponencial, que es el que mejor describe el comportamiento de la variable pH, y el cálculo de la anisotropía (Fig.21). El análisis del semivariograma indica que el nugget, la semivarianza a cero distancia de separación, tiene un valor de (1.1987) lo que indica que el error es pequeño. El alcance o distancia a partir de la cual los valores de semivarianza se estabilizan varía en función de la dirección. Detectamos un alcance mayor a 1433.77 m que coincide con el eje mayor de la elipse en dirección NE-SW y un alcance menor a 220.909 m que coincide con el eje más corto de la elipse, lo que nos demuestra que existen influencias direccionales en los datos y que la autocorrelación espacial de la variable es mayor en una dirección que otra. El valor de la meseta (sill) es (1.83) que es el valor estable de semivarianza.



### 4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PREDICCIÓN

La evaluación de la calidad de predicción se lo realizó a partir de la validación cruzada. Debido a que la media (Mean) está en función de la escala de los datos se optó por utilizar la media estandarizada (Mean Standardized Prediction Errors), y el error cuadrático medio estandarizado (Root Mean Square Standardized) para valorar el modelo que proporciona las mejores predicciones.

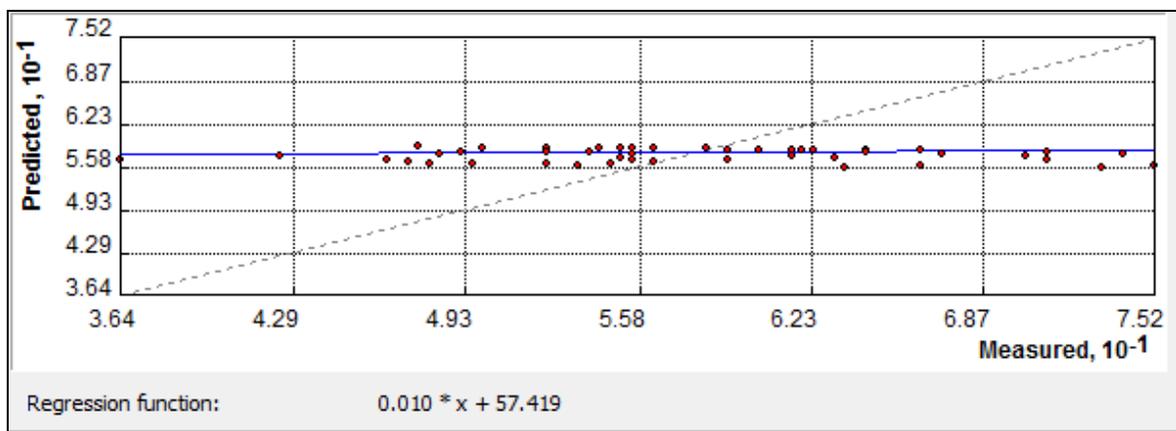
*Fig.22 Validación cruzada de la variable Arena (A)*



*Fuente: El Autor*

Los resultados obtenidos de la validación cruzada de la variable arena (Fig.22) muestran que la media estandarizada es casi 0 y el error cuadrático medio estandarizado está próximo a 1. Estos valores aseguran una buena predicción.

*Fig.23 Valores observados frente a valores predichos de la variable Arena (A)*

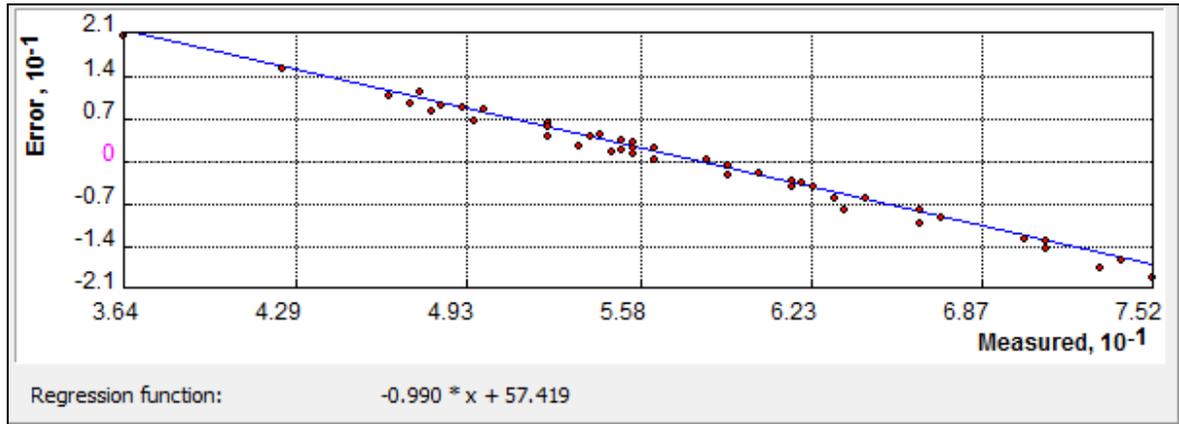


*Fuente: El Autor*



En la Fig.23 se puede apreciar un gráfico de dispersión que muestra la relación entre los valores predichos y valores observados utilizando para ello la regresión lineal. La ecuación es  $0.010*x+57.419$ .

*Fig.24 Errores de estimación de la variable Arena (A)*



*Fuente: El Autor*

En la Fig.24 se puede ver como se distribuyen los errores de la predicción (valor predicho menos valor observado). La ecuación que explica la relación es  $-0.990*x+57.419$ .

*Fig.25 Validación cruzada de la variable Limo (L)*

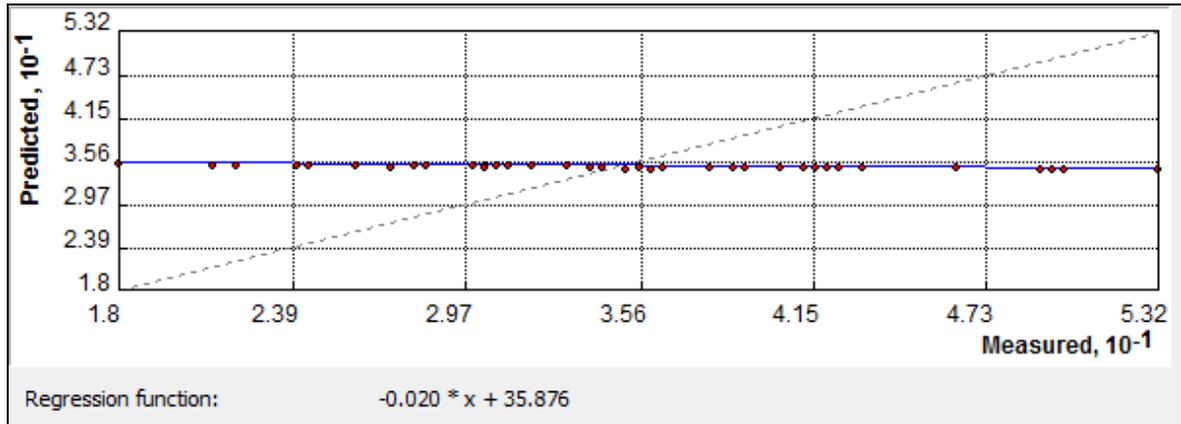
Prediction errors	
Mean:	-0.0171
Root-Mean-Square:	7.876
Average Standard Error:	7.892
Mean Standardized:	-0.002143
Root-Mean-Square Standardized:	0.998
Samples: 50 of 50	

*Fuente: El Autor*

Los resultados obtenidos de la validación cruzada de la variable limo (Fig.25) muestran que la media estandarizada es casi 0 y el error cuadrático medio estandarizado está próximo a 1 y es el que presenta la menor variabilidad en la predicción con respecto a las demás variables de estudio, esto se debe a que la variable limo tiene ausencia de correlación (Efecto Nugget Puro).



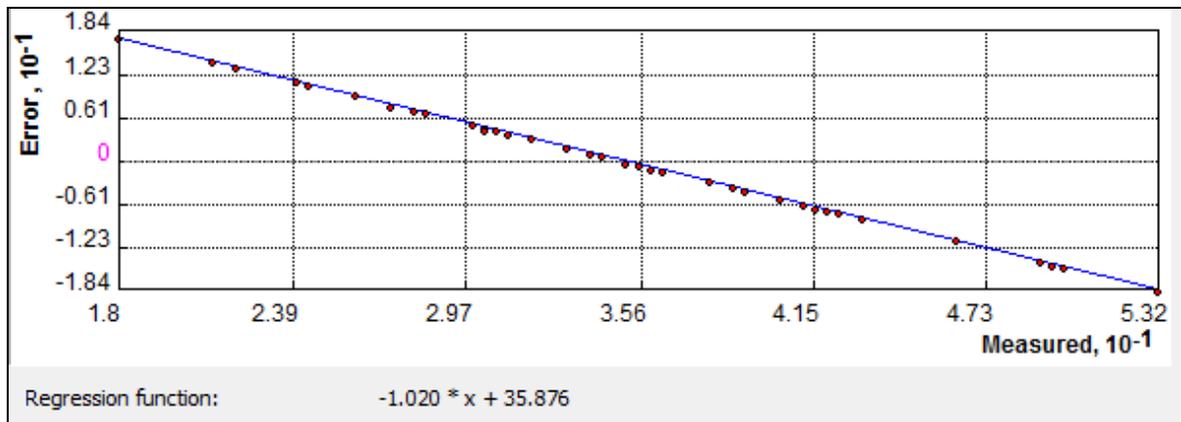
Fig.26 Valores observados frente a valores predichos de la variable Limo (L)



Fuente: El Autor

En la Fig.26 se puede apreciar un gráfico de dispersión que muestra la relación entre los valores predichos y valores observados utilizando para ello la regresión lineal. La ecuación es  $-0.020*x+35.876$ .

