T
519.52
GON

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Ingeniería en Estadística Informática

"Geoestadística Aplicada a la Clasificación de Suelos para Cultivos"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de

INGENIERA EN ESTADISTICA INFORMATICA

PRESENTADA POR:

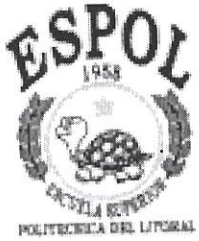
Mariela Alexandra González Narváez

ESPOL
CIB
D-27976

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2002

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL CIB · ESPOL



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Ingeniería en Estadística Informática

"Geoestadística Aplicada a la Clasificación de Suelos para Cultivos"

TESIS DE GRADO

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL CIB ESPOL

Previo la obtención del Título de:

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL CIB · ESPOL

INGENIERA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

Presentada por:

Mariela Alexandra González Narváez.

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2002

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL CIB · ESPOL

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL CIB · ESPOL

AGRADECIMIENTO

Agradezco al M. Sc. Guerrero por la guía y sus conocimientos que me brindo para la realización de esta tesis, al M. Sc. Zurita por que siempre ha sabido forjarnos e inculcarnos las nociones y las bases fundamentales para nuestro desarrollo profesional y personal, y de una manera muy en especial a mis padres y a Dios por que siempre me consagraron su apoyo incondicional depositando su confianza en mi, y a todas aquellas persona que hicieron posible la realización de este trabajo.

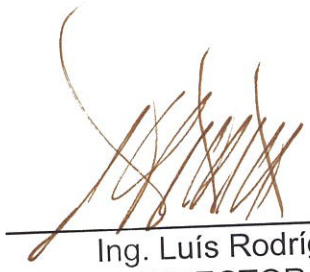
A todos ellos

Muchas Gracias.

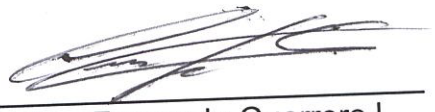
DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS, a mis PADRES, a mis HERMANOS y a OMAR por que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo.

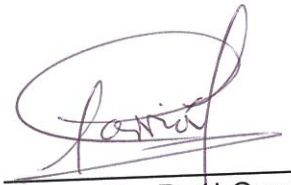
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Luís Rodríguez
SUB - DIRECTOR DEL ICM
PRESIDENTE



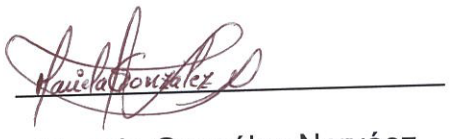
M. Sc. Fernando Guerrero L.
DIRECTOR DE TESIS



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 nutrimentos 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 nutrimentos que se encuentran presentes.

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

nivel de fertilidad de la zona de estudio; se realizan las respectivas estimaciones de los niveles de concentración presentes en cada una de las variables de interés, con sus correspondientes mapas, 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.

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

ESPOL CIB ESPOL

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 Metereología e Hidrología
Inter.	Interpretación
Interc.	Intercambio
K	Potasio
Kg.	Kilogramo.
Lig.	Ligeramente
Máx.	Máximo
Medn.	Mediana
Meq.	Miliequivalentes
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
T. C.	Typic Camborthid
T. P.	Typic Paleargid
T. T.	Typic Torriorthent
T. To	Typic Torrifluvent
Var.	Varianza
V. C.	Vetic Camborthid
V. T.	Vertic Torrifluvent

SIMBOLOGÍA

% Na	Sodio Intercambiable
$2\hat{\gamma}(h)$	Estimación del variograma
$2\gamma(h)$	Variograma
A	Horizonte de perfil
a	Menor rango de anisotropía
a_θ	Rango
a_Φ	Mayor rango de anisotropía
B	Horizonte de perfil
C	Horizonte de perfil
C1	Escala
Co	Efecto Nugget
Fe_2O_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
$\gamma(h)$	Semivariograma
θ	Angulo de dirección
λ	Peso asignado
Σ	Sumatoria
Φ	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 varia 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.

ESPOL 1958 POLITECNICA DEL LITORAL CIB ESPOL

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.

ESPOL 1958 POLITECNICA DEL LITORAL CIB ESPOL

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.

ESPOL 1958 POLITECNICA DEL LITORAL CIB ESPOL

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 varia 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 hiero 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.

