



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Ingeniería en Estadística Informática

“Geoestadística Aplicada a la Clasificación de Suelos para Cultivos”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

Presentada por:

Mariela Alexandra González Narváez.

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2002

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a mis padres y a Dios que siempre me brindaron su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A OMAR

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Mat. Jorge Medina S.
DIRECTOR DEL ICM
PRESIDENTE

Msc. Fernando Guerrero L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Mejía C.
VOCAL

Dr. Paúl Carrión M.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Mariela González Narváez

RESUMEN

En este trabajo, se realiza un estudio sobre la utilización de la Geoestadística para la clasificación de suelos para cultivos, siendo el área de estudio la zona de Villingota - Zapotal, se cuenta con datos de un análisis químico, que fue realizado para el suelo de esta zona, en Julio de 1997.

Se hace un análisis de los datos de variables de tipo cuantitativo, que nos indica el nivel de concentración que se encuentra presente para las diferentes características químicas que componen el suelo, como también del nivel de concentración de los principales macro nutrientes que son esenciales para el óptimo desarrollo de los cultivos.

Las variables presentan un notable comportamiento de dependencia, ya que se tiene una influencia entre los componentes químicos del suelo y los macro nutrientes que se encuentran presentes.

Con el uso de técnicas Geoestadísticas, se determina modelos para la distribución que presentan los diferentes componentes químicos y nutrientes que se encuentran localizados en el suelo, que caracterizan el

nivel de fertilidad de la zona de estudio; se realizan las respectivas estimaciones de los niveles de concentración presentes en cada una de las variables de interés, con sus correspondientes mapas, los mismos que nos ayudan a determinar de una manera visual mayor perspectiva de los modelos.

Con los concernientes resultados del análisis, se procede a realizar las respectivas comparaciones, entre las estimaciones y los valores estimados sin Estadística de la concentración que contiene el suelo de la zona de estudio, y así poder determinar cual o cuales son los sectores más óptimos para cultivar, y los respectivos tipos de cultivos que se pueden dar de acuerdo al grado de fertilidad. Para establecer estas conclusiones se hace uso de las demás variables presentes en la zona, como una referencia para la justificación de los resultados del análisis.

GEOESTADÍSTICA APLICADA A LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA CULTIVOS.

Mariela González Narváez¹, Fernando Guerrero Loo²

¹Ingeniera en Estadística Informática 2002.

²Director: Matemático, Escuela Politécnica Nacional 1994.

Postgrado: Mestre em Matemática, Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 2001.

Profesor de la Espol desde el 2001.

RESUMEN.

En este trabajo se realiza un estudio sobre la utilización de la Geoestadística para la clasificación de suelos para cultivos, siendo el área de estudio la zona de Villingota - Zapotal, con datos de Julio de 1997.

Con el uso de la técnica Geoestadística, se determina modelos para la distribución que presentan diferentes nutrimentos, que caracterizan el nivel de fertilidad de la zona de estudio, y así poder determinar, cual es el tipo de cultivo que puede desarrollarse en esta zona, para poder optimizar el uso de la misma.

INTRODUCCIÓN.

La zona de estudio Villingota – Zapotal esta conformada aproximadamente de 4.000 Has. de terreno.

La posición geográfica en la que se encuentra localizada la zona, esta dada por las coordenadas 9°739.000 - 9°747.000 y 550.500 – 560.000.

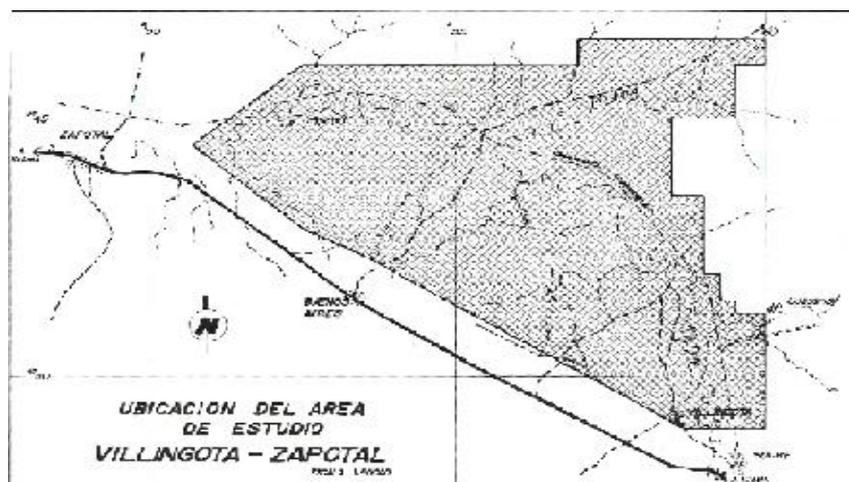


Gráfico de la zona de Villingota – Zapotal (Fuente: Cedegé).

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

Se cuenta con el respectivo análisis químico del suelo, que fue realizado con los datos de 37 calicatas representativas de la zona, la finalidad de este estudio, es determinar los tipos de cultivos que son aptos para el suelo de este sector, considerando las características químicas y nutrimentos que determinan la fertilidad del suelo de la zona de estudio.

CONTENIDO.

Para la Agricultura, el suelo como medio de cultivo, es una mezcla de materiales minerales y orgánicos, capaz de soportar la vida vegetal formada a partir de la roca meteorizada por acción del clima y de los organismos vivos.

Para determinar el comportamiento que presentan los niveles de concentración de las características químicas y nutrientes, se hace uso de la técnica Geoestadística; la cual nos ayuda a realizar estimaciones, para tener una mayor representación del nivel de contenido de los nutrimentos en el suelo de la zona.

La Geoestadística, es un nombre asociado con una clase de técnicas para analizar y estimar los valores de una variable, que está distribuida en espacio o tiempo. Se asumen tales valores implícitamente para ser puestos en correlación entre sí y el estudio de semejante correlación normalmente se llama "análisis estructural" o "Variograma". Después del análisis estructural, se hacen estimaciones a las situaciones de los sectores no muestreados usando "Kriging".

El análisis está basado en las variables de tipo cuantitativo, es decir las que son resultado del análisis químico, se hace uso de las herramientas de software Surfer 8.0 y Geoesas 1.2.1.

Las variables de interés para el estudio son: la Acidez (pH), la Salinidad (C. E.), la Fertilidad (C. I. C.), la Materia Orgánica (M. O.), el Potasio (K), el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), la Suma de Base de Intercambio, y el Sodio (Na) el cual es representado como Sodio Intercambiable (% Na).

Acidez (pH).

El modelo de Variograma que mejor describe el comportamiento que presenta esta variable, es el modelo exponencial.

En promedio el suelo de la zona presenta, un nivel de acidez determinado como Rango Neutro, las estimaciones determinan que el suelo de la zona se caracteriza por tener niveles de acidez Ligeramente Ácido, Neutro, Rango Neutro y Débilmente Alcalino.

Salinidad (C. E.).

Para el nivel de concentración de sales, el modelo de Variograma que mejor describe el comportamiento que presenta esta variable es el modelo Lineal.

El nivel promedio de salinidad presente en el suelo, es considerado como de Bajo contenido en sales. Las estimaciones determinan que el suelo posee niveles de Bajo y Medio contenido en sales.

Materia Orgánica (M. O.).

El comportamiento que tiene esta variable, es mejor representado por el modelo Lineal del Variograma. En promedio el suelo posee un Alto contenido de Materia Orgánica. Las estimaciones han determinado, que el suelo se caracteriza por poseer niveles de Alto y Normal contenido de Materia Orgánica.

Fertilidad (C. I. C.).

El modelo que mejor describe el comportamiento que presenta esta variable, es el modelo de Variograma Esférico.

El promedio de fertilidad que posee el suelo, es considerado como de Alto contenido en Fertilidad. Las estimaciones determinan que el suelo posee niveles de Normal Bajo, Normal Alto y Alto en contenido de Fertilidad

Sodio Intercambiable (% Na).

El análisis se lo realiza para los niveles de sodio intercambiable, debido a que la tabla que se utiliza, presenta interpretaciones de los niveles de concentración del % Na.

El modelo de Variograma Esférico, es el que mejor describe el comportamiento que presenta la concentración de este nutriente.

El suelo presenta en promedio un nivel Bajo, en contenido de sodio intercambiable. Las estimaciones, determinan que el suelo posee niveles de Bajo y Moderado contenido de sodio intercambiable.

Potasio (K).

La concentración del potasio, es mejor interpretado por el modelo de Variograma Esférico.

En potasio, el suelo presenta un nivel promedio de Medio en contenido de este nutriente. Las estimaciones indican que el suelo de la zona, posee niveles de Bajo, Medio, Alto y Excesivo en contenido de potasio.

Calcio (Ca).

El comportamiento que presenta la variable calcio, es mejor interpretada por el modelo de Variograma Esférico. El nivel promedio de calcio presente en el suelo es de Alto contenido en calcio. Las estimaciones indican que el calcio presenta niveles Bajos, Medios y Altos de contenido en el suelo de la zona de interés.

Magnesio (Mg).

El comportamiento que presenta esta variable, es mejor interpretado por el modelo de Variograma Esférico.

El nivel promedio de magnesio en el suelo es Alto . Las estimaciones para esta variable determinan que los niveles de magnesio en la zona son Altos.

Base de Intercambio.

El modelo de Variograma que mejor describe el comportamiento que presenta esta variable, es el modelo Esférico. El nivel promedio, de base de intercambio presente en el suelo es de Alto en contenido de base de intercambio, la estimaciones para esta variable, determinan que se presentan niveles de Bajo, Normal Bajo, Normal Alto y Alto en contenido de base de intercambio.

Resultado del análisis.

Como resultado de los análisis, se determinan una serie de cultivos que son aptos para el suelo de la zona de Villingota – Zapotal; se los ha determinado considerando la temperatura que se da en la zona de estudio y la tolerancia que presentan hacia los niveles de concentración, que son resultado de las estimaciones que se realizó para las variables; debido a los diferentes niveles de concentración que se presenta, se ha optado por dividir la zona de estudio en sectores.

Dado que los cultivos a continuación, no presentan la información necesaria de los niveles de tolerancia para todas las variables de interés, se determinan los cultivos para cada variable por separado (pH, C. E. y % de Na, ya que solo se contó con el grado de tolerancia que presentan dichos cultivos, para estas 3 variables).

En el sector Norte se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní, y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez Débilmente alcalino y Rango neutro, Bajo y Medio contenido de salinidad, bajo y Moderado contenido de Sodio Intercambiable que son tolerados por estos cultivos

En el sector Noreste se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja y Maní, ya que el suelo presenta niveles de acidez Débilmente Alcalinos, Neutro y Rango Neutro, además también presenta Bajo y Medio contenido de sales y posee un nivel Bajo en Sodio Intercambiable.

En el sector Noroeste, se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní, Naranja y Trigo, ya que el suelo presenta niveles de acidez Débilmente alcalino, Neutro y Rango neutro, además también presenta niveles Bajo y Medio de Salinidad y niveles de Sodio Intercambiable Bajo y Moderado.

En el sector Centro, se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano,

Sorgo, Soya, Yuca, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní y Trigo, ya que el suelo presenta niveles de acidez Rango Neutro, Neutro, Ligeramente Ácido, Débilmente Alcalino; contenidos Bajo y Medio en salinidad; Bajo y Moderado contenido en Sodio Intercambiable

En el Este, se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja y Maní, ya que el suelo presenta niveles de acidez Débilmente Alcalino, Rango Neutro, Neutro; además el suelo presenta Bajo y Medio contenido de Salinidad y posee un Bajo contenido en Sodio Intercambiable.

En el Oeste, se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya, Yuca, Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maní, Naranja y Trigo, ya que el suelo se presenta niveles de acidez Rango Neutro y Ligeramente Ácido y un Moderado contenido de Sodio Intercambiable.

En el Sur, se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maní, Naranja y Trigo, ya que el suelo presenta niveles de acidez Rango Neutro y Neutro y posee un contenido Moderado de Sodio Intercambiable.