Fig.27 Errores de estimación de la variable Limo (L)

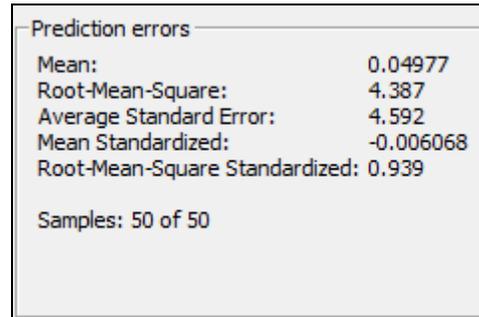


Fuente: El Autor

En la Fig.27 se puede ver como se distribuyen los errores de la predicción (valor predicho menos valor observado). La ecuación que explica la relación es  $-1.020*x+35.876$ .



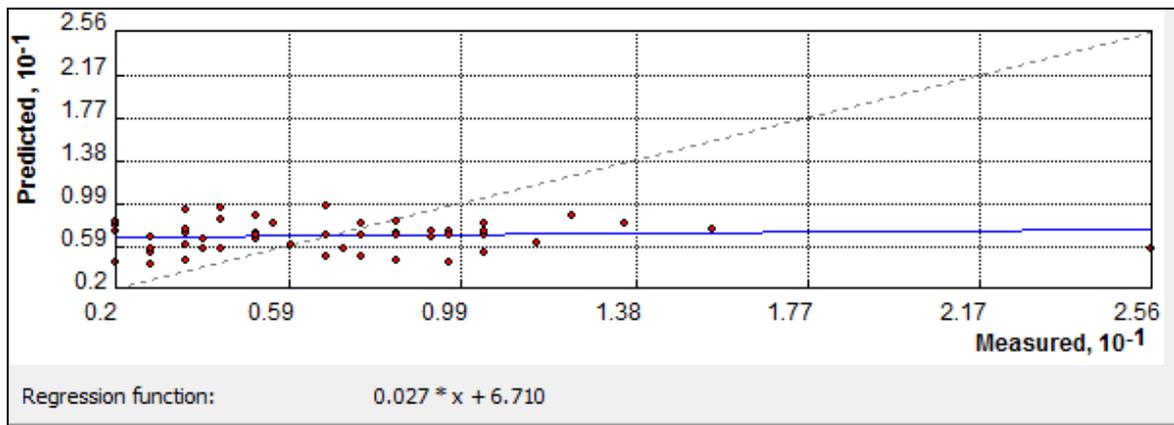
Fig.28 Validación cruzada de la variable Arcilla (Ar)



Fuente: El Autor

Los resultados obtenidos de la validación cruzada de la variable arcilla (Fig.28) muestran que la media estandarizada es casi 0 y el error cuadrático medio estandarizado está próximo a 1. Sin embargo existe mayor variabilidad en la predicción con respecto a las demás variables de estudio.

Fig.29 Valores observados frente a valores predichos de la variable Arcilla (Ar)

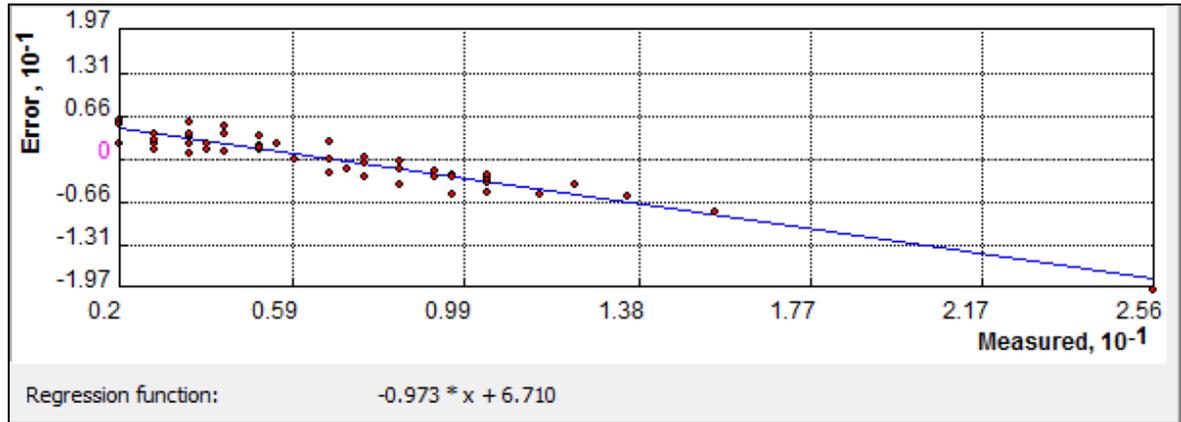


Fuente: El Autor

En la Fig.29 se puede apreciar un gráfico de dispersión que muestra la relación entre los valores predichos y valores observados utilizando para ello la regresión lineal. La ecuación es  $0.027 * x + 6.710$ .



Fig.30 Errores de estimación de la variable Arcilla (Ar)



Fuente: El Autor

En la Fig.30 se puede ver como se distribuyen los errores de la predicción (valor predicho menos valor observado). La ecuación que explica la relación es  $-0.973*x+6.710$ .

Fig.31 Validación cruzada de la variable Materia Orgánica (MO)

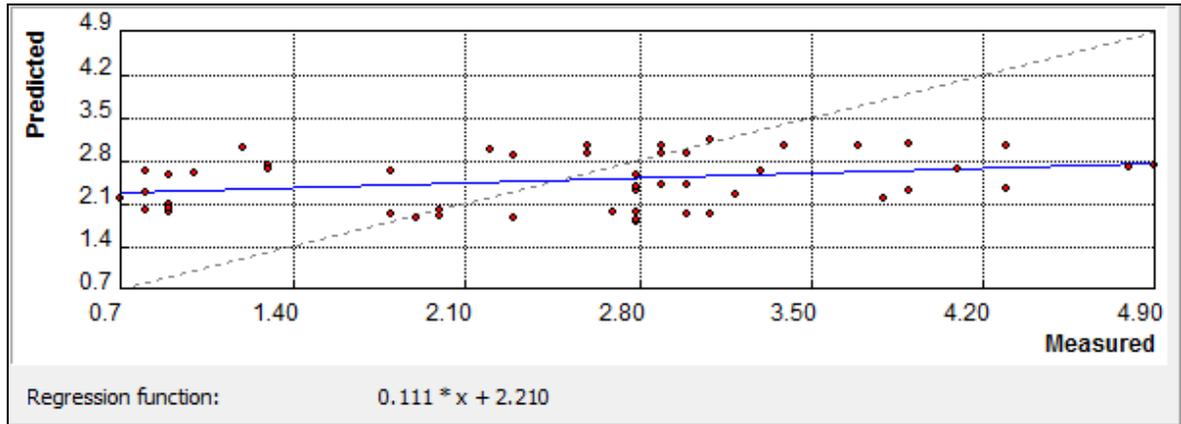
Prediction errors	
Mean:	-0.008803
Root-Mean-Square:	1.095
Average Standard Error:	1.105
Mean Standardized:	-0.00589
Root-Mean-Square Standardized:	0.9934
Samples: 50 of 50	

Fuente: El Autor

Los resultados obtenidos de la Validación cruzada de la variable materia orgánica (Fig.31) muestran que la media estandarizada es casi 0 y el error cuadrático medio estandarizado está próximo a 1. Estos valores aseguran una buena predicción.



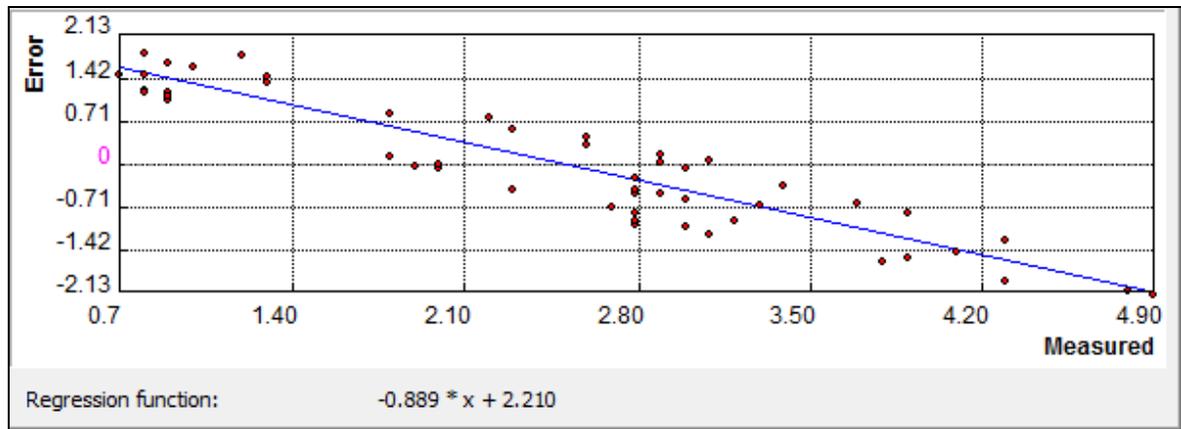
Fig.32 Valores observados frente a valores predichos de la variable Materia Orgánica (MO)



Fuente: El Autor

En la Fig.32 se puede apreciar un gráfico de dispersión que muestra la relación entre los valores predichos y valores observados utilizando para ello la regresión lineal. La ecuación es  $0.111 * x + 2.210$ .