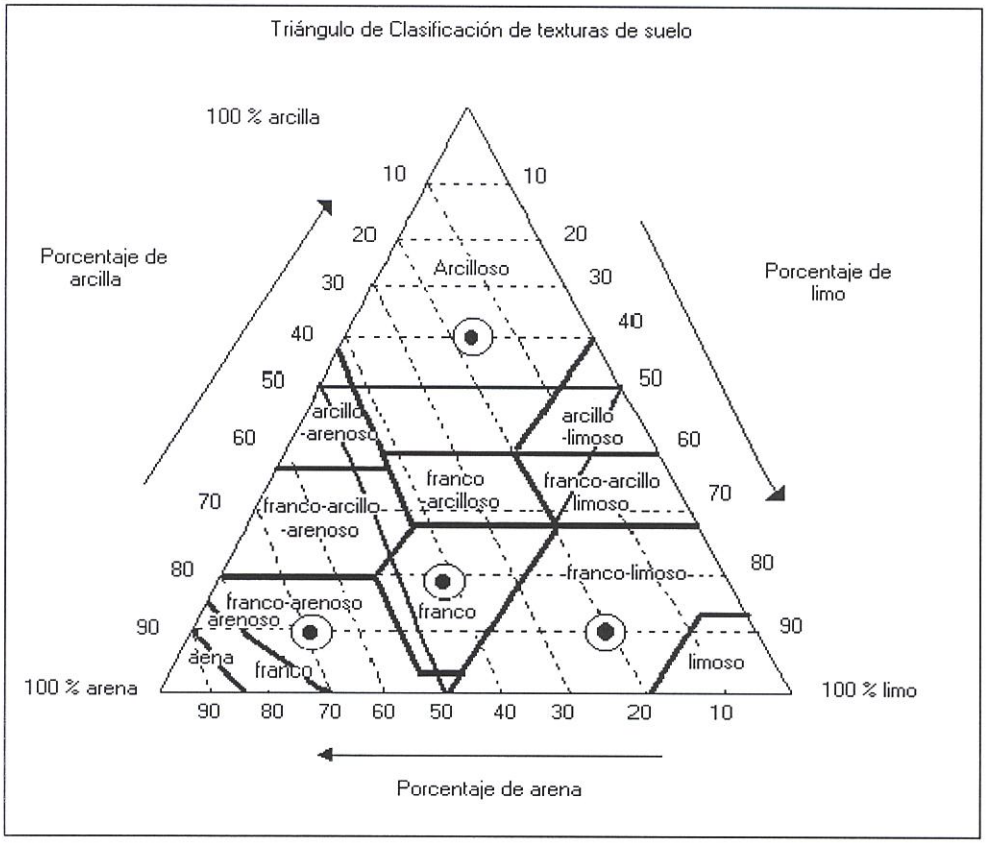
1.5. Textura del Suelo.

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 encuentra 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.

ESPOL 1958 CIB ESPOL

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.

ESPOL 1958 CIB - ESPOL

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, 1980ª,b; Webster & Burguess,1980 Burguess et al, 1981; McBratney & Webster, 1983ª, 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

ESPOL 1958 CIB ESPOL

Información Geográficos con técnicas geoestadísticas en la estimación de índices de sitio de Pinus radiata en Nueva Zelandia.

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 continúo.

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. Está función es llamada *"Variable Regionalizada"*, p. ej. puede ser la consistencia de un deposito en un punto, o la gravedad especifica 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.

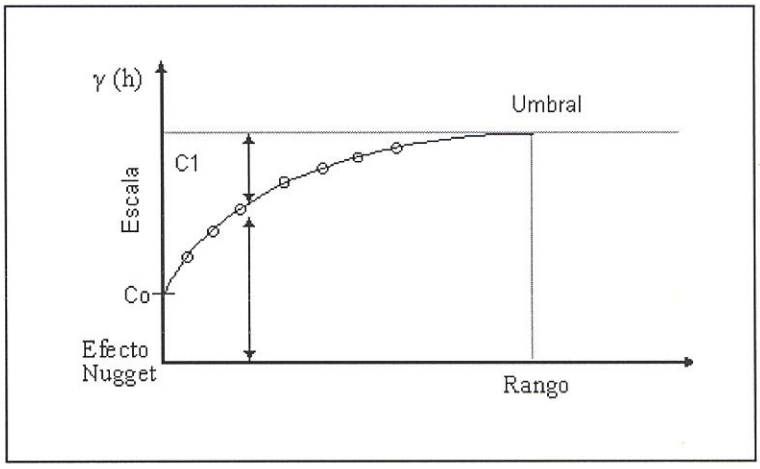
La idea básica de la teoría es considerar a tal función *z(x), d*onde x es un punto o un vector en R^n , como una realización de una función aleatoria Z(X). Solo se tiene una realización de aquella función aleatoria, el fin es encontrar las características de la función aleatoria Z(X) para hacer las 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 R*ango*. El Sill de un variograma, puede ser denotado como la varianza de la muestra.