En el Sureste, se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya, Yuca, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní y Trigo ya que el suelo presenta niveles de acidez Ligeramente Ácido, Débilmente Alcalino, Neutro y Rango Neutro; además el suelo presenta contenidos Bajo y Medio de Salinidad; contenidos Bajo y Moderado de Sodio Intercambiable.

En el Suroeste, se puede cultivar Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maní, Naranja y Trigo ya que el suelo presenta niveles de acidez Rango neutro y Neutro y moderado contenido de Sodio Intercambiable.

CONCLUSIONES.

Debido al número de observaciones con que se cuenta, para representar las características del suelo de la zona, no se puede obtener una buena estimación para determinar la tendencia que presenta cada una de las variables, por medio de los Variogramas.

Este suelo es óptimo para todo tipo de cultivos, por ser Ligeramente Ácido, Neutro, Rango Neutro y Débilmente Alcalino, ya que así todos los nutrientes (K, Ca y Mg) se muestran de una manera razonablemente accesibles y los microorganismos aumentan en el suelo.

En los sectores Oeste, Sur y Suroeste, no se pueden sembrar ninguno de los cultivos que presentan tolerancia para la Salinidad, debido a que ellos toleran niveles Medios y Altos de sales, y estos sectores presentan niveles Bajos en Salinidad.

REFERENCIAS:

Libro

1. M. P. Yuste Pérez, Biblioteca de la Agricultura (Lexus Impreso en España. Emege Industria Gráfica), pp. 22 – 58.
2. M. David, Geostatistical Ore Reserve Estimation (Ámsterdam Oxford New – York 1977).
3. P. Goovaerts, Geostatistics for Natural Resources Evaluation (New York Oxford University Press 1997).

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. ESTUDIO DE SUELOS CON FINES AGRÍCOLAS.....	2
1.1. Generalidades.....	2
1.2. Descripción del Suelo Agrícola.....	4
1.2.1. Muestreo del Suelo.....	5
1.2.2. El Perfil del Suelo.....	5
1.3. Evaluaciones Cualitativas.....	7
1.3.1. Estructura.....	7
1.3.2. Espesor.....	8

1.3.3. Color.....	8
1.3.3.1. Evaluación del Color.....	10
1.4. Evaluaciones Cuantitativas	11
1.4.1. Densidad.....	11
1.4.2. Porosidad.....	12
1.4.3. Temperatura.....	12
1.5 Textura del Suelo.....	12

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA GEOESTADÍSTICA.....	14
2.1. Introducción.....	14
2.2. Reseña Histórica.....	15
2.3. Geoestadística.....	18
2.4. Análisis de Datos Espaciales.....	19
2.5. Variable Regionalizada.....	20
2.6. Variograma.....	21
2.6.1. Cálculo del Variograma.....	22
2.6.2. Modelos Teóricos del Variograma.....	24
2.7. Anisotropía.....	28
2.7. Kriging.....	29
2.8.1. Métodos de Estimación del Kriging.....	31

2.8.1.1. Kriging Ordinario.....	31
2.8.1.2. Kriging Simple.....	31
2.8.1.3. Kriging de Punto.....	32
2.8.1.4. Kriging de Bloque.....	32
2.8.2. Efecto del Rango en las Estimaciones.....	33
2.8.3. Efecto del modelo en las Estimaciones.....	33
2.8.4. Efecto del Sill en las Estimaciones.....	33
2.8.5. Error de Estimación.....	34
2.8.6. La Varianza en la Estimación.....	34

CAPÍTULO 3

3. HERRAMIENTA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO..	36
3.1. Introducción.....	36
3.2. Tipos de Software.....	36
3.3. Descripción de los Software a Utilizar.....	37
3.3.1. Surfer 8.0.....	37
3.3.2. Geoeas 1.2.1.....	38

CAPÍTULO 4

4. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO (VILLINGOTA - ZAPOTAL).....	40
--	----

4.1. Introducción.....	40
4.2. La Zona de Estudio Villingota – Zapotal.....	40
4.3. Estudios de Suelos con Fines Agrícolas.....	42
4.4. Características Químicas de los Suelos.....	43
4.5. Cultivos.....	51

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....	53
5.1. Introducción.....	53
5.2. Descripción de las Variables.....	53
5.2.1. Variables Observadas.....	54
5.2.1.1. Variables Cualitativas.....	54
5.2.1.2. Variables Cuantitativas.....	62
5.2.2. Variables de Interés.....	65
5.3. Método de la Obtención de los Datos.....	66
5.3.1. Método de Muestreo Aplicado.....	67

CAPÍTULO 6

6. APLICACIÓN DE LA GEOESTADÍSTICA EN EL SECTOR DE VILLINGOTA – ZAPOTAL.....	68
---	----

6.1. Introducción.....	68
6.2. Análisis Univariado.....	69
6.2.1. Histogramas.....	74
6.3. Análisis Bivariado.....	79
6.3.1. Análisis de Dependencia.....	79
6.4. Análisis Geoestadístico.....	82
6.5. Interpretación de los Resultados.....	145
6.5.1. Niveles de Concentración que posee el Suelo según las Estimaciones.....	146
6.5.2. Tipos de Cultivos Aptos para la Zona de Estudio, según las Características del Suelo.....	150

CAPÍTULO 7

7. Conclusiones y Recomendaciones.....	160
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

A	Horizonte que contiene MO, como humus
A	Arcilla
Agrc.	Agricultura.
Ah	Acumulación MO descompuesta.
AL	Arcillo Limoso
B	Horizonte mineral, de acumulación de sustancias lavadas a través del horizonte anterior.
Bt	Presencia de cutanes de arcilla en el horizonte B.
Bt1	Posición horizonte Bt (más superficial).
C	Conformado por material poco alterado, del que procede la fracción mineral del suelo.
C. E.	Conductividad Eléctrica
C. I. C.	Capacidad de Intercambio de Cationes.
C1	Posición horizonte C con respecto a superficie del terreno.(más superficial que C2).
C2	Posición horizonte C con respecto a superficie del terreno.
Ca	Calcio
cm.	Centímetros
Coef.	Coeficiente.
Deb.	Débilmente
e. d.	Es decir
exp	Exponencial
F	Franco
FA	Franco Arcilloso
FAAr	Franco Arcillo Arenoso.
FAL	Franco Arcillo Limoso
FAr	Franco Arenoso
FL	Franco Limoso
Fuert.	Fuertemente

Ganad.	Ganadería
Gr.	Gramo
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e hidrología
Inter.	Interpretación
Interc.	Intercambio.
K	Potasio
Kg.	Kilogramo.
Lig.	Ligeramente
Máx.	Máximo
Medn.	Mediana
Meq.	Milliequivalentes
Mg	Magnesio
Min.	Mínimo
MO	Materia Orgánica
Moderadmt.	Moderadamente
Mmhos.	Millimhos
Na	Sodio
p. ej.	Por ejemplo
pH	Potencial de Hidrógeno
Prom.	Promedio
Rang.	Rango
TC.	Typic Camborthid
TP	Typic Paleargid
TT	Typic Torriorthent
TTo	Typic Torrifluent
Var.	Varianza
VC.	Vetic Camborthid
VT	Vertic Torrifluent

SIMBOLOGÍA

% Na	Sodio Intercambiable
$2\hat{\gamma}(h)$	Estimación del variograma
$2(h)$	Variograma
A	Horizonte de perfil
a	Menor rango de anisotropía
a	Rango
a	Mayor rango de anisotropía
B	Horizonte de perfil
C	Horizonte de perfil
C1	Escala
Co	Efecto Nugget
Fe ₂ O ₃	Oxido férrico
FeO	Oxido ferroso
h	Distancia
N(h)	Número de pares
R ³	Espacio en 3 dimensiones
R ⁿ	Espacio n-dimensional
x	Punto muestral
Z(x)	Variable Regionalizada
z(x)	Valor de la función en el punto x
$\hat{\gamma}(h)$	Estimación del semivariograma
(h)	Semivariograma
	Angulo de dirección
	Peso asignado
	Sumatoria
	Angulo de dirección

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.5.	Triángulo de Texturas.....	13
Figura 2.6.	Gráfico de Variograma.....	22
Figura 2.6.1.	Construcción del Variograma desde Datos Muestrales.....	23
Figura 2.6.2.1.	Gráfico Modelo Esférico.....	25
Figura 2.6.2.2.	Gráfico Modelo Exponencial.....	26
Figura 2.6.2.3.	Gráfico modelo Gaussiano.....	27
Figura 2.6.2.4.	Gráfico Modelo Lineal.....	28
Figura 2.7.A.	Rosa Elíptica.....	29
Figura 2.7.B.	Círculo Isotrópico.....	29
Figura 2.8.2.	Representación Técnica Punto Kriging.....	32
Figura 4.2.	Gráfico dirección de Vientos.....	41
Figura 4.2.1.	Zona de Villingota – Zapotal.....	42
Figura 6.4.pH.1.	Concentración de pH en cada Unidad de Observación.....	83
Figura 6.4.pH.2.	Representación del Variograma Exponencial.....	84
Figura 6.4.pH.3.	Estimaciones del Nivel de pH.....	85
Figura 6.4.pH.4.	Nivel de pH en las Estimaciones.....	87
Figura 6.4.pH.5.	Residuales de las Estimaciones.....	88

Figura 6.4.pH.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	89
Figura 6.4.CE.1. Concentración de CE en cada Unidad de Observación.....	90
Figura 6.4.CE.2. Representación del Variograma Lineal.....	91
Figura 6.4.CE.3. Estimaciones del Nivel de CE.....	92
Figura 6.4.CE.4. Nivel de CE en las Estimaciones.....	94
Figura 6.4.CE.5. Residuales de las Estimaciones.....	95
Figura 6.4.CE.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	96
Figura 6.4.CIC.1. Concentración de CIC en cada Unidad de Observación...	97
Figura 6.4.CIC.2. Representación del Variograma Esférico.....	98
Figura 6.4.CIC.3. Estimaciones del Nivel de CE.....	99
Figura 6.4.CIC.4. Nivel de CIC en las Estimaciones.....	101
Figura 6.4.CIC.5. Residuales de las Estimaciones.....	102
Figura 6.4.CIC.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	103
Figura 6.4.MO.1. Concentración de MO en cada Unidad de Observación..	104
Figura 6.4.MO.2. Representación del Variograma Lineal.....	105
Figura 6.4.MO.3. Estimaciones del Nivel de MO.....	106
Figura 6.4.MO.4. Nivel de MO en las Estimaciones.....	108
Figura 6.4.MO.5. Residuales de las Estimaciones.....	109
Figura 6.4.MO.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	110
Figura6.4.Na.1. Concentración de % Na en cada Unidad de Observación.....	111
Figura 6.4.Na.2. Representación del Variograma Esférico.....	112

Figura 6.4.Na.3. Estimaciones del Nivel de % Na.....	113
Figura 6.4.Na.4. Nivel de %Na en las Estimaciones.....	114
Figura 6.4.Na.5. Residuales de las Estimaciones.....	115
Figura 6.4.Na.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	116
Figura 6.4.K.1. Concentración de K en cada Unidad de Observación.....	118
Figura 6.4.K.2. Representación del Variograma Esférico.....	119
Figura 6.4.K.3. Estimaciones del Nivel de K.....	120
Figura 6.4.K.4. Nivel de K en las Estimaciones.....	122
Figura 6.4.K.5. Residuales de las Estimaciones.....	123
Figura 6.4.K.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	124
Figura 6.4.Ca.1. Concentración de Ca en cada Unidad de Observación.....	125
Figura 6.4.Ca.2. Representación del Variograma Esférico.....	126
Figura 6.4.Ca.3. Estimaciones del Nivel de Ca.....	127
Figura 6.4.Ca.4. Nivel de Ca en las Estimaciones.....	129
Figura 6.4.Ca.5. Residuales de las Estimaciones.....	130
Figura 6.4.Ca.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	131
Figura 6.4.Mg.1. Concentración de Mg en cada Unidad de Observación....	132
Figura 6.4.Mg.2. Representación del Variograma Exponencial.....	133
Figura 6.4.Mg.3. Estimaciones del Nivel de Mg.....	134
Figura 6.4.Mg.4. Nivel de Mg en las Estimaciones.....	135
Figura 6.4.Mg.5. Residuales de las Estimaciones.....	136
Figura 6.4.Mg.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	137