Fig.33 Errores de estimación de la variable Materia Orgánica (MO)



Fuente: El Autor

En la Fig.33 se puede ver como se distribuyen los errores de la predicción (valor predicho menos valor observado). La ecuación que explica la relación es  $-0.889 * x + 2.210$ .



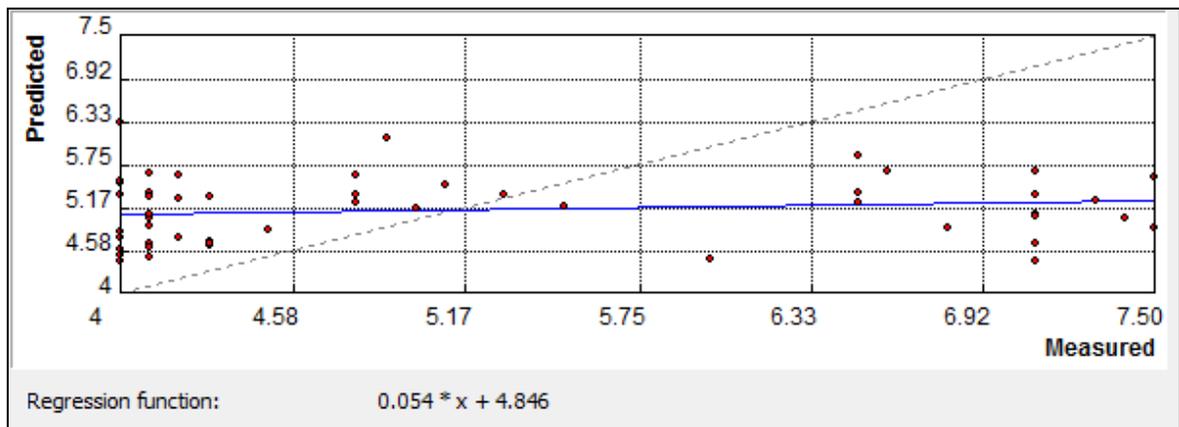
Fig.34 Validación cruzada de la variable pH

Prediction errors	
Mean:	-0.000774;
Root-Mean-Square:	1.321
Average Standard Error:	1.234
Mean Standardized:	0.0006914
Root-Mean-Square Standardized:	1.07
Samples: 50 of 50	

Fuente: El Autor

Los resultados obtenidos de la Validación cruzada de la variable pH Fig.34 muestran que la media estandarizada es casi 0 y el error cuadrático medio estandarizado está próximo a 1. Estos valores aseguran una buena predicción.

Fig.35 Valores observados frente a valores predichos de la variable pH

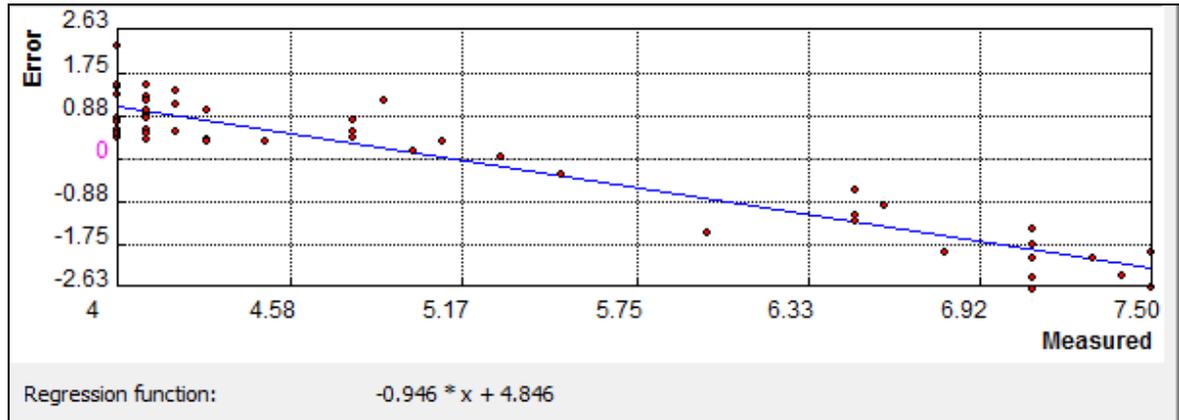


Fuente: El Autor

En la Fig.35 se puede apreciar un gráfico de dispersión que muestra la relación entre los valores predichos y valores observados utilizando para ello la regresión lineal. La ecuación es  $0.054 * x + 4.846$ .



*Fig.36 Errores de estimación de la variable pH*



*Fuente: El Autor*

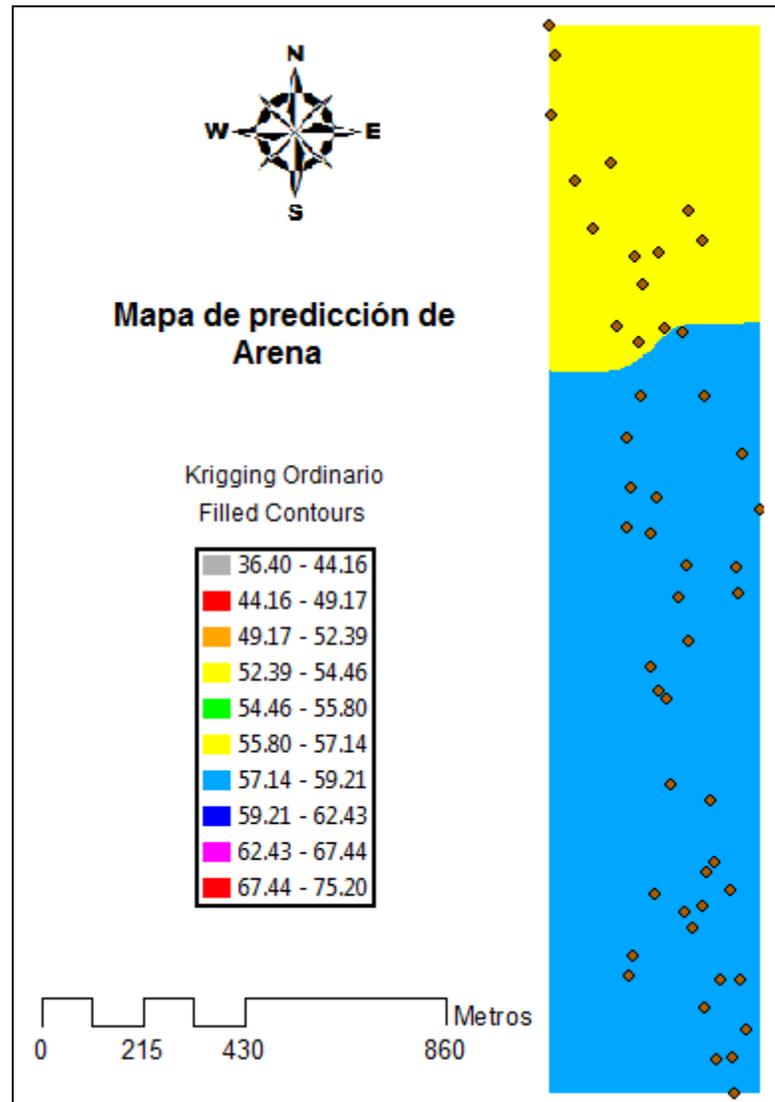
En la Fig.36 se puede ver como se distribuyen los errores de la predicción (valor predicho menos valor observado). La ecuación que explica la relación es  $-0.946*x+4.846$ .

#### 4.4 ELABORACIÓN DE MAPAS DE PREDICCIÓN

Una vez efectuado la evaluación de la calidad de predicción y el ajuste de los semivariogramas para cada una de las variables de estudio se elaboró los mapas de predicción, mediante el método de interpolación kriging ordinario.