Escala (C1): Es el valor tal que; C1 + Co = Sill.

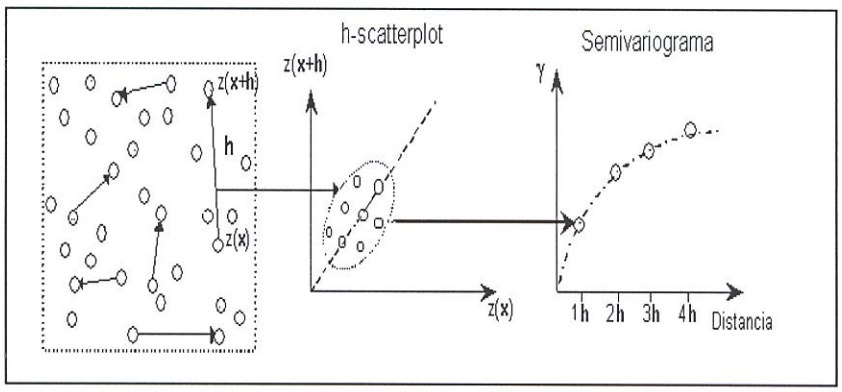
Rango (a): Es la distancia dentro de la cual, las muestras están correlacionadas espacialmente.

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:

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

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:

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

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:

- Modelo Esférico.

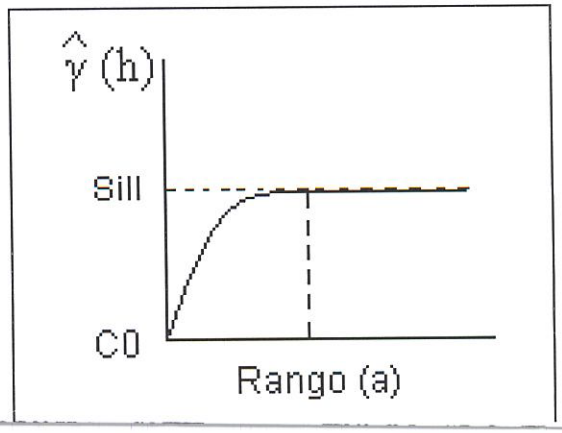
  Está representado por la ecuación siguiente:

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

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

FIGURA 2.6.2.1.

GRÁFICO MODELO ESFÉRICO.



- Modelo Exponencial:

Está representado por la ecuación siguiente:

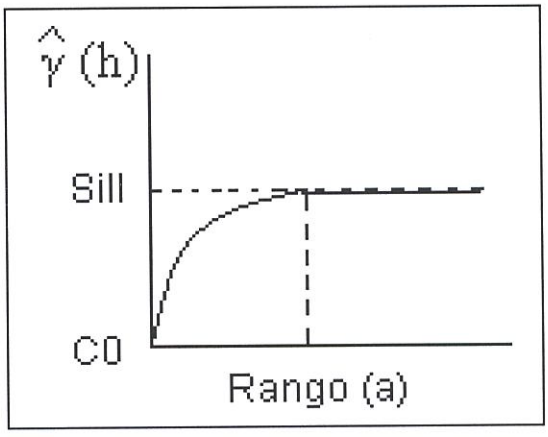
$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ;|h| = 0 \\ C0 + C1\left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right)\right] & ; h \neq 0 \end{cases}$$

ESPOL CIB ESPOL

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

FIGURA 2.6.2.2.

GRÁFICO MODELO EXPONENCIAL.



ESPOL CIB ESPOL

- Modelo Gaussiano:

ESPOL

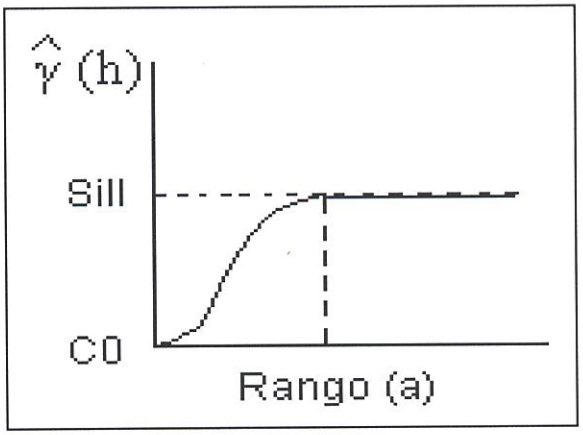
Está representado por la ecuación siguiente:

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

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

FIGURA 2.6.2.3.

GRÁFICO MODELO GAUSSIANO.



- Modelo Lineal.