Figura 6.4.BI.1. Concentración de BI en cada Unidad de Observación.....	138
Figura 6.4.BI.2. Representación del Variograma Exponencial.....	139
Figura 6.4.BI.3. Estimaciones del Nivel de BI.....	140
Figura 6.4.BI.4. Nivel de BI en las Estimaciones.....	142
Figura 6.4.BI.5. Residuales de las Estimaciones.....	143
Figura 6.4.BI.6. Desv. Estándar de las Estimaciones.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.4.1.	Valores de pH que posee el Suelo.....	44
Tabla 4.4.2.	Valores de Ce que posee el Suelo.....	45
Tabla 4.4.3.	Valores de MO que posee el Suelo.....	46
Tabla 4.4.4.	Valores de CIC que posee el Suelo.....	47
Tabla 4.4.5.	Valores de % Na que posee el Suelo.....	48
Tabla 4.4.6.	Valores de K que posee el Suelo.....	49
Tabla 4.4.7.	Valores de Ca que posee el Suelo.....	50
Tabla 4.4.8.	Valores de Mg que posee el Suelo.....	51
Tabla 4.5.	Cultivos Nativos de la Zona.....	52
Tabla 5.2.1.1.	Clasificación para la Pendiente.....	56

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Mapa índice de la zona Villingota – Zapotal

Plano 2 Morfopedológico.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre la “Geoestadística Aplicada a la Clasificación de Suelos para Cultivos”, se cuenta con datos del análisis químico, realizado para el suelo de la zona de Villingota – Zapotal, efectuado en el mes de Julio de 1997.

La finalidad de este estudio, es determinar los tipos de cultivos que son aptos para esta zona, utilizando las teorías y técnicas científicas, que componen la Geoestadística.

Este tipo de análisis es realizado con fines agrícolas, ya que tiene el propósito de determinar los niveles de nutrimentos que contiene el suelo y que van a servir como una pauta para la elección de los cultivos.

Teniendo en consideración que el Ecuador es un País Agrícola por naturaleza, se demuestra por medio de este estudio la capacidad que posee el suelo de nuestro País, para poder sembrar un sin numero de cultivos, ya que el suelo cuenta con los recursos necesarios para poder desarrollar las más diversas variedades de cultivos.

CAPÍTULO 1

1. ESTUDIO DE SUELOS CON FINES AGRÍCOLAS.

1.1. Generalidades.

El origen de la palabra suelo proviene de la palabra latina *Solum*, que significa base o fondo. El suelo, es una capa de roca madre meteorizada que cubre la mayor parte de la superficie terrestre.

Esta capa, cuyo espesor varía entre unos pocos centímetros y dos o tres metros, permite que los reinos vegetal y animal, se encuentren con el mundo mineral y establezcan con él una relación dinámica.

Los vegetales obtienen del suelo el agua y los nutrientes esenciales, y de estos dependen también la vida de los animales.

Para la Agricultura así como para el edafólogo, el suelo como medio de cultivo, es una mezcla de materiales minerales y orgánicos, capaz de soportar la vida vegetal, formada a partir de la roca meteorizada por acción del clima y de los organismos vivos.

La *pedología*, es la ciencia que estudia los suelos considerados como seres o entes naturales, en todos los aspectos, tanto desde su fisiografía como de su morfología, organización interna, características físicas, químicas, mineralógicas, biológicas y fertilidad, así como desde su origen, clasificación, evolución, sistemática, evolución geográfica, cartografía, uso, mejora y conservación de este elemento.

Desde una disciplina estrictamente agronómica, la *edafología* es la parte de la ciencia *pedológica*, que estudia el suelo como la base del mundo vegetal, es decir, su fertilidad y su economía hídrica como factores de crecimiento de las plantas.

1.2. Descripción del Suelo Agrícola.

Al analizar in situ una porción de suelo agrícola, se establece que el suelo está compuesto de dos partes, que son: la fisiográfica y la morfológica.

La *fisiografía* es la parte externa, superficial, en la que se ve en definitiva las peculiaridades de la superficie del terreno, tales como: la pendiente, su pedregosidad, su vegetación, etc.

La *morfología* en cambio es la parte oculta, aquélla que no podemos ver si realizamos una excavación.

Desde un punto de vista exclusivamente agrícola, interesa el estudio de las dos partes.

La *fisiografía* nos da una idea de las labores agrícolas que se deben realizar en la superficie, y la *morfología* nos da una idea del material edáfico con el que nos enfrentamos: propiedades Físicas, Químicas, y sus posibles correcciones.

1.2.1. Muestreo del Suelo.

La identificación de las características de la superficie de un suelo agrícola, se lo realiza por medio de la toma de muestras, que consiste en la extracción de una porción de suelo de la superficie. A esa extracción la llamamos *muestreo*.

1.2.2. El Perfil del Suelo.

Los suelos están compuestos de diferentes capas, en diversas profundidades. Una sección vertical del suelo con la finalidad de descubrir su parte oculta, nos permite estudiar sus diferentes capas. A esta sección se la denomina *perfil*.

A las diferentes capas de un perfil se las denominan *horizontes* y a éstos se les designa las primeras letras del alfabeto.

El horizonte "A" es el que representa la capa más superficial del perfil y suele caracterizarse por poseer un alto contenido de materia orgánica. La parte media del perfil, suele ser más rica en arcilla y de color más claro que la superior, se la denomina horizonte "B" o suelo profundo.

A menudo, los horizontes "A" y "B" presentan subhorizontes (A_{00} , A_0 , B_1 , B_2 , etc.) que no son más que particularidades de cada uno de ellos. Su nomenclatura, varía mucho en función de los autores, de su nacionalidad y de la escuela edafológica a la que pertenecen.

El horizonte "C" constituye en general la roca madre del suelo. Se dispone debajo del *Solum* y se extiende hasta la roca basal. Este horizonte puede ser muy espeso, delgado, o incluso no existir. El perfil del suelo incluye los horizontes "A", "B" y por lo menos la parte superior del "C", cuando este existe.

1.3. Evaluaciones Cualitativas.

En el mismo sitio, en el que se ha realizado la toma de muestras (sea fisiográficamente en superficie, o en profundidad a través de un perfil), se puede cualificar a simple vista una serie de propiedades físicas del suelo.

Mediante una inspección visual o táctil, se pueden medir las propiedades físicas, diferenciándolas con algún tipo de escala, de tamaño, de consistencia, de intensidad, etc. Cada suelo presenta un conjunto peculiar de propiedades físicas, que dependen de la naturaleza de sus componentes, de la cantidad relativa de cada uno de ellos y de la manera en que se hallan mutuamente acopladas.

1.3.1. Estructura.

La estructura del suelo, es la manera en que las partículas del mismo, se encuentran agrupadas en conjuntos de forma estable. A estos conjuntos se los llaman *agregados*.

La estructura se la determina de acuerdo al grado (nitidez de formación de agregados), tamaño (determinación de las estructuras) y tipo (forma y disposición de los agregados).

1.3.2. Espesor.

El espesor o profundidad del suelo, varía de una zona a otra del planeta (entre unos centímetros y unos metros). Al realizar un perfil del suelo, se comprueba la profundidad del mismo. Así, si se dispone de un suelo profundo, se tendrá muchos menos problemas a la hora de cultivar, que de otro que sea de solo unos escasos centímetros.

1.3.3. Color

El color, es una de las características más perceptibles del suelo y es importante porque está relacionado con el contenido de materia orgánica, el clima, el drenaje y la mineralogía del suelo.

La mayoría de los minerales que componen el suelo, especialmente de los horizontes más superficiales ("A"), poseen una coloración que varía de blanco al gris claro. Excepcionalmente, existen algunos minerales negros, rojos o incluso de otros colores. Pero las coloraciones rojizas, parduscas, grisáceas, etc., de la mayoría de los suelos comunes vienen originados por dos materiales, que en sí mismo, son poderosos agentes colorantes. Se trata de la porción humus de la materia orgánica y de los distintos compuestos del hierro.

La materia orgánica, sufre la acción microbiana y se convierte en humus. El humus es un material muy fino, de color casi negro, que tiene un gran poder colorante. Basta un 5% de materia orgánica en el suelo, para que éste presente un color negro o casi negro.

El hierro tiene dos estados de oxidación (FeO y Fe_2O_3), que originan diversas coloraciones en función del grado de su hidratación, de su presencia, de su distribución, del grado de oxidación, etc.

1.3.3.1. Evaluación del Color.

La evaluación del color de un suelo, se determina mediante la sistematología

creadas a partir de las anotaciones de Munsell.

Este sistema incluye tres variables: tinta, valor e intensidad.

La *tinta* se refiere, a la longitud de onda dominante de la luz reflejada por un objeto, definiéndose en términos de cinco colores cardinales y sus mezclas: azul, verde, amarillo, rojo y púrpura.

La *intensidad* es una medida, del grado de saturación de color o de su pureza.

El *valor* es la medida de la claridad u oscuridad del color.

1.4. Evaluaciones Cuantitativas.

Por medio de los datos que han sido recolectados con las muestras, se puede cuantificar una serie de propiedades físicas que componen el suelo.

1.4.1. Densidad.

La densidad, se la define como el peso por unidad de volumen. En el caso de los suelos, se realizan dos estimaciones que son: la densidad real y la densidad aparente.

La *densidad real*, es la consistencia de las partículas del suelo, determinada en una muestra de suelo homogeneizada.

La *densidad aparente*, es la consistencia de un volumen de suelo, tomado tal como aparece en el perfil del terreno.

1.4.2. Porosidad.

La porosidad, se define como el porcentaje del volumen real del suelo que está ocupado por espacios de aire. Se lo calcula por medio de la densidad aparente y la densidad real.

1.4.3. Temperatura.

La temperatura del suelo en sus capas superficiales, está relacionada con la temperatura que presenta el aire y depende del régimen térmico del clima de la zona.

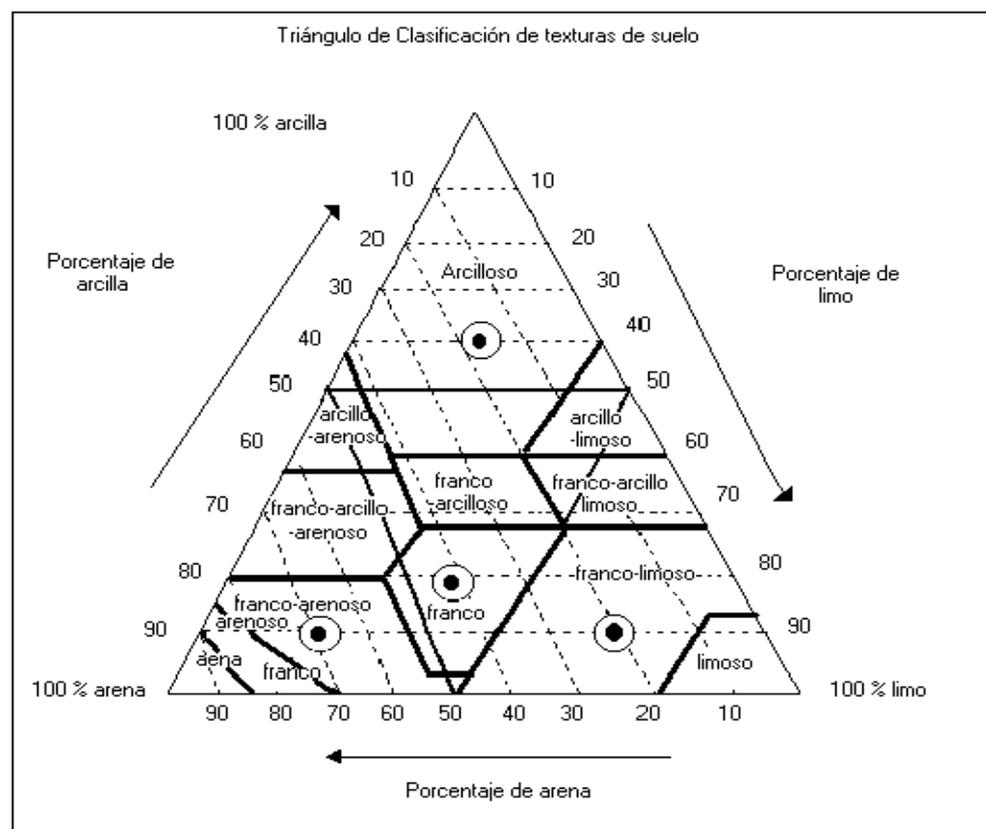
1.5. Textura del Suelo.