Fig.37 Mapa de predicción de la variable Arena (A)

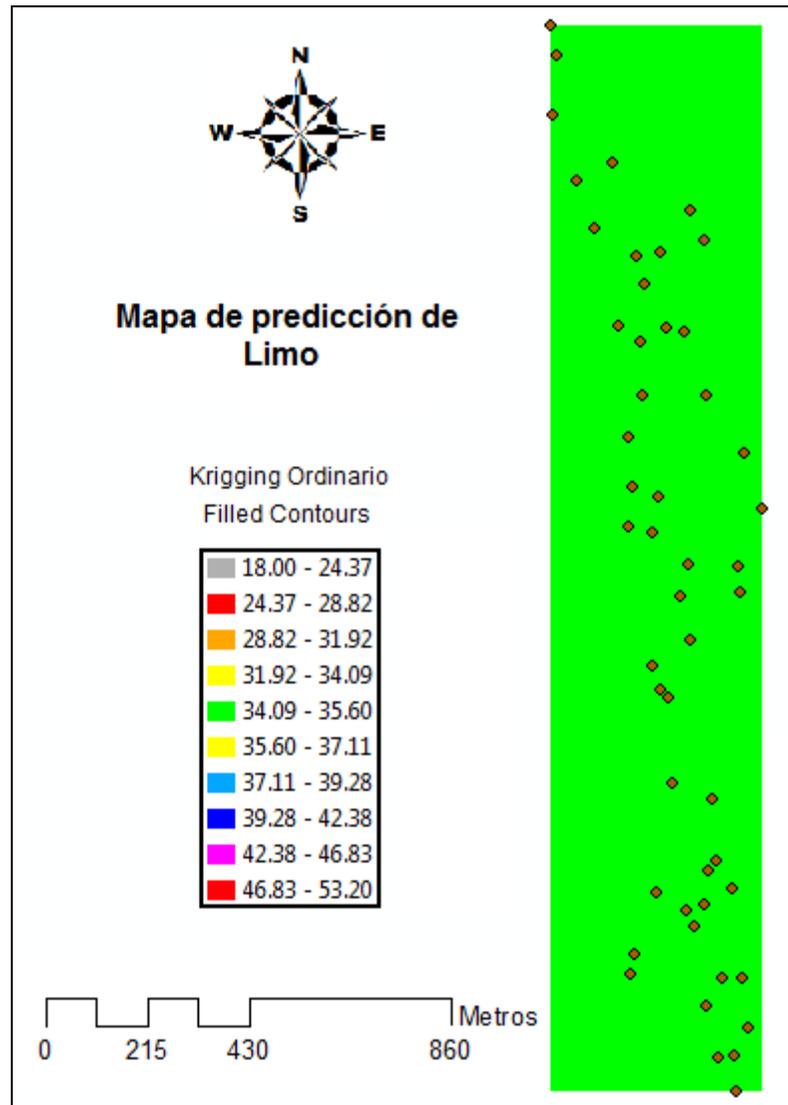


Fuente: El Autor

Como se puede apreciar en la superficie interpolada (Fig.37), la distribución del contenido de arena delimita dos zonas, la primera parte del área posee los contenidos de arena dentro de un intervalo de (55.80% - 57.14%) y una segunda parte que ocupa la mayor extensión del área de estudio, la misma que se caracteriza por poseer los contenidos de arena más altos dentro de un intervalo de (57.14% -59.21%).



Fig.38 Mapa de predicción de la variable Limo (L)



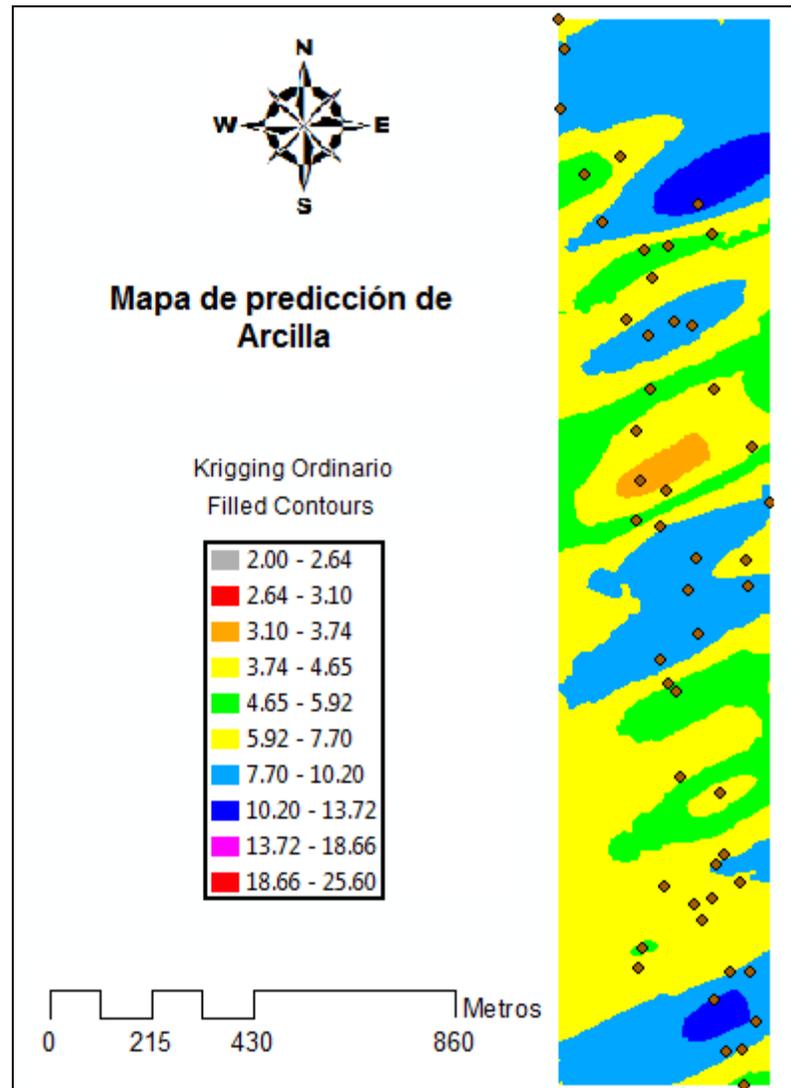
Fuente: El Autor

Se observa en la superficie interpolada (Fig.38), la distribución del contenido de limo tiene un increíble grado de homogeneidad. Esto se debe a la existencia de un efecto nugget puro y se asocia con la estacionariedad. Por esta razón en el mapa no es posible hacer diferenciaciones locales, no existiendo zonas ni altas ni bajas en contenido de limo.

En este caso para cualquier punto del mapa el mejor estimador es la media aritmética de los datos de la variable de estudio que es 35.60%.



Fig.39 Mapa de predicción de la variable Arcilla (Ar)



Fuente: El Autor

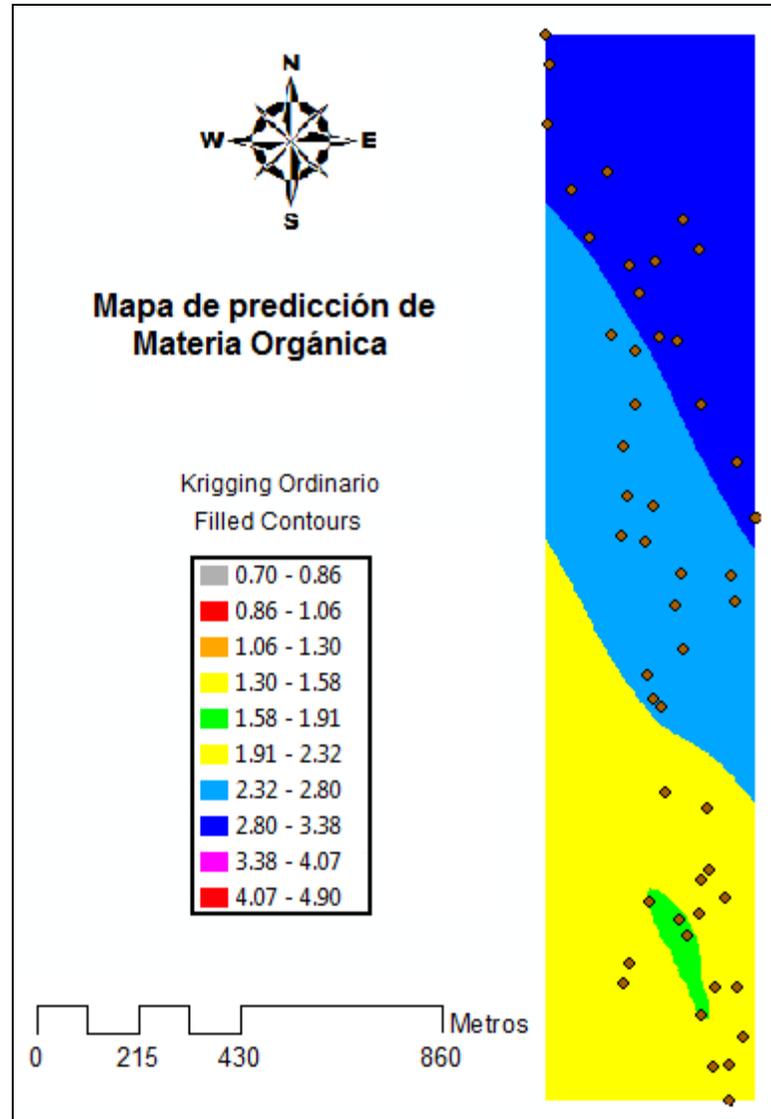
Como se puede observar en la superficie interpolada (Fig.39), Una parte de los sectores Noreste y Sureste se caracteriza por poseer los más altos contenidos de arcilla dentro de un intervalo de (10.20% - 13.72%). Mientras que una pequeña parte del sector central posee los más bajos contenidos de arcilla dentro de un intervalo de (3.10% – 3.74%). También se puede apreciar que en la dirección Noroeste – Sureste se caracteriza por poseer contenidos de arcilla dentro de un intervalo de (4.65% -5.92%).

La mayor parte del área de estudio posee contenidos de arcilla dentro de un intervalo de (5.92% - 7.70%). También se observa que una parte considerable de la zona de estudio posee contenidos de arcilla dentro de un intervalo de (7.70% - 10.20%).



El suelo de esta zona es en su mayoría arenoso, debido al contenido de arcilla que posee (Arenosos < 10 % arcilla; según lo expresado en el capítulo II).