La textura del suelo expresa la composición granulométrica, e. d. la disposición de los componentes minerales, según el tamaño de las partículas del suelo; es una propiedad física muy importante para la agricultura.

En un conjunto de estas partículas, se encuentran fracciones de arena, arcilla y limo, las proporciones de cada una de estas conforman la textura del suelo.

A continuación se presenta la clasificación de la textura del suelo.

FIGURA 1.5.
TRIÁNGULO DE TEXTURAS.



CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA GEOESTADÍSTICA.

2.1. Introducción.

En el presente capítulo, se detalla como se inició la Geoestadística, las principales teorías que componen esta ciencia, los personajes que desarrollaron estas teorías y cuales fueron los diferentes campos en los que empezó a ser aplicada.

Además, se presenta la definición teórica de la Geoestadística, se indican cuales son los pasos principales que se deben seguir para desarrollar un estudio Geoestadístico, y las teorías principales en las cuales se ha desarrollado y se desarrolla esta ciencia.

2.2. Reseña Histórica.

El uso de la Geoestadística surge a partir de la década de los años 50 con los estudios realizados por D.G. Krige y por otros Ingenieros mineros en las minas de oro de Rand, África del Sur, desarrollaron un procedimiento ponderado de estimación, con determinados coeficientes correctores empíricos.

El desarrollo posterior es atribuido, en paralelo, a Matèrn y Matheron, quien estuvo ligado directamente a la Escuela de Minas de París, desarrollo la teoría de las variables regionalizadas, que provee una buena base para los recursos naturales, está teoría incluye una técnica de estimación óptima llamada Kriging, esta técnica se hizo conocida debido a que Matheron hizo las publicaciones en textos en Inglés y campos como la Hidrogeología empezaron a implementar la Geoestadística.

En la ciencia del suelo, el reconocimiento de la variación espacial de propiedades del suelo, es probablemente tan viejo como su clasificación. Este enfoque de caracterizar la variabilidad de los suelos es principalmente cualitativo.

En los años setenta, los investigadores empezaron los estudios de las propiedades de suelo de una manera más cuantitativa (p. ej. Rogowski, 1972; Nielsen et al, 1973; Biggar y Nielsen, 1976), la mayoría de ellos confió en métodos estadísticos clásicos (p. ej. La función de la distribución de frecuencias con momentos asociados y coeficientes de variación; análisis de varianza para medir cambios sobre la distancia, etc.). Una suposición implícita en estos análisis es; que las observaciones de una variable del suelo son independientes con respecto a su ubicación en el campo.

Sin embargo, solamente el conocimiento de la distribución de frecuencias de las observaciones provee información sobre la variabilidad de las observaciones con respecto a las coordenadas del área donde se ha hecho un muestreo.

La primera publicación que aplicó Geoestadística apareció en 1978 (Campbell, 1978). En 1980, Webster y su colegas iniciaron una serie de publicaciones llamadas “Interpolación Optima y mapeo isarithmico de propiedades del suelo”, en la que Kriging era por primera vez usado en la ciencia del suelo (Burguess & Webster, 1980^{a,b}; Webster & Burguess,1980 Burguess et al,

1981; McBratney & Webster, 1983^a, Webster & Oliver, 1989). Samra en 1989 realizó estimación de alturas en plantaciones de *Melia azedarach*, Mandallaz (Mandallaz, 1993), que comparó varios métodos de kriging en la estimación de densidad y área basal. Höck (Höck et al, 1994), combinó el uso de Sistemas de Información Geográficos con técnicas geoestadísticas en la estimación de índices de sitio de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda.

En Chile, Corvalán (Corvalán et al, 1998) analizaron la aplicabilidad de estas técnicas en la estimación de variables dasométricas en bosques de *Pinus radiata*, concluyendo que constituyen un aporte importante en la planificación del manejo forestal.

La palabra Geoestadística, denota el estudio estadístico de fenómenos naturales, tiene varias interpretaciones como la de Matheon, que la define como: “la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales” (Journel & Huijbregts, 1978). El término Geoestadística nos indica, como algunos interpretan incorrectamente, “estadísticas en la geología”. Una más reciente

(y orientado al SIG) interpretación de Geoestadística, podría ser: *“las estadísticas involucradas con datos geográficos”*, también llamada “estadísticas espaciales”.

2.3. Geoestadística.

La Geoestadística implica el análisis y la estimación de fenómenos espaciales o temporales, tales como: calidades de metal, porosidades, concentraciones de contaminantes.

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

Hoy en día, la Geoestadística es un nombre asociado con una clase de técnicas, para analizar y predecir los valores de una variable que está distribuida en espacio o tiempo. Se asumen tales valores implícitamente, para ser puestos en correlación entre sí, y el estudio de semejante correlación normalmente se llama un "análisis estructural" o un "Variograma". Después del análisis estructural, se hacen estimaciones a las situaciones de

los sectores no muestreados usando la técnica de interpolación "Kriging" .

La Geoestadística, tiene como objetivo el caracterizar e interpretar el comportamiento de los datos que están distribuidos espacialmente "variables regionalizadas".

Los pasos principales de un estudio Geoestadístico son:

- Análisis de los datos exploratorios.
- Análisis Estructural (Cálculo y modelación de los Variogramas).
- Estimaciones (Kriging o simulaciones).

2.4. Análisis de Datos Espaciales.

Alguna veces, se ha señalado a la Geoestadística como un juego de técnicas, para los análisis espaciales de datos Geoestadísticos, o datos con un índice espacial continuo.

Se la ha incluido en la familia de tipos de datos espaciales, datos de celosía (datos con una colección contable de sitios espaciales, p. ej. la distribución de mortalidades infantiles en diferentes pueblos) y diseños de datos de puntos espaciales (datos donde ambas localidades y magnitudes son aleatorias p. ej. una realización de sedimentos de cuerpos geológicos en el espacio).

Los datos espaciales se pueden clasificar en:

○ Puntos.

○ Líneas.

Líneas aisladas (pista de aeropuerto), Líneas con Ramificaciones (río y sus afluentes), Redes (carreteras o líneas ferroviarias.)

○ Regiones.

Regiones aisladas (lago), Regiones adyacentes (países) o Regiones anidadas (Municipios contenidos en Estados).

2.5. Variable Regionalizada.

Dado que x , es un punto en el espacio R^3 y $z(x)$ es el valor de la función para el punto x , en el que se está interesado. Esta función es llamada “*Variable Regionalizada*”, p. ej. puede ser la consistencia de un depósito en un punto, o la gravedad específica de los minerales. Tal función usualmente es altamente variable y no-continua y no puede ser estudiada correctamente. El estudio se lo realiza, examinando sus incrementos.

La idea básica de la teoría es considerar a tal función $z(x)$, donde x es un punto o un vector en R^n , como una realización de una función aleatoria $Z(X)$. Solo se tiene una realización de aquella

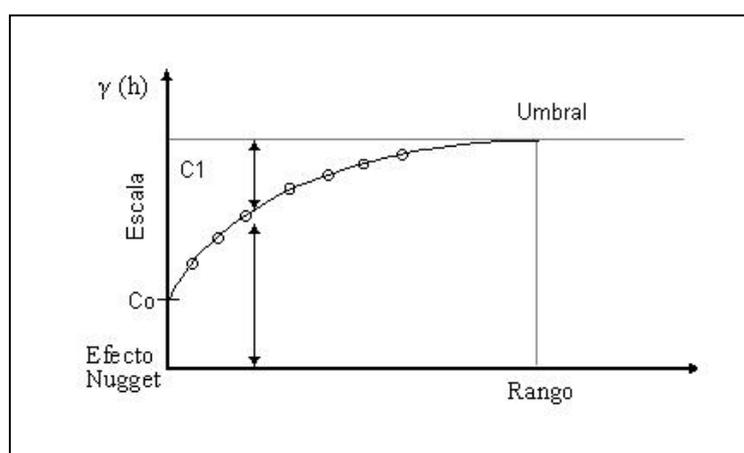
función aleatoria, el fin es encontrar las características de la función aleatoria $Z(X)$ para hacer las estimaciones de posibles puntos desconocidos.

2.6. Variograma.

Es un estimador de la varianza poblacional, por lo tanto la población debe tener una tendencia de estacionariedad; el variograma esta 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. El variograma modela como dos valores en el espacio o tiempo se ponen en correlación.

FIGURA 2.6.

GRÁFICO DE VARIOGRAMA.



El Variograma está conformado por los siguientes elementos:

Efecto Nugget (Co): Generalmente el variograma no tiende a cero como lo hace la distancia h , el *Efecto Nugget* indica la discontinuidad del semivariograma para distancias que sean menores, que la menor distancia que se da entre los puntos muestrales. Parte de esta discontinuidad puede también ser dividida en errores de medición, una pobre precisión analítica, o más a menudo por mineralización altamente errática a baja escala.

Umbral (Sill = $C1 + Co$): Es el valor alcanzado por el variograma en el Rango. El Sill de un variograma, puede ser denotado como la varianza de la muestra.

Escala (C1): Es el valor tal que; $C1 + Co = \text{Sill}$.

Rango (a): Es la distancia dentro de la cual, las muestras están correlacionadas espacialmente.

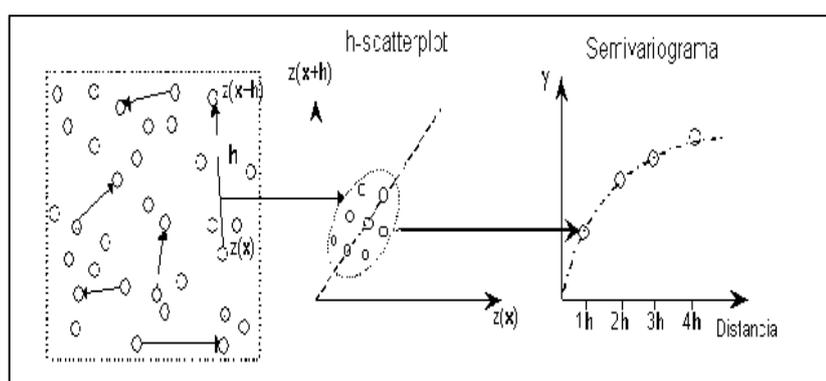
2.6.1. Cálculo del Variograma.

Para calcular el variograma 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 del variograma. Hacer lo mismo para otros incrementos lag.

FIGURA 2.6.1.

CONSTRUCCIÓN DEL VARIOGRAMA DESDE DATOS MUESTRALES.



FUENTE: (AI-GEOESTATS).

El variograma es definido como:

$$2 \gamma(h) = \text{Var.} [Z(x+h) - Z(x)] = E[\{Z(x+h) - Z(x)\}^2]$$

Puede ser estimado a partir de una muestra por:

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

Muchos autores definen al variograma de una forma distinta a la ecuación descrita arriba, considerando que usualmente al variograma también se lo conoce como semivariograma, el cual es definido como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var} [Z(x+h) - Z(x)] = \frac{1}{2} E[(Z(x+h) - Z(x))^2]$$

Puede ser estimado a partir de una muestra por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

2.6.2. Modelos Teóricos del Variograma.

Son varios los modelos básicos de los Variogramas, que son capaces de explicar los diferentes comportamientos que pueden presentar las variables regionalizadas; entre los modelos más usuales que se dan tenemos:

o Modelo Esférico.

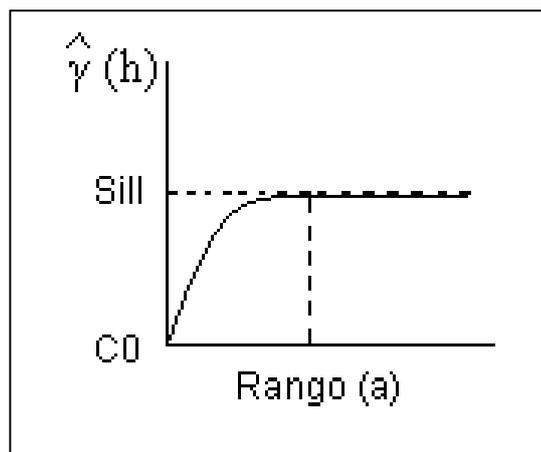
Está representado por la ecuación siguiente:

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ; |h| = 0 \\ C0 + C1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & ; 0 < h < a \\ C0 + C1 & ; |h| > a \end{cases}$$

Este modelo, presenta una tendencia creciente curvilínea, hasta que llega al *Sill*, para tomar una tendencia lineal. El modelo Esférico alcanza el valor *Sill*, en la distancia *a* (*rango actual*).

FIGURA 2.6.2.1.

GRÁFICO MODELO ESFÉRICO.



- o Modelo Exponencial:

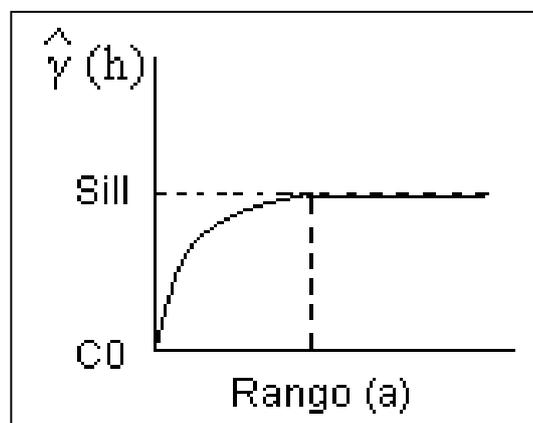
Está representado por la ecuación siguiente:

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ; |h| = 0 \\ C0 + C1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) \right] & ; h \neq 0 \end{cases}$$

El modelo Exponencial, alcanza el valor *Sill* asintóticamente, el *rango (a)* es la distancia a la cual el valor del modelo, es el 95 % del *Sill*.

FIGURA 2.6.2.2.

GRÁFICO MODELO EXPONENCIAL.



- o Modelo Gaussiano:

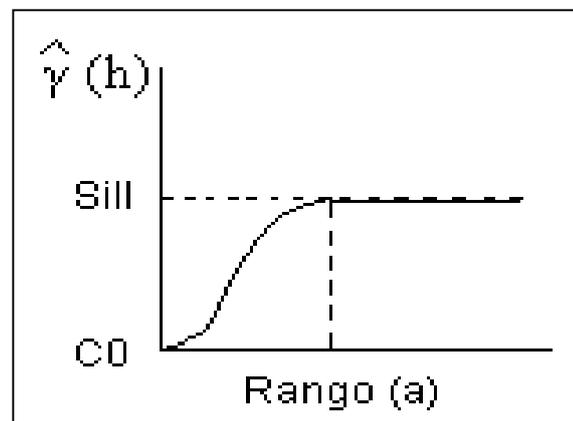
Está representado por la ecuación siguiente:

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ; |h| = 0 \\ C0 + C1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right)^2 \right] & ; h \neq 0 \end{cases}$$

El modelo Gaussiano, alcanza el valor *Sill* asintóticamente, el *rango* (*a*) es la distancia a la cual el valor del modelo, es el 95 % del *Sill*.

FIGURA 2.6.2.3.

GRÁFICO MODELO GAUSSIANO.



- o Modelo Lineal.

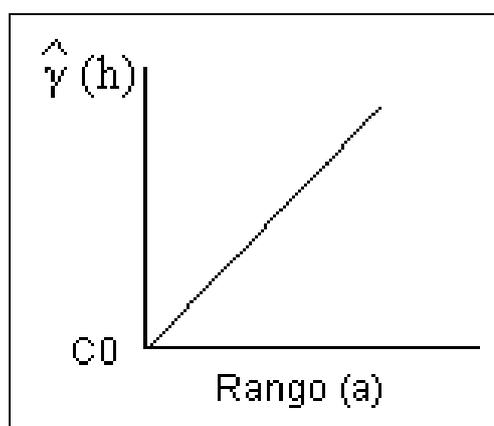
Está representado por la ecuación siguiente:

$$\hat{\gamma}(h) = A(h) + B$$

No posee valor *Sill*, continua aumentando mientras la *distancia (h)* aumenta, es utilizado para modelar fenómenos que presentan capacidad infinita de dispersión.

FIGURA 2.6.2.4.

GRÁFICO MODELO LINEAL.



2.7. Anisotropía.

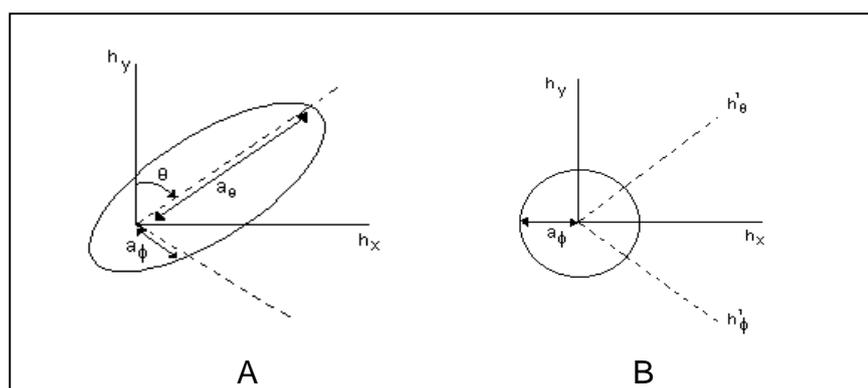
Si al calcular Variogramas en diferentes direcciones, los valores del *rango (a)* presentan cambios, esto nos indica que se está dando una anisotropía geométrica, en cambio si la diferencia muestra cambios en el valor del *Sill* en diferentes direcciones, entonces hay una anisotropía zonal. Algunos Variogramas son combinaciones de anisotropía geométrico y zonal.

Se debe calcular varios Variogramas en diferentes direcciones, y hacer uso de un diagrama de rosa, para descubrir la existencia de anisotropía. La proporción de la anisotropía es la proporción entre el rango más pequeño y el rango más grande, utilizando un proporción de uno, indica un variograma isotrópico, es decir el mismo variograma en todas las direcciones (círculo isotrópico).

FIGURA 2.7.

A. ROSA ELÍPTICA

B. CÍRCULO ISOTRÓPICO.



FUENTE: GEOSTATISTICS FOR NATURAL RESOURCES EVALUATION.

2.8. Kriging.

El Kriging es conocido como el método interpolador Geoestadístico, es un estimador lineal insesgado, presenta dos propiedades básicas que son: Hacer que la suma de errores tienda a cero, y que el cuadrado de las desviaciones sea mínimo.

Tiene como objetivo estimar el valor de la variable Z , para un punto x_0 que no ha sido considerado anteriormente, realiza una suma ponderada sobre todos los sectores que conforman la zona de estudio de interés, tomando los vecinos más cercanos al punto de interés x_0 .

$$\hat{Z}(x_0) = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_n z(x_n)$$

$$\hat{Z}(x_0) = \sum \lambda_i * z(x_i)$$

El proceso del Kriging es asignar pesos a los vecinos más cercanos, considerados para la estimación, la diferencia del Kriging con otros métodos de interpolación, es que utiliza un método semejante a la interpolación por media móvil ponderada, a diferencia que los pesos son asignados a partir de un análisis espacial, basados en el semivariograma experimental.

Un método de interpolación será exacto cuando, pase por los puntos muestrales, lo más cercano posible a ellos.

Es importante que un modelo para semivariograma que ha sido ajustado, represente una tendencia a los modelos antes

descritos, para que las estimaciones obtenidas por medio del Kriging sean más exactas y más confiables.

Las estimaciones mediante el método Kriging pueden ser, por punto o por bloque.

2.8.1. Métodos de Estimación del Kriging.

Existen dos métodos de Kriging para realizar las estimaciones.

2.8.1.1. Kriging Ordinario.

Es el método más apropiado, para situaciones medioambientales, este método asume que las medias locales, no están necesariamente relacionadas lo más cercanamente a la media poblacional, por lo cual solo usa las muestras en la vecindad local para la estimación.

2.8.1.2. Kriging Simple.

Asume que las medias locales son relativamente constantes e iguales a la media poblacional, la cual

es conocida. La media poblacional es usada como un factor en cada estimación local, a lo largo con las muestras en las vecindad local.

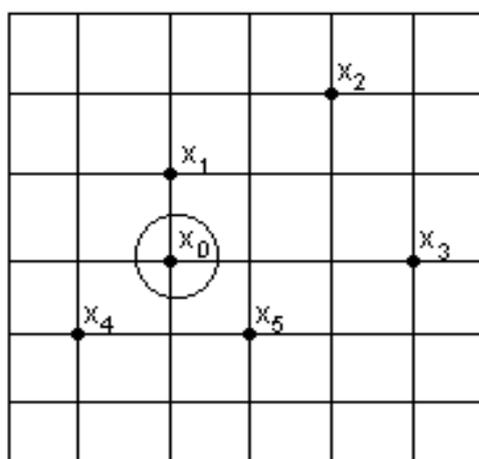
Hay dos tipos de Kriging, el de Punto y el de Bloque, lo cuales generan unas cuadrículas de interpolación.

2.8.1.3. Kriging de Punto.

Estima los valores de los puntos en los nodos de las cuadrículas.

FIGURA 2.8.2.

REPRESENTACIÓN TÉCNICA PUNTO KRIGING.



2.8.1.4. Kriging de Bloque.

Estima el valor promedio de los bloques rectangulares, que están centrados en los nodos de las cuadrículas, los bloques son le tamaño y forma de las celdas de las cuadrículas, este tipo de Kriging no resulta ser un buen interpolador, ya que no estima el valor de un punto.

2.8.2. Efecto del Rango en las Estimaciones.

Un valor grande para el *rango* (a), significa un comportamiento más continuo. Las estimaciones dan como resultado mapas bastante lisos para la variable de interés.

2.8.3 Efecto del modelo en las Estimaciones.

Considerando la forma que presenta el Variograma en los primeros lags, un modelo Gaussiano es más continuo que un modelo Esférico con un mismo efecto en $6h$, para la variable mejor correlacionada, se muestran los mapas con más suavización.

2.8.4. Efecto del Sill en las Estimaciones.

El cambiar el valor de *Sill*, no cambia los valores de las estimaciones, por lo que los mapas de estimaciones seguirán siendo los mismo, afecta a la variación de las estimaciones, un *sill* más alto indica, mayor variación en las estimaciones.

2.8.5. Error de Estimación.

Dado que no son estrictamente equivalentes, hay un error de estimación involucrado en los procedimientos. La aceptación de un método de estimación será dado por la magnitud de los errores involucrados, el mejor método a considerar debe ser el que de los errores más pequeños, considerando todos los bloques o puntos en la estimación.

2.8.6. La Varianza en la Estimación.

La varianza indica la dispersión que presentan los valores estimados con respecto a los valores reales.

El Kriging no solo provee una estimación de mínimos cuadrados, también está ligado a la varianza del error.