*Fig.40 Mapa de predicción de la variable Materia Orgánica (MO)*



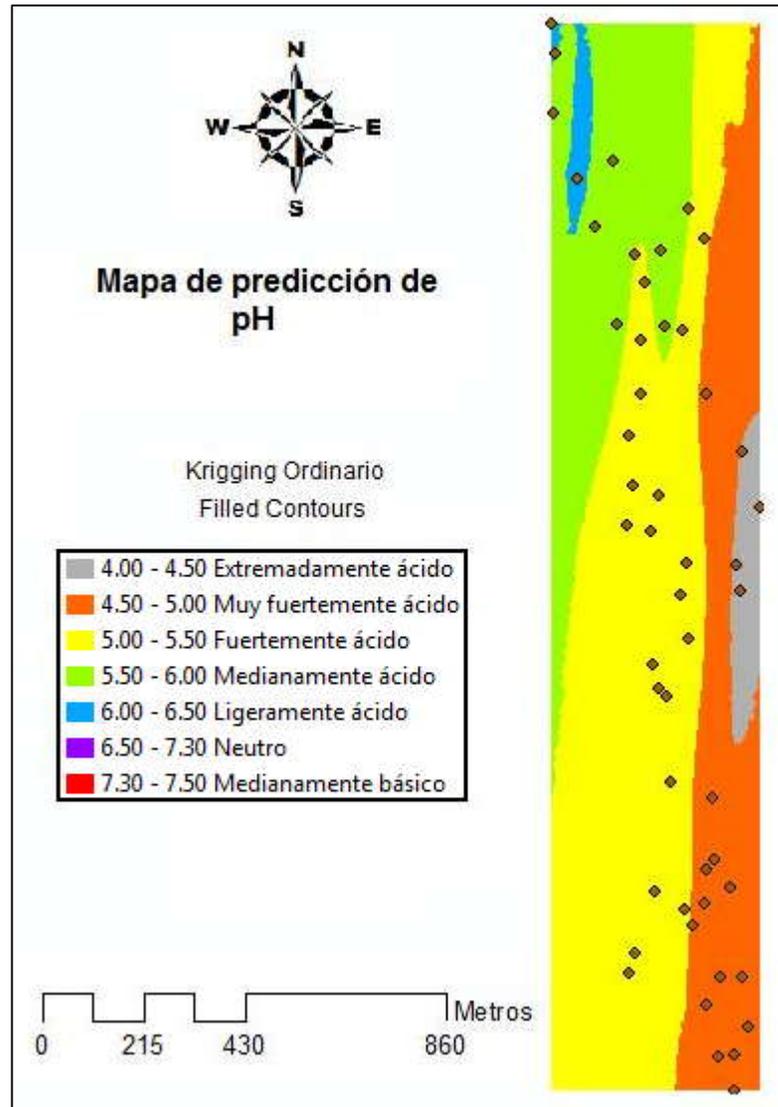
*Fuente: El Autor*

Como se puede apreciar en la superficie interpolada (Fig.40), el área de estudio se caracteriza por poseer en su mayoría contenidos de materia orgánica dentro de un intervalo de (1.91% - 2.32%). Una pequeña parte del sector Sur posee los más bajos contenidos de materia orgánica dentro de un intervalo de (1.58% - 1.91%). La parte del sector central posee contenidos de materia orgánica dentro de un intervalo de (2.32% - 2.80%).



La parte del sector Norte posee los más altos contenidos de materia orgánica dentro de un intervalo de (2.80% – 3.38%).

Fig.41 Mapa de predicción de la variable pH



Fuente: El Autor

Como se puede apreciar en la superficie interpolada (Fig.41), el área de estudio se caracteriza por ser en su mayoría fuertemente ácido por la acción de metales pesados que pueden ser (Co, Cu, Fe, Mn, Zn) según la clasificación USDA (1971), debido a que la zona de estudio es afectado por vertidos mineros. Una pequeña parte en el sector Noroeste es ligeramente ácido.



En la dirección Noreste - Sureste se puede observar que es muy fuertemente ácido. Mientras que al Este es extremadamente ácido. Al Noroeste es distinguible un suelo mediana y ligeramente ácido lo que significa que es poco afectada por los vertidos mineros.



## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- a) El estudio permite concluir que la variable arena presentó una débil dependencia espacial o de rango alto. Excepto la arcilla, materia orgánica y pH que presentaron una moderada dependencia espacial o de rango medio.
- b) La variable limo mostró ausencia de correlación (efecto nugget puro) debido a que el patrón de variabilidad espacial fue alterado por el uso del suelo, ya que en esta zona existen plantas procesadoras de oro y plata en donde el material de la zona es mezclado con el material de otras zonas mineras.
- c) La variabilidad espacial de los parámetros del suelo de la zona de estudio en su mayoría presentan una moderada dependencia espacial. Esto se debe a que en este sector el suelo está formado de depósitos aluviales y vertidos mineros.
- d) La variabilidad física y química del suelo puede ser cuantificada y graficada por métodos estadísticos y geoestadísticos.
- e) Los modelos teóricos de mejor ajuste para las variables arena, arcilla y materia orgánica fueron el esférico y para la variable pH el exponencial (tabla 5), lo cual permite afirmar que las variables estudiadas cumplen con la hipótesis de estacionariedad fuerte, dado que sus modelos son acotados (Samper y Carrera, 1990).
- f) Dentro de la propiedad textura, la partícula que presenta un mayor contenido, presentan también una variabilidad baja, es decir un CV menor respecto a las otras partículas, como sucedió en el presente estudio para la arena (CV = 14.6%).
- g) El Mapa de predicción de la variable pH indicó que el suelo del área de estudio se caracterizó por ser en su mayoría fuertemente ácido.
- h) El Mapa de predicción de la variable arcilla permitió concluir que el suelo de la zona de estudio es en su mayoría arenoso ( Arenosos < 10 % arcilla).
- i) El Mapa de predicción de la variable materia orgánica indicó que el suelo del área de estudio posee en su mayoría contenidos de materia orgánica dentro de un intervalo de (1.91% -2.32%).



## 5.2 RECOMENDACIONES

- a) Hacer un muestreo con una mayor cantidad de puntos, que sea representativa a la extensión del área de estudio.
- b) Prestar atención a la supervisión de posibles errores metodológicos, tanto en muestreo como en análisis de laboratorio.
- c) Realizar trabajos a futuro que evalúen factores de variación de las propiedades estudiadas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BROUDER. (1999). Applying site – specific management in Soil Fertility Research and Developing Management Information for Variable Rate Technologies. In Proceedings of Information Agriculture Conference. Purdue University, p. 321.
- [2] BRADY, N.; WEIL, R. (2002). The nature and properties of soils. 13 ed. New Jersey: Prentice-Hall. 2002. P, 720 – 725.
- [3] BURROUGH, P. A. (1993). Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers*, 56 (5), 529-562.
- [4] BAQUERO, F., SIERRA, R., L. ORDOÑEZ, M. TITÁN, L. ESPINOSA, M. RIVERA y P. SORIA. (2004). La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación: potencia y remanente a escala 1: 250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. EcoCiencia/CESLA/Corporación Ecopar / MAG SIGAGRO / CDC – Jatun Sacha / División Geográfica – IGM. Quito.
- [5] CUADOR, J. Q., QUINTERO, A., ESTÉVEZ, E y RAMIREZ, R. (1997). Elementos de Geoestadística. Universidad de Pinar del Río, 39 p.
- [6] ELLIOT H.A., LIBERATI M.R., HUANG CP. (1985): Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils. *Journal of Environmental Quality*, 15, 214-219.
- [7] GÓMEZ, L. H. (1989). Estadística experimental con aplicaciones a las Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 615 p.
- [8] GERRISTE R.G., VAN DRIEL, W. (1984): The relationship between adsorption of trace metals, organic matter and pH in temperate soils. *J. Environ. Qual.* 13, 197-204.
- [9] GALLARDO, A. (2006). Geoestadística, Ecosistemas, vol.15, N° 3, 48-58.
- [10] HOODA PS., ALLOWAY B.J. (1994a): Sorption of Cd y Pb by selected application semi-arid soils effects of sludge application and ageing of sludged sals. *Water, Air & Soil Pollution* 74, 235-250.
- [11] HOODA PS., ALLOWAY B.J. (1994b): Changes in operational fractions of the trace metals in two soils during two years of reaction time following sludge treatment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 57, 289-311.
- [12] HAMLETT, J. M.; R. HORTON and N. A. C. CRESSIE. (1986). Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 868-875.
- [13] ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, Nueva York.
- [14] JARAMILLO, D. (2003). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2003. p 553-572
- [15] JOURNEL, A. G. y CH. J. HUIJBREGTS. 1978. Mining geostatistics. Academic Press. Londres, 598 p.
- [16] NAIDU R., BOLAN N.S., KOOKANA R.S., TILLER K.G (1994): Ionic-Strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. *En. J. Soil Sci.* 45, 419-429.