La varianza del error es:

- Dependiente en el modelo de la covarianza.

La precisión de la estimación podría depender de la complejidad de la variabilidad espacial de z , modelado por la covarianza.

- Dependiente en la configuración de los datos.

La localización de los datos y sus distancias entre sí, son estimados.

- Independiente de los valores de los datos.

Para un modelo de covarianza dado, la configuración de dos datos idénticos podría producir la misma varianza Kriging, sin importar que los datos estuvieren.

El mapa de varianzas, indica más incertidumbre en los sectores del área de estudio, en el que los datos están más dispersos del área de estudio .

CAPÍTULO 3

3. HERRAMIENTA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.

3.1. Introducción.

Se describe las características y ventajas que proporciona el paquete de Software que se utilizó para realizar los respectivos análisis Geoestadísticos, además también se menciona varios de los programas que son usados con más frecuencia para este tipo de análisis, con sus respectivas características, ventajas y desventajas, que presentan.

3.2. Tipos de Software.

Son varios los paquetes de software, que proporciona ayuda para desarrollar análisis de datos espaciales, muchos de estos paquetes proporcionan los cálculos tradicionales Estadísticos,

como son análisis Univariado, gráficos de histogramas, gráficos de correlación; además de las técnicas básicas, que conforman el análisis Geoestadístico.

3.3. Descripción de los Software a Utilizar.

Para el desarrollo del análisis se utilizó el Software Surfer Versión 8.0 (2002), y además se recurrió al software Geoeas 1.2.1, como soporte para la elección del mejor modelo que describa el comportamiento de las variables de interés.

3.3.1. Surfer 8.0.

El paquete software que se utilizó para el desarrollo del análisis Geoestadístico es el programa Surfer versión 8.0, se desarrolla bajo el ambiente Windows.

El Surfer 8.0 es un sistema para mapeo de superficies.

Este software trabaja de una manera similar al software Variowin 2.21 en la elaboración de modelos para Variogramas.

Entre las ventajas que ofrece este paquete tenemos:

- Elaboración de Variogramas.
- Elaboración de mapas en dos dimensiones y en 3D.
- Manipulación de mapas (como Color, diseño, combinación de mapas).
- Mapas de error.
- Cálculo de estimaciones.
- Presenta reportes de los análisis elaborados (Univariado, Variograma, etc).
- Presenta una buena interfaz con el usuario.

3.3.2. Geoeas 1.2.1

Geoeas 1.2.1 (GEOstatistical Environmental Assessment Software).

Unix versión (1993), adaptado por Andy Long, este programa es aplicado en la Universidad de Arizona.

Geoeas 1.2.1 se desarrolla bajo la plataforma del Sistema Operativo DOS, LINUX & UNIX (SUN).

Se hizo uso de esta herramienta, como un soporte para la elección de los mejores modelos para los Variogramas.

Las características que presenta esta herramienta son:

- Estadística General (histogramas, gráficos de probabilidades).
- Variogramas, Madogramas, Variograma Relativo, cálculo de Variograma Ergódico y su modelación.
- Estimaciones para Kriging por punto y bloque (Ordinario y Simple).
- Cokriging Universal punto y bloque, y variograma cruzado.
- Análisis de Correspondencia.

Desventajas:

- Realiza cálculos Geoestadísticos en 2D
- No da facilidad para la manipulación de mapas (Color).

Otros de los paquetes que son reconocidos para la realización de un estudio Geoestadístico son:

Variowin 2.21

Geostatistical Toolbox 1.30

Agromet 1.0

ExploStat 1.0

CAPÍTULO 4

4. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO (VILLINGOTA – ZAPOTAL).

4.1. Introducción.

El presente capítulo trata sobre las características esenciales de la zona de estudio de Villingota - Zapotal, tales como; su localización en coordenadas geográficas, las poblaciones que comprenden este sector, las características que posee el suelo, determinadas por un análisis químico, y los tipos de cultivos que se encontraban en el sector en el momento de la recolección de los datos.

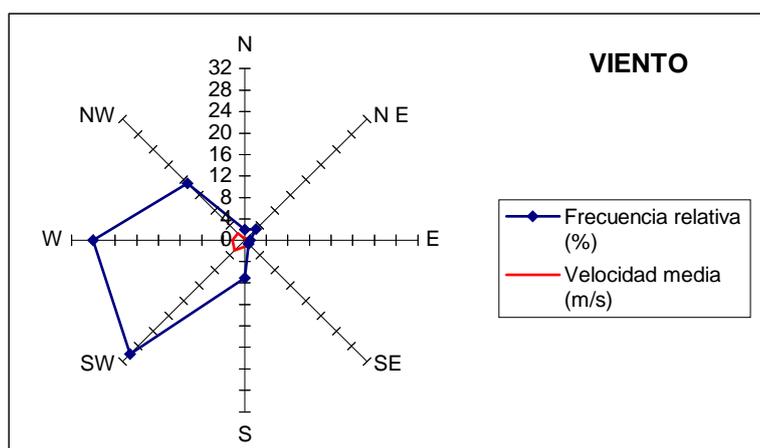
4.2. La Zona de Estudio Villingota – Zapotal.

La zona de estudio Villingota – Zapotal esta conformada aproximadamente de 4.000 Has. de terreno, la posición geográfica

en la que se encuentra localizada la zona, esta dada por las coordenadas 9'739.000 - 9'747.000 y 550.500 – 560.000.

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

FIGURA 4.2.
GRÁFICO DIRECCIÓN DE VIENTOS.



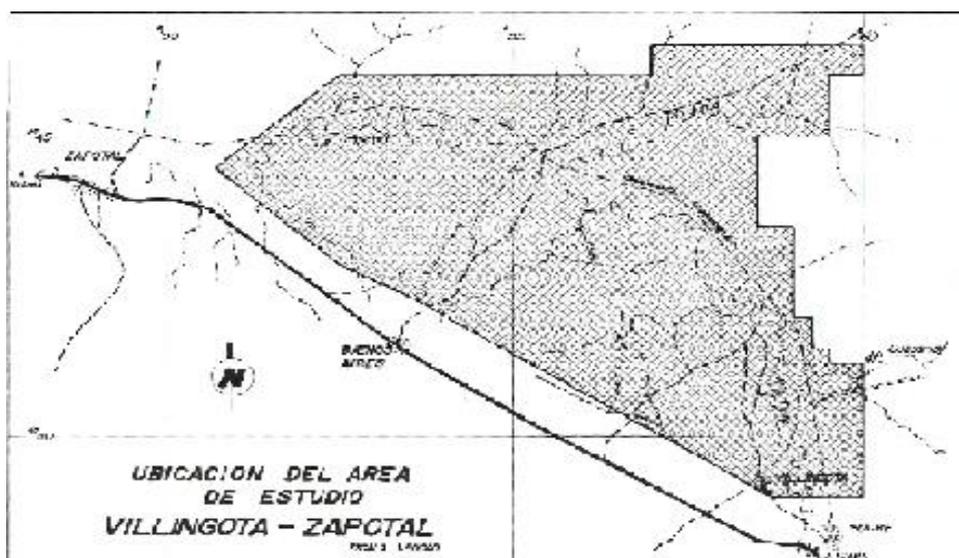
FUENTE: INAMHI.

En este sector se encuentran asentadas las poblaciones de Buenos Aires, Sucre y Villingota, y los poblados ya desaparecidos Dos Bocas y San Francisco, además por este lugar cruza las vías ya desmanteladas del ferrocarril.

Por esta zona pasa el río Zapotal, y sus afluentes el Tinto, Jurca y Guacamay. A continuación se presenta el esquema del sector.

FIGURA 4.2.1.

ZONA DE VILLINGOTA – ZAPOTAL



FUENTE: CEDEGÉ.

4.3. Estudio de Suelos con Fines Agrícolas.

Desde hace años atrás se planteó la idea de realizar un proyecto para explotar el potencial agropecuario que se encuentra localizado

en la Península de Santa Elena, que esta comprendida por diversas zonas.

No se podía efectuar dicha idea, ya que se presentaban diversos obstáculos para poder ejecutarla, entre el principal obstáculo que se tenía era la falta de agua en la localidad.

Por este motivo hubieron instituciones públicas y privadas, principalmente CEDEGE, que se preocuparon por realizar estudios, con el fin de determinar y definir las características que posee esta región, para poder así planificar y realizar proyectos.

4.4. Características Químicas de los Suelos.

Al aplicar la técnica de muestreo descrita en el capítulo cinco, se obtuvieron 37 unidades de observación denominadas calicatas, se realizó el análisis químico, en el cual se determinaron los componentes que conforman el suelo; las calicatas fueron clasificadas según su tipo de Taxonomía que en total son 7.

A continuación se hace una clasificación de las características que presenta el terreno, utilizando las tablas de interpretación de valores indicadas en los *APÉNDICES B, C y D* esta clasificación se la realiza de acuerdo a los valores de los niveles de concentración,

detallados en el análisis químico, para cada una de las Taxonomías descritas en el *APÉNDICE A*.

- Reacción del suelo, Acidez (pH).

En la siguiente tabla se muestra el grado de acidez que contiene el suelo de la zona, este se clasifica de acuerdo a cada capa para detallar los niveles de acidez que contienen dichas capa, además de los máximos, mínimos valores que adoptan, el nivel de acidez que más se da, el nivel medio de acidez de acuerdo a los valores que adopta cada una y el valor promedio de pH que poseen. (*VER APÉNDICE B*)

TABLA 4.4.1.

VALORES DE pH QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación PH	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
7.0	Neutro		Min. = 6.6		Min. = 6.5		Min. = 6.4
8.2	Moderadmt. Alcalino		Máx. = 7.7		Máx. = 7.9		Máx. = 8.2
6.4 -6.7	Ligeramente Ácido		Moda = 7.7		Moda = 6.8		Moda (no hay)
6.8 -7.1	Rango neutro		Medn. = 7.1		Medn. = 7.4		Medn. = 7.5
7.4 -7.9	Débilmente Alcalino		Prom.= 7.21		Prom. = 7.29		Prom.=7.37

- Nivel de salinidad presente en el suelo, definida como Conductividad Eléctrica (CE).

En la tabla a continuación se detalla el grado de salinidad que contiene el suelo, clasificándola de acuerdo a cada capa para detallar los niveles de salinidad que contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de salinidad, el nivel de salinidad que más se da, el nivel medio de salinidad de acuerdo a los valores que adoptan cada una y el valor promedio de salinidad en cada capa. (VER APÉNDICE B)

TABLA 4.4.2.

VALORES DE C. E. QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación C. E. (mmhos/cm)	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
< 1.0	Bajo		Min. = 0.3		Min. = 0.2		Min. = 0.2
1.0 -2.0	Medio		Máx. = 1.3		Máx. = 2.1		Máx. = 3.0
> 2.0	Alto		Moda = 0.4		Moda = 0.3		Moda = 0.2
			Medn. = 0.4		Medn. = 0.4		Medn.=0.35
			Prom. = 0.51		Prom. = 1.01		Prom. = 1.02

- Porcentaje de Materia Orgánica (MO).

En el cuadro siguiente se detalla el grado de MO que caracteriza al suelo, clasificándola de acuerdo a cada capa para detallar los niveles de MO que contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de materia orgánica, el nivel de MO que más se da, el nivel medio de materia orgánica de acuerdo a los valores que adoptan cada una y el valor promedio de materia orgánica en cada capa. (VER APÉNDICE C)

TABLA 4.4.3.
VALORES DE MO QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación % MO	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
0.8	Muy Bajo		Min. = 2.0		Min. = 1.0		Min. = 0.8
1.0 - 1.4	Bajo Mineralizado		Máx. = 4.0		Máx. = 3.0		Máx. = 1.9
1.9 - 2.0	Normal		Moda = 3.8		Moda = 2.8		Moda = 1.0
2.2 - 4.0	Alto		Medn. = 3.7		Medn. = 2.0		Medn. = 1.0
			Prom. = 3.14		Prom. = 2.13		Prom. = 1.18

- La capacidad de fertilidad determinada como Capacidad de Intercambio de Cationes (C. I. C.).

En la tabla a continuación se detalla el grado de fertilidad que caracteriza al suelo, clasificándola de acuerdo a cada capa para detallar los niveles de fertilidad que contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de fertilidad, el nivel de fertilidad que más se da, el nivel medio de fertilidad de acuerdo a los valores que adoptan cada una y el valor promedio de fertilidad en cada capa. (VER APÉNDICE C)

TABLA 4.4.4.
VALORES DE C. I. C. QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación C. I. C. (meq./100 gr.)	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
12.0	Normal bajo		Min. = 12.0		Min. = 26.0		Min. = 23.0
23.0 -40.0	Alto		Máx. = 41.0		Máx. = 40.0		Máx. = 42.0
41.0 -42.0	Muy alto		Moda = 37.0		Moda = 40.0		Moda (no hay)
			Medn.=37.0		Medn.= 37.0		Medn.= 35.0
			Prom.=32.43		Prom.=35.14		Prom.=33.83

- Sodio Intercambiable.

En la tabla a continuación se detalla el grado de sodio intercambiable que caracteriza al suelo, clasificándolo de acuerdo a cada capa para detallar los niveles de sodio intercambiable que

contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de sodio intercambiable, el nivel de sodio intercambiable que más se da, el nivel medio de sodio intercambiable de acuerdo a los valores que adoptan cada una y el valor promedio de sodio intercambiable en cada capa .

Los niveles de sodio (*VER APÉNDICE C*) son evaluados basándose en el Porcentaje de Sodio Intercambiable (ESP “Exchangeable Sodium Percentage”). El ESP es el porcentaje de la capacidad intercambiable de los cationes (CEC “Cation Exchange Capacity”) ocupados por el sodio.

TABLA 4.4.5.
VALORES DE % Na QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación % Na	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
< 10.0	Bajo		Min. = 0.98		Min. = 0.54		Min. = 0.56
10.0 – 20.0	Moderado		Máx. = 16.67		Máx. = 17.50		Máx. = 20.00
20.0 – 30.0	Alto		Moda = 10.8		Moda (no hay)		Moda (no hay)
> 30.0	Muy Alto		Medn. = 4.9		Medn. = 5.8		Medn. = 5.5
			Prom. = 7.01		Prom. = 6.15		Prom. = 7.47

- o Potasio.

En la tabla a continuación se detalla el grado de potasio que caracteriza al suelo, clasificándolo de acuerdo a capa para detalla los niveles de potasio que contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de potasio, el nivel de potasio que más se da, el nivel medio de potasio de acuerdo a los valores que adoptan cada una de ellas y el valor promedio de potasio en cada capa. (VER APÉNDICE D)

TABLA 4.4.6.
VALORES DE K QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación K (meq./100 gr.)	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Adopta	Parámetros	Adopta	Parámetros	Adopta	Parámetros
0.1 – 0.3	Bajo		Min. = 0.1		Min. = 0.1		Min. = 0.1
0.4	Medio		Máx. = 3.0		Máx. = 2.0		Máx. = 1.0
0.6 – 2.0	Alto		Moda = 0.1		Moda = 0.2		Moda = 0.2
3.0	Excesivo		Medn. = 0.2		Medn. = 0.2		Medn. = 0.2
			Prom. = 0.657		Prom. = 0.457		Prom. = 0.3

- o Calcio.

En la tabla a continuación se detalla el grado de calcio que contiene el suelo, clasificándolo de acuerdo a cada capa para detallar los

niveles de potasio que contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de calcio, el nivel de calcio que más se da, el nivel medio de calcio de acuerdo a los valores que adoptan cada una y el valor promedio de calcio en cada capa. (VER APÉNDICE D)

TABLA 4.4.7.
VALORES DE Ca QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación Ca (meq./100 gr.)	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
< 5.0	Bajo		Min. = 7.0		Min. = 21.0		Min. = 19.0
7.0	Medio		Máx. = 35.0		Máx. = 35.0		Máx. = 36.0
> 10.0	Alto		Moda = 29.0		Moda = 31.0		Moda (no hay)
			Medn. = 29.0		Medn. = 29.0		Medn. =26.5
			Prom. = 26.14		Prom. = 28.14		Prom. =26.67

o Magnesio.

En la tabla a continuación se presenta el grado de magnesio que contiene el suelo, clasificándolo de acuerdo a cada capa para detallar los niveles de potasio que contienen dichas capas, mostrando los máximos y mínimos valores de magnesio, el nivel de magnesio que más se da, el nivel medio de magnesio de acuerdo a

los valores que adoptan cada una y el valor promedio de magnesio en cada capa. (VER APÉNDICE D)

TABLA 4.4.8.
VALORES DE Mg QUE POSEE EL SUELO.

Valores	Clasificación Mg (meq./100 gr.)	1° capa		2° Capa		3° Capa	
		Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros	Nivel	Parámetros
< 0.5	Bajo		Min. = 2.0		Min. = 2.0		Min. = 1.0
0.5 - 1.5	Medio		Máx. = 4.0		Máx. = 8.0		Máx. = 7.0
> 1.5	Alto		Moda = 3.0		Moda = 3.0		Moda = 2.0
			Medn. = 3.0		Medn. = 3.0		Medn. = 3.0
			Prom. = 3.0		Prom.= 3.571		Prom. = 3.5

Para la interpretación de los niveles de concentración para la variable Suma Base de Intercambio, se utiliza la tabla de interpretación del C. I. C. APÉNDICE C, debido a que esta variable contiene a los cationes de intercambio que conforman el CIC.

4.5. Cultivos.

En el momento de la toma de la muestra, se determinaron la presencia de cultivos nativos que predominaban en el sector de observación.

Entre los tipos de cultivos que se encontraron habían especies que eran de uso agrícola y otros que simplemente eran considerados como vegetación natural, a continuación se detallan los nombres de aquellos cultivos.

TABLA 4.5.
CULTIVOS NATIVOS DE LA ZONA

Algarrobo
Algodón Silvestre
Arbustiva Densa
Barbecho
Cactus
Cascol
Ceibo
Florón
Herbácea Rala
Matachivo
Muyuyo
Nigüito
Palo Santo

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.

5.1. Introducción.

En el presente capítulo se detallan las variables que se observaron en el momento de la recolección de los datos, además de la interpretación de cada una de ellas, y la determinación de las variables que van a ser de sumo interés para el posterior análisis.

Se clasifican las variables de acuerdo a su tipo, es decir cualitativas y cuantitativas.

5.2. Descripción de las Variables.

En la descripción de perfiles del suelo, se cuentan con varias variables que fueron observadas y determinadas en el momento del levantamiento de la muestra.

A continuación se define cada variable de acuerdo a su clasificación.

5.2.1. Variables Observadas.

Entre las variables observadas, se cuentan con variables de tipo cualitativo y cuantitativo.

5.2.1.1 Variables Cualitativas.

En esta clasificación se cuenta con las siguientes variables:

Estudio: Indica el nombre del proyecto en estudio, en este caso Proyecto Agrícola Villingota .

Observador: Esta variable muestra el nombre de la persona responsable de realizar el estudio.

Zona: En esta variable se define el nombre de la zona de estudio, que adopta los nombres de:

- Dos Bocas
- Buenos Aires.
- Sucre.

- Zapotal.

Localización en la unidad: Determina la posición en donde se encuentra la unidad de observación, esta variable se clasifica en:

Cerca de colinas C1.

- En la cima.
- En el límite con colinas bajas.
- Parte media de la ladera.
- Parte media de la misma.

Topografía: Trata sobre las características que se encuentran en un mapa topográfico, y tenemos:

- Casi plana.
- Inclínada.
- Ondulada.
- Plana.

Pendiente: La pendiente es el ángulo que forma cualquier parte de la superficie terrestre con un dato de horizonte, esta variable se clasifica en:

TABLA 5.2.1.1.
CLASIFICACIÓN PARA LA PENDIENTE.

Pendiente (%)	Denominación	Consideración
0 – 2	Suelos llanos	Con bajo riesgo de erosión
0 - 3	Suelos llanos	Con bajo riesgo de erosión
2 – 5	Pendientes suaves	Riesgo erosión: Cultivar Terrazas
5 – 10	Pendientes suaves	Riesgo erosión: Cultivar Terrazas
5 – 15	Pendientes moderadas	Límite laboreo: Construir Bancales
10 – 20	Pendientes moderadas	Límite laboreo: Construir Bancales
20	Marca límite Sist. Agr.	Laboreo permanente

Erosión: Es el conjunto de consecuencias que conducen a la degradación del mismo, y que desde un punto de vista agrícola, equivale a decir que es la pérdida rápida y muchas de las veces es irreversible de la fertilidad, se divide en:

- Ligera.
- Moderada.
- Nula.
- Severa.

Uso Agrícola y Vegetación natural: Esta variable menciona los cultivos que se encontraron en la zona, al momento de realizar la toma de muestra, entre ellos se clasifican como plantaciones de uso agrícola y como vegetación natural, son:

Profundidad Útil: Nos proporciona un valor que nos representa el tamaño en cm. de profundidad en el horizonte.

Drenaje: Determina la humedad o la sequedad promedio que existe en el suelo. Toma valores como:

- Bien drenado.
- Excesivo drenado.
- Imperfec. Drenado.
- Moderado drenado.
- Muy drenado.

Taxonomía: Es un sistema que establece límites que sean reconocibles entre los suelos individuales. Se utilizó la Taxonomía del USDA que contiene lo siguiente:

- Vertic Camborthid.
- Vertic. Torrifuvent.
- Typic. Camborthid.
- Typic. Paleargid.
- Typic. Torrifuvent.
- Typic. Torriorthent.

Horizontes: Según las características que posee el perfil, el horizonte adopta una variedad de denominaciones, y en función de estos horizontes el suelo adopta un nombre específico. El suelo en estudio presenta las siguientes variedades de nomenclaturas de horizontes:

- A: Horizonte en el cual se muestra la MO, en forma de humus.
- Ah: Acumulación de MO descompuesta.
- B: Horizonte mineral de acumulación de las sustancias lavadas a través del horizonte anterior.
- Bs
- Bs1
- Bs2

- Bt:: Presencia de cutanes de arcilla en el horizonte B.
- Bt1: Indica la posición del horizonte Bt (más superficial).
- C: Conformado por el material más o menos alterado del que procede la fracción mineral del suelo.
- C1: Indica la posición del horizonte C, con respecto a la superficie del terreno, C1 es más superficial que C2.
- C2: Indica la posición del horizonte C, con respecto a la superficie del terreno.

Color en Seco: Indica el tipo de color que posee el suelo investigado. Esta comprendido de tres variables que son: una matiz, un valor y un tono.

Textura: Indica la disposición que hay de los componentes minerales según el tamaño de las partículas en el suelo. Presenta las diversos tipos de textura.

- Arcilla

- Franco
- Franco Arcilloso
- Franco Arenoso
- Franco Arcillo Arenoso
- Franco Limoso
- Franco Arcillo Limoso
- Arcillo Limoso

Estructura: Indica la forma en que las partículas del suelo se encuentran agrupadas en conjuntos de una manera estable. Esta comprendida de los siguientes términos:

- Bloques Angulares
- Bloques Sub. Angulares
- Granular
- Masiva
- Roca

Consistencia en Húmedo: La cantidad de humedad presente en el suelo, comprendido entre la sequedad y la humedad a la capacidad del campo.

- Firme

- Friable
- Muy Friable

Consistencia en Seco: Representa la condición del suelo seco al aire.

- Firme
- Friable
- Muy Firme

Poros: Determinan el movimiento de agua y aire en el suelo, su característica está determinada por la estructura. A continuación la clasificación y la respectiva dimensión:

- Finos (0.5 – 2)
- Medios (2 – 5)
- Muy Finos (0.1 – 0.5)
- Gruesos (> 5)

Raíces: Es uno de los componentes que conforman la cantidad de materia orgánica que hay presente en el suelo.