- [17] MEJIA, A. (2007). Variabilidad espacial de las Propiedades Físicas y Químicas en n área productiva de palma africana ( *Elaeis guineensis* L) Tesis de grado para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Pasto, 171p.
- [18] MORENO, A. (2006). Sistemas y Análisis de Información Geográfica. Departamento de geografía. Universidad Autónoma de Madrid.
- [19] MOTTA, B. et al. (1990). Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. 5ª. Ed. IGAC. Bogotá, 502 p.
- [20] OVALLES, F. (1992). Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP-CENIAP-IIAG. Maracay, 44 p.
- [21] OVALLES, F. (2001). Memorias del curso de Geoestadística Aplicada a Estudios Ambientales con Énfasis en Suelos. Universidad de Caldas. Manizales.
- [22] OLIVEIRA, J. J. et al. (1999). Variabilidad espacial de propiedades químicas en un solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 23, 783-789.
- [23] ROBERTSON, G. P. and K. L. GROSS. (1994). Assessing the heterogeneity of belowground resources: Quantifying pattern and scale. In: *Exploitation of environmental heterogeneity by plants: Ecophysiological processes above-and belowground*. Academic Press. New York. pp, 237-253.
- [24] REY, J. C. (1994). Análisis de la variabilidad espacial para atributos seleccionados en un suelo del Estado Aragua. Informe final. Universidad Central de Venezuela. Postgrado en Ciencias del Suelo. Venezuela, 38 p.
- [25] SAMPER, J y CARRERA L. (1990). *Geoestadística*, CIMNE, Barcelona, España, 484p.
- [27] SOIL SURVEY LABORATORY. (1996). *Methods manual*. Soil Survey Investigations Report N° 42. Version 3.0. United States Department of Agriculture (USDA). Lincoln, 693 p.
- [28] SAUVÉ S., McBRIDE MB., y HENDERSHOT W.H. (1998): Soil solution speciation of Pb<sup>2+</sup>: Effects of organic matter and pH. *Soil Society of Americal Journal*, 62, 618-621.
- [29] SANCHEZ, I. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo (Valladolid): contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia. Tesis Doctoral, 275 p.
- [30] TRANGMAR, B.B.; R. S. YOST and G. WEHARA. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in agronomy* 28, 45-94.
- [31] UTSET, S.A.; M. E. RUIZ; R. IRARRAGORRI y L. TORRES. (1989). Estructura espacial de la propiedades del suelo. III: Análisis bidimensional. *Ciencias de la Agricultura*. 37-38, 124-129.
- [32] UPCHURCH, D. R. and W. J. EDMONDS. (1992). Statistical procedures for specific objectives. In: *Spatial variabilities of soils and landforms*. SSSA Special publication No. 28. 2ª Ed. SSSA. Madison. pp: 49-71.
- [33] Ulloa Guitián, M. (2002). Aplicación de la geoestadística al estudio de la fertilidad del suelo. Tesis doctoral. Universidade da Coruña, 440 pp.
- [34] WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, p.319-44.
- [35] Webster, R. (2000). Is soil variation random? *Geoderma*, 97, 149-163



- [36] YOST, R. S.; G. UEHARA and R. L. FOX. (1982a). Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. Kriging. Soil Sci. Soc. Am. J. 46, 1033-1037.
- [37] YOST, R. S.; G. UEHARA and R. L. FOX. (1982b). Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semi-variograms. Soil Sci. Soc. Am. J. 46, 1028-1032.



**ANEXOS**



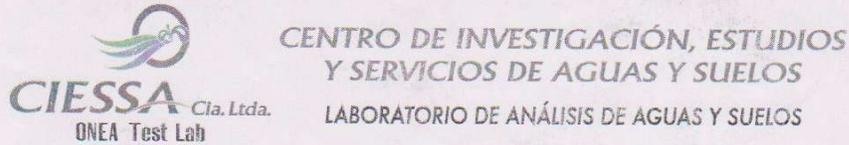
ANEXO 1: DATOS DE PROPIEDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

PTO	X	Y	Arena %	Limo %	Arcilla %	Mo %	pH	PTO	X	Y	Arena %	Limo %	Arcilla %	Mo %	pH
1	651616	9590576	53.6	38.8	7.6	3.9	7.1	26	651767	9590204	55.6	32	12.4	1.2	6.5
2	651610	9590618	48	46.4	5.6	4.3	6.5	27	651769	9589696	74	28	2	3.2	4.1
3	651613	9590496	48	40.4	11.6	2.9	4	28	651758	9589708	61.6	30.8	7.6	3.8	4
4	651645	9590404	63.6	34.4	2	2.6	7.5	29	651799	9589774	67.2	24.4	8.4	2.8	7.5
5	651694	9590430	49.6	42	8.4	3.4	6.6	30	651787	9589836	70.4	21.2	8.4	3	7.4
6	651670	9590340	52.4	39.2	8.4	2.3	4.9	31	651805	9589382	58.4	34.4	7.2	1.9	4.1
7	651819	9590322	54.8	41.6	3.6	3.1	4.1	32	651819	9589414	66.4	28.4	5.2	2	4.2
8	651760	9590308	47.2	49.2	3.6	2.6	7.1	33	651824	9589458	55.2	35.6	9.2	2	4.3
9	651701	9590206	46.4	50	3.6	1.3	7.3	34	651843	9589312	64.4	31.2	4.4	2.8	7.1
10	651716	9590054	55.2	41.2	3.6	0.8	4	35	651872	9589312	56.4	33.2	10.4	0.9	4.3
11	651721	9589986	48.4	49.6	2	2.9	5	36	651823	9589274	47.6	38.8	13.6	0.8	4.5
12	651715	9589930	61.6	34.4	4	0.9	4.8	37	651879	9589244	62.4	27.2	10.4	1.8	4
13	651748	9589922	55.6	34	10.4	3.9	7.1	38	651861	9589206	64.4	30.4	5.2	2.3	4
14	651749	9589740	50	40.4	9.6	2.8	7.1	39	651838	9589202	54.4	35.2	10.4	0.9	4.1
15	651774	9589578	59.2	34	6.8	0.7	4.2	40	651862	9589156	60.4	36	3.6	2.8	6
16	651830	9589556	55.6	42.4	2	0.8	4.1	41	651897	9589956	61.6	30	8.4	4.1	4
17	651753	9589428	58.4	36.4	5.2	0.8	5.5	42	651873	9590032	71.2	26	2.8	2.2	4
18	651794	9589404	52.4	42.4	5.2	0.9	7.1	43	651822	9590110	59.2	38	2.8	4.8	4.1
19	651835	9589474	71.2	22	6.8	2.8	4.1	44	651791	9590198	75.2	18	6.8	3	5.3
20	651857	9589434	62	30.4	7.6	3	4.3	45	651738	9590264	66.4	24	9.6	4.9	5.1
21	651717	9589316	62	32	6	2.7	4.1	46	651726	9590300	73.2	24	2.8	2.9	4.8
22	651724	9589344	60.4	35.6	4	3.1	6.8	47	651733	9590184	56.4	28	15.6	3.3	4.8
23	651864	9589876	52.4	43.2	4.4	2.8	4.1	48	651734	9590110	42.4	53.2	4.4	1.3	4.3
24	651868	9589840	54	36.4	9.6	1.8	4	49	651757	9589972	63.2	34	2.8	4.3	4.2
25	651797	9589878	49.2	41.6	9.2	1	4	50	651799	9590364	36.4	38	25.6	3.7	6.5



**DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA**

**ANEXO 2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO**



**1. INFORMACIÓN GENERAL Y TÉRMINOS DESCRIPTIVOS APLICADOS A LOS SUELOS:**

SOLICITANTE: Universidad Técnica Particular de Loja	F ác: Fuertemente ácido
DIRECCIÓN: San Cayetano Alto S/N	M ác: Medianamente Ácida
TELÉFONO: 072 - 570 275 Ext.: 29 39 MÓVIL: 081107148	L ác: Ligeramente Ácida
PROYECTO: Evaluación del Contenido y Variabilidad Espacial de Metales Pesados en Suelos Afectados por la Actividad Minera.	L al: Ligeramente Alcalina
	MB: Muy Bajo M: Medio B: Bajo

**2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:**

FECHA DE INGRESO: 12-03-10	TIPO DE SUELO: Unidades de Paisaje	PROVINCIA: El Oro
FECHA DE ANÁLISIS: 28-03-10	REFERENCIA: Distrito Minero Portovelo - Zaruma del Sector Pache.	CANTÓN: Portovelo
FECHA DE ENTREGA: 18-04-10		PARROQUIA: Portovelo

**3. ENSAYOS MECÁNICOS Y CATIONES DISPONIBLES:**

# DE ORDEN: 464 / MS - 1

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	53,60	38,80	7,60	3,90	7,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	L al.

# DE ORDEN: 465 / MS - 1

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	52,40	43,20	4,40	2,80	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# DE ORDEN: 466 / MS - 2

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	48,0	46,4	5,60	4,30	6,50
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	L ác.

# DE ORDEN: 467 / MS - 3

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	48,0	40,4	11,6	2,90	4,00
INTERPRETACION	Franco			B	F ác

# DE ORDEN: 468 / MS - 3'

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	54,0	36,4	9,6	1,80	4,00
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 469 / MS - 4

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	63,6	34,4	2,00	2,60	7,50
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	L al.

# DE ORDEN: 470 / MS - 4'

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	49,2	41,6	9,20	1,00	4,00
INTERPRETACION	Franco			M b	F ác.

San Sebastián: Bernardo Valdivieso # 14-24 entre Andrés Bello y Cotacocha // "La Pradera" Cedros. Mz. S9. N° 25-25 entre Alisos y Laureles  
Teléfonos: 072-577 707 / 584 594 / 589 913 / Teletax: 072-577 707 Cel: 091549877 / 086673692 // e-mail: eaguosysuelos1@yahoo.com



**DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA**

# DE ORDEN: 471 / MS - 5

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	49,6	42,0	8,4	3,40	6,60
INTERPRETACION	Franco			M	L ác.

# DE ORDEN: 472 / MS - 5'

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	55,60	32,00	12,40	1,20	6,50
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	L ác.

# DE ORDEN: 473 / MS - 6/

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	52,40	39,20	8,40	2,30	4,90
INTERPRETACION	Franco			B	F ác.

# DE ORDEN: 474 / MS - 7

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	54,80	41,60	3,60	3,10	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# DE ORDEN: 475 / MS - 8

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	47,20	49,20	3,60	2,60	7,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	L al.

# DE ORDEN: 476 / MS - 9

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	46,40	50,00	3,60	1,30	7,30
INTERPRETACION	Franco Limoso			M b	L al.

# DE ORDEN: 477 / MS - 9/

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	46,0	46,4	7,60	1,30	7,20
INTERPRETACION	Franco			M b	L al.

# INFORME: 478 / MS - 10

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	55,2	41,2	3,60	0,80	4,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# INFORME: 479 / MS -11

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	48,40	49,60	2,00	2,90	5,00
INTERPRETACION	Franco Limoso			B	M ác.

# INFORME: 480 / MS - 12

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	61,60	34,40	4,00	0,90	4,80
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.



**DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA**

**CIESSA** Cía. Ltda.  
ONEA Test Lab  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN, ESTUDIOS Y SERVICIOS DE AGUAS Y SUELOS**

# DE ORDEN: 481 / MS - 13

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	55,6	34,0	10,4	3,90	7,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	L al.

# DE ORDEN: 482 / MS - 14

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	50,0	40,4	9,60	2,80	7,1
INTERPRETACION	Franco			B	L al.

# DE ORDEN: 483 / MS - 15

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	59,2	34,0	6,80	0,70	4,20
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 484 / MS - 16

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	55,6	42,4	2,00	0,80	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 485 / MS - 17

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	63,6	24,0	12,4	0,70	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 486 / MS - 18

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	58,4	36,4	5,20	0,80	5,5
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	M ác.

# DE ORDEN: 487 / MS - 19

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	52,4	42,4	5,20	0,90	7,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	L al.

# INFORME: 488 / MS - 20

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	71,2	22,0	6,80	2,80	4,1
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# INFORME: 489 / MS - 21

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	62,0	30,4	7,60	3,0	4,3
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# INFORME: 490 / MS - 22

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	62,0	32,0	6,00	2,70	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

San Sebastián: Bernardo Valdivieso # 14-24 entre Andrés Bello y Catacocha // "La Pradera" Cedros Mz. S9. N° 25-25 entre Álisos y Laureles  
Teléfonos: 072-577 707 / 584 594 / 589 913 / Telefax: 072-577 707 Cel: 091549877 / 086673692 // e-mail: eaguasysuelos1@yahoo.com



**DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA**

**CIESA** Cía. Ltda.  
UNEA Test Lab  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN, ESTUDIOS Y SERVICIOS DE AGUAS Y SUELOS

# DE ORDEN: 491 / MS - 23

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	60,4	35,6	4,00	3,10	6,80
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	L ác.

# DE ORDEN: 492 / MS - 29

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	74,0	28,0	2,0	3,20	4,1
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# DE ORDEN: 493 / MS - 30

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	61,6	30,8	7,60	3,80	4,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# DE ORDEN: 494 / MS - 31

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	67,2	24,4	8,40	2,80	7,5
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	L al.

# DE ORDEN: 495 / MS - 32

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	70,4	21,2	8,40	3,0	7,4
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	L al.

# DE ORDEN: 496 / MS - 33

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	58,4	34,4	7,20	1,90	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 497 / MS - 34

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	66,4	28,4	5,20	2,00	4,2
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# INFORME: 498 / MS - 35

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	55,2	35,6	9,20	2,0	4,3
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# INFORME: 499 / MS - 36

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	64,4	31,2	4,4	2,80	7,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	L al.

# INFORME: 500 / MS - 37

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	56,4	33,2	10,4	0,90	4,30
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

San Sebastián: Bernardo Valdivieso # 14-24 entre Andrés Bello y Catacocha // "La Pradera" Cedros Mz. S9. N° 25-25 entre Álisos y Laureles  
Teléfonos: 072-577 707 / 584 594 / 589 913 / Telefax: 072-577 707 Cel: 091549877 / 086673692 // e-mail: eoguasysuelos@yahoo.com



**DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA**

# DE ORDEN: 501 / MS - 38

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	47,6	38,8	13,6	0,80	4,50
INTERPRETACION	Franco			M b	F ác.

# DE ORDEN: 502 / MS - 39

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	62,4	27,2	10,4	1,80	4,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 503 / MS - 40

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	64,4	30,4	5,20	2,30	4,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# DE ORDEN: 504 / MS - 41

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	54,4	35,2	10,4	0,90	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 505 / MS - 42

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	60,4	36,0	3,60	2,80	6,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	L ác.

# DE ORDEN: 506 / MS - 43

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	61,6	30,0	8,40	4,10	4,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# DE ORDEN: 507 / MS - 44

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	71,2	26,0	2,80	2,20	4,0
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# INFORME: 508 / MS - 45

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	59,2	38,0	2,80	4,8	4,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# INFORME: 509 / MS - 46

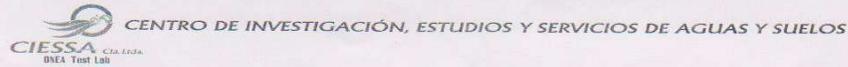
MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	75,2	18,0	6,80	3,0	5,30
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	M ác.

# INFORME: 510 / MS - 47

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	66,4	24,0	9,60	4,9	5,10
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	M ác.



## DETERMINACIÓN DE SEMIVARIOGRAMAS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE: TEXTURA, CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y pH DE UN SUELO AFECTADO POR MINERÍA



# DE ORDEN: 511 / MS - 48

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	73,2	24,0	2,80	2,90	4,80
INTERPRETACION	Franco Arenoso			B	F ác.

# DE ORDEN: 512 / MS - 49

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	56,4	28,0	15,6	3,30	4,80
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# DE ORDEN: 513 / MS - 50

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	42,40	53,20	4,40	1,30	4,30
INTERPRETACION	Franco Limoso			M b	F ác.

# DE ORDEN: 514 / MS - 51

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	63,2	34,0	2,80	4,30	4,2
INTERPRETACION	Franco Arenoso			M	F ác.

# DE ORDEN: 515 / MS - 52

MÉTODO	HIDRÓMETRO			WALKLEY BLACK	POTENCIÓMETRO (1:2.5)
UNIDAD	%			%	-
PARÁMETRO	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
RESULTADO	36,4	38,0	25,6	3,70	6,50
INTERPRETACION	Franco			M	L ác.

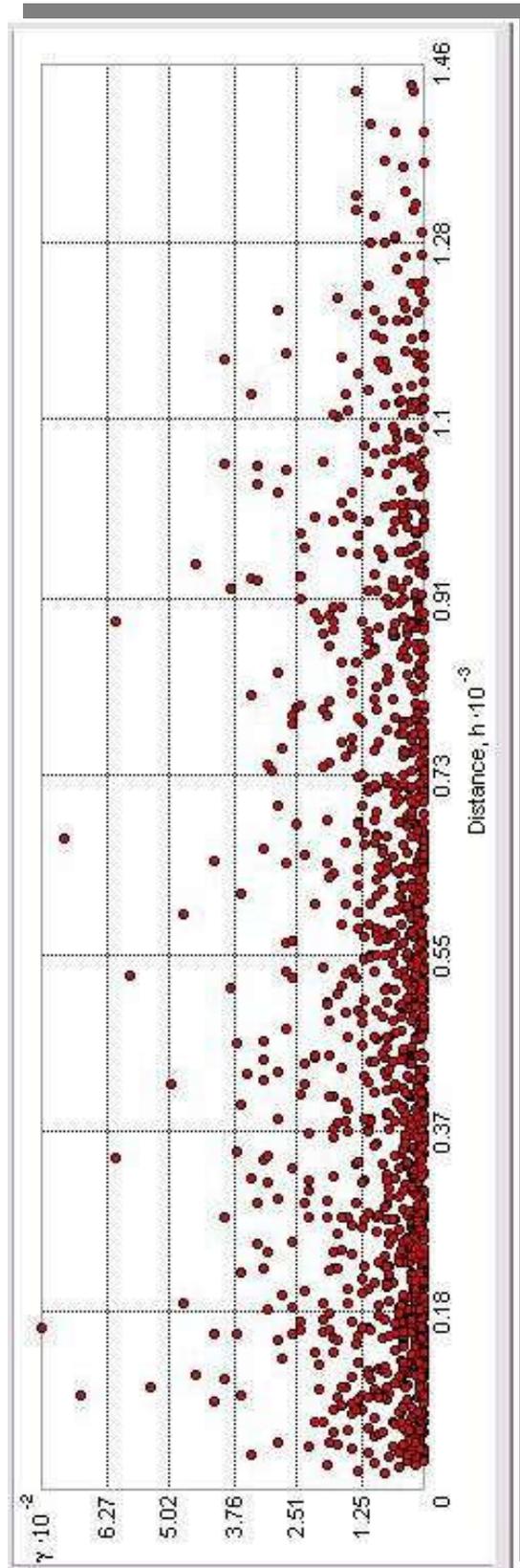
  
Ing. Edgar A. Ojeda Noriega  
HIDRO SANITARIO - AGRICOLA & MICROBIOLOGIA



San Sebastián: Bernardo Valdivieso # 14-24 entre Andrés Bello y Catacocha // "La Pradera" Cedros Mz. S9. N° 25-25 entre Alisos y Laureles  
Teléfonos: 072-577 707 / 584 594 / 589 913 / Telefax: 072-577 707 Cal: 091549877 / 086673692 // e-mail: eaguasy suelos1@yahoo.com