Límites: Determina el límite del horizonte del suelo, considera dos condiciones que son la anchura (espesor) y la topografía de la superficie, los siguientes términos son los que se usan para describir la anchura de límite entre horizontes.

- Abrupto
- Claro
- Difuso
- Gradual

5.2.1.2 Variables Cuantitativas.

Las variables a continuación son resultado de un análisis de laboratorio efectuado con muestras del suelo en estudio. Se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

Acidez (pH): Es una importante propiedad química, porque afecta a la disponibilidad de nutrientes para las plantas y a la actividad de microorganismos en el suelo.

Conductividad Eléctrica (C. E.): Es la evaluación de la salinidad. Los problemas de sales generalmente están asociados con regiones áridas. Suelos con altos niveles de sales solubles son llamados suelos salinos, suelos con alto contenido de sal y de sodio, son llamados suelos Salinos-Sódicos.

Materia Orgánica (MO): Está compuesta por restos de plantas, animales y en general por cualquier resto de materia orgánica muerta que está presente en el suelo.

Capacidad de Intercambio Catiónico (C. I. C.): Es la cantidad total de cationes que el suelo puede intercambiar por unidad de peso. Es una medida de la capacidad del suelo para retener y liberar elementos tales como K, Ca, Mg y Na. Suelos con alta arcilla o Materia Orgánica, tienden a tener una alta CIC. Al CIC también se lo interpreta como la Fertilidad del suelo.

Base de Intercambio: Es el porcentaje de la Capacidad de Intercambio de Cationes que es ocupado por cationes. Suelos con baja base de saturación generalmente son ácidos. La base de saturación y el pH incrementan juntos.

Sodio (Na): No es un nutriente para las plantas, por lo tanto no es necesario para el crecimiento de las plantas. Altos niveles de sodio son perjudiciales para el suelo y el crecimiento de las plantas. Suelos con alto contenido de sodio son llamados suelos Sódicos.

Sodio Intercambiable (% Na): Es el valor del sodio con respecto al C .I .C., en porcentaje.

Potasio (K): Interviene en la floración, aunque es también necesario para el desarrollo. Pude causar deficiencias en Zn o Fe.

El exceso contribuye a las deficiencias de nitrógeno, calcio y magnesio, zinc o hierro.

Calcio (Ca): Interfiere con la absorción de K y NH₄, puede contribuir a deficiencias de magnesio y boro

Un exceso de Ca generalmente origina un aumento del pH que precipita muchos micronutrientes, creando carencias de los mismos

Magnesio (Mg): Puede necesitarse especialmente en suelos ácidos

Los niveles elevados de magnesio suelen producir deficiencia de calcio

Suma Bases de Intercambio: Esta variable representa la suma de valores de los cationes que componen la base de intercambio.

5.2.2 Variables de Interés

De los dos tipos de variables antes mencionados, el estudio solo se basa en analizar las variables de tipo cuantitativo, ya que la finalidad es determinar los tipos de cultivos que son aptos para la zona, según las características químicas y nutrimentos que contiene el suelo de la zona.

Además para el desarrollo análisis Geoestadístico, se cuenta con Softwares que solo trabajan con variables numéricas, las variables de tipo cualitativo se las utiliza como un soporte para la determinación de los tipos de cultivos que pueden desarrollarse en la zona de estudio.

5.3 Método de la Obtención de los Datos.

Para la obtención de los datos del suelo, se hace un reconocimiento de la zona de interés, se cuentan con tomas aéreas de los sectores que componen el área de estudio, para determinar la estructura orográfica de la que está compuesta, luego se prosigue a determinar la técnica de recolección de los datos y conjuntamente a determinar la localización exacta de cada unidad de observación, una vez que se ha realizado el muestreo, se obtiene la muestra del suelo general, mezclando todas las porciones del suelo obtenido, hasta conseguir aproximadamente 1 Kg. de muestra, el que está compuesto por un número determinado de unidades de observación homogeneizadas y representativas del terreno, el que luego es llevado al Laboratorio para determinar las características químicas y nutrientes que lo componen.

5.3.1 Método de Muestreo Aplicado.

Los datos son de Julio de 1997, originarios del sector de Villingota – Zapotal, localizado en las coordenadas 9'739.000 - 9'747.000 y 550.500 – 560.000 con aproximadamente 4000 Has de terreno.

La técnica de muestreo aplicado fue el Muestreo Aleatorio Simple, del cual se obtuvo un total de 37 unidades de observación, denominadas como Calicatas.

CONCLUSIONES

1. En promedio el suelo se caracteriza por poseer, un Rango Neutro de Acidez; por ser Bajo en contenido de sales; tener un Alto contenido de Materia Orgánica; ser Alto en contenido de Fertilidad; Bajo en contenido de Sodio como Cation de Intercambio; Medio en contenido de Potasio, un Alto contenido de Base de Intercambio y Alto en contenido de Calcio y Magnesio
2. Las variables que componen las características químicas y nutrimentos del suelo de la zona de estudio, muestran una dependencia lineal entre ellas.
3. Debido al número de observaciones con que se cuentan para representar las características del suelo de la zona, no se puede obtener una buena estimación para determinar la tendencia que presentan cada una de las variables, por medio de los Variogramas.
4. Los modelos teóricos de Variogramas que describen de mejor manera la tendencia que presentan cada variable son el modelo Lineal, el modelo Exponencial y el modelo Esférico.

5. La mayoría de las variables de interés se han ajustado más al modelo Esférico.
6. Este suelo es óptimo para todo tipo de cultivos, por ser Ligeramente Ácido, Neutro y Débilmente Alcalino, ya que así todos los nutrientes se muestran de una manera razonablemente accesibles y los microorganismos aumentan en el suelo.
7. El suelo de la zona de Villingota – Zapotal se caracteriza por ser de Bajo contenido en sales, aunque se dan sectores que son Medio Salinos. En los sectores que son Medio Salinos se observa, que por ahí pasan los principales ríos de la zona y sus afluentes.
8. El suelo de la zona de Villingota – Zapotal, se caracteriza por ser en su mayoría de Alta concentración de Fertilidad, lo que nos indica que el suelo de este sector es rico en volúmenes de nutrientes.
9. La zona de estudio posee un suelo con un Normal y Alto contenido de concentración de Materia Orgánica, pero se caracteriza por ser principalmente de Alto contenido. El sector donde se encuentra localizado el máximo valor de Alta concentración , se caracteriza por ser de Alta Fertilidad, de Medio contenido de Salinidad y por poseer un Rango Neutro y Neutro de Acidez.

10. Los niveles de concentración de Calcio para el suelo, son de Bajo, Medio y Alto contenido, la zona se caracteriza por ser de un Alto contenido de Calcio.
11. La zona de estudio se caracteriza por tener el suelo en una gran parte de Bajo contenido de Potasio, seguido de Medio y en representaciones muy pequeñas tenemos zonas de Alto y Excesivo contenido de Potasio.
12. Las estimaciones para determinar el nivel de concentración del Sodio como Cation de Intercambio, nos indica que el suelo se caracteriza por ser de Bajo contenido, y de Moderado contenido de Sodio Intercambiable.
13. El suelo de la zona de estudio, se caracteriza por poseer en su mayoría un Alto contenido de concentración de Magnesio.
14. Las estimaciones para la variable Suma de Base de intercambio, califican al suelo como ser de Bajo, Normal Bajo, Normal Alto y Alto contenido.
15. En los sectores Oeste, Sur y Suroeste, no se pueden sembrar ninguno de los cultivos descritos en la tabla del *APÉNDICE K*, debido a que estos sectores presentan niveles Bajos en Salinidad.

RECOMENDACIONES

1. Mapas más actualizados, el resultado del análisis está basado en información que fue obtenida en Julio de 1997.
2. Hacer un análisis de Muestreo más profundo, para poder obtener un tamaño de muestra más densa, que sea representativa a la extensión del área de estudio.

A continuación, se determinan una serie de cultivos que son aptos para el suelo de la zona de Villingota – Zapotal; se los ha determinado considerando la temperatura que se da en la zona de estudio y la tolerancia que presentan hacia los niveles de concentración, que son resultado de las estimaciones que se realizó para las variables.

3. En el sector Norte se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón

(Germinación), Arveja, Maní, y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez Débilmente alcalino y Rango neutro, Bajo y Medio contenido de salinidad, bajo y Moderado contenido de Sodio Intercambiable que son tolerados por estos cultivos

4. En el sector Noreste se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja y Maní, ya que el suelo presenta niveles de acidez Débilmente Alcalinos, Neutro y Rango Neutro, además también presenta Bajo y Medio contenido de sales y posee un nivel Bajo en Sodio Intercambiable.
5. En el sector Noroeste, se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní, Naranja y Trigo, ya que el suelo presenta niveles de acidez Débilmente alcalino, Neutro y Rango neutro, además también presenta niveles Bajo y Medio de Salinidad y niveles de Sodio Intercambiable Bajo y Moderado.
6. En el sector Centro, se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón,

Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya, Yuca, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní y Trigo, ya que el suelo presenta niveles de acidez Rango Neutro, Neutro, Ligeramente Ácido, Débilmente Alcalino; contenidos Bajo y Medio en salinidad; Bajo y Moderado contenido en Sodio Intercambiable

7. En el Este, se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja y Maní, ya que el suelo presenta niveles de acidez Débilmente Alcalino, Rango Neutro, Neutro; además el suelo presenta Bajo y Medio contenido de Salinidad y posee un Bajo contenido en Sodio Intercambiable.

8. En el Oeste, se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya, Yuca, Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maní, Naranja y Trigo, ya que el suelo se presenta niveles de acidez Rango Neutro y Ligeramente Ácido y un Moderado contenido de Sodio Intercambiable.

9. En el Sur, se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maní, Naranja y Trigo, ya que el suelo presenta niveles de acidez Rango Neutro y Neutro y posee un contenido Moderado de Sodio Intercambiable.

10. En el Sureste, se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya, Yuca, Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz Dulce, Naranja, Papa, Uva, Algodón (Germinación), Arveja, Maní y Trigo ya que el suelo presenta niveles de acidez Ligeramente Ácido, Débilmente Alcalino, Neutro y Rango Neutro; además el suelo presenta contenidos Bajo y Medio de Salinidad; contenidos Bajo y Moderado de Sodio Intercambiable.

11. En el Suroeste, se puede cultivar Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano, Sorgo, Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maní, Naranja y Trigo ya que el suelo presenta niveles de acidez Rango neutro y Neutro y moderado contenido de Sodio Intercambiable.

BIBLIOGRAFÍA

Por: Urbano Pedro y Moro Rafael.
Sistemas Agrícolas con Rotaciones y Alternativas de Cultivos.

Enciclopedia Práctica de La Agricultura y Ganadería.

Biblioteca de la Agricultura
Lexus (Impreso en España. Emege Industria Gráfica).

Editado por: F. Merriam Daniel.
Geostatistics a Colloquium
Chief of Geologic Research
Kansas Geological Survey, La Universidad de Kansas .
Plenum Press. New York – London 1970.

Editado por: David Michel.
Geostatistical Ore Reserve Estimation
Developments in Geomathematics 2)
Ámsterdam Oxford New – York 1977.

Editado por: Goovaerts Pierre
Geostatistics for Natural Resources Evaluation
New – York Oxford
Oxford University Press 1997

Archivo PDF: Guía interpretación Prueba de Suelos
[http:// www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/components](http://www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/components)

[http:// www.cache.nmsu.edu/](http://www.cache.nmsu.edu/)

<http://ncagr.com/cyber/kidswrld/plant/nutrient.htm#top>

<http://docum.com/jardin/index.htm>

Libro: Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el litoral ecuatoriano.

Manual técnico #26

Estación experimental Pichilingue

Dic. de 1992

INIAP

Libro: Manual Agrícola (Agripac) segunda edición 1992.

Libro: Recomendaciones de Fertilización para los principales cultivos del Ecuador.