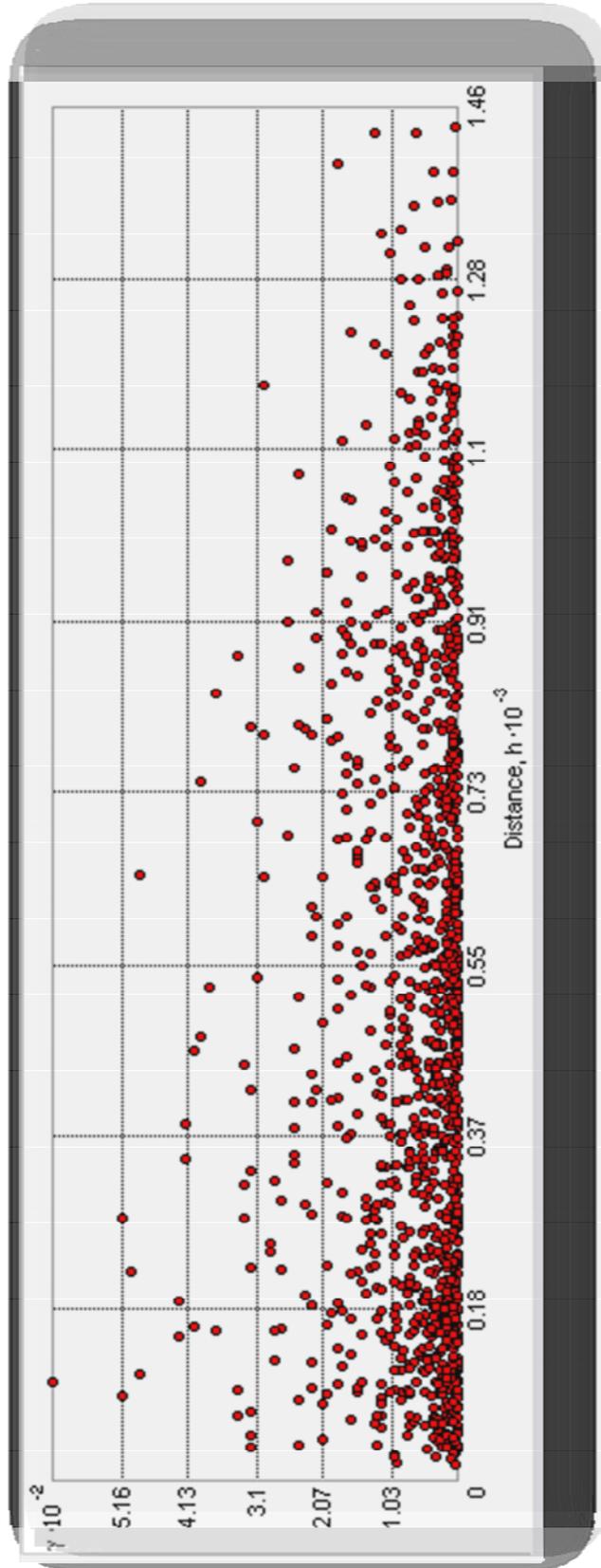


ANEXO 2: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE LA VARIABLE ARENA



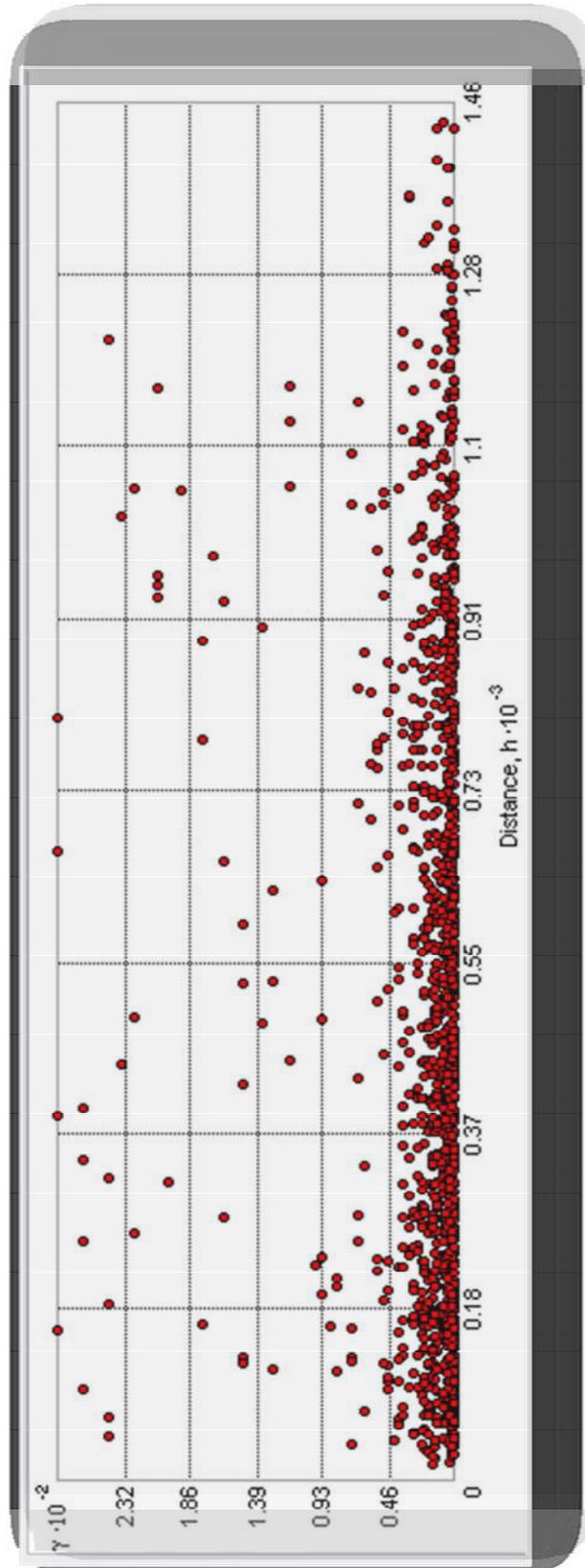


ANEXO 3: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE LA VARIABLE LIMO



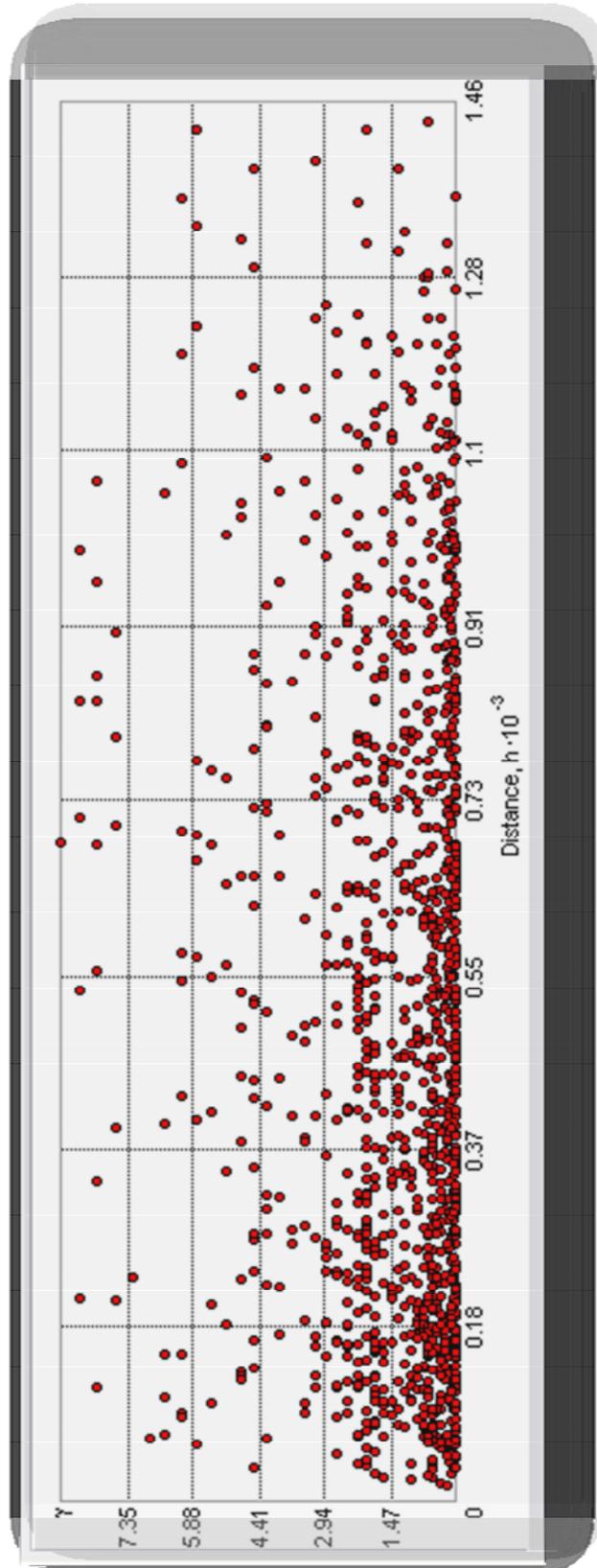


ANEXO 4: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE LA VARIABLE ARCILLA





ANEXO 5: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE LA VARIABLE MATERIA ORGÁNICA





ANEXO 5: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE LA VARIABLE pH