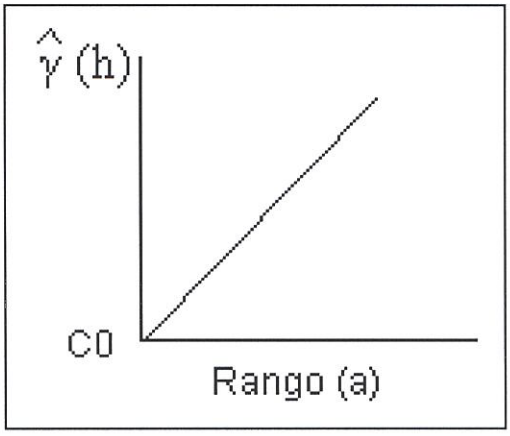
Está representado por la ecuación siguiente:

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

No posee valor S*ill*, 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.



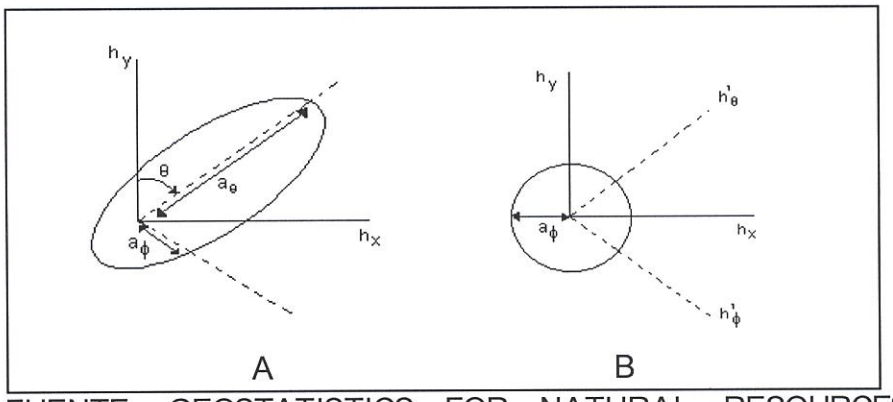
2.7. Anisotropía.

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 S*ill* 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.

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

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

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.

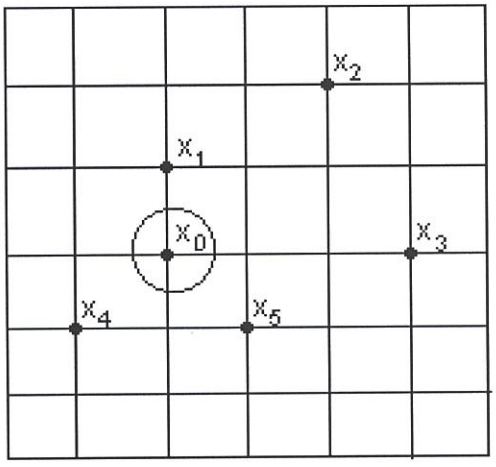
Hay dos tipos de Kriging, el de Punto y el de Bloque, lo cuales generan unas cuadrículas de interpolación.

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 .

ESPOL
CIB ESPOL

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.

ESPOL
CIB ESPOL

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,

ESPOL
CIB ESPOL

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 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, 1980ª,b; Webster & Burguess,1980 Burguess et al, 1981; McBratney & Webster, 1983ª, 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 Zelandia.

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 continúo.

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. Está función es llamada *"Variable Regionalizada"*, p. ej. puede ser la consistencia de un deposito en un punto, o la gravedad especifica 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.

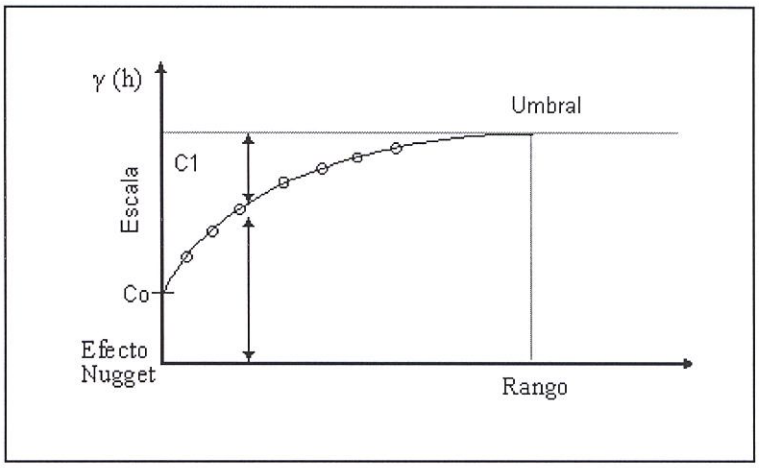
La idea básica de la teoría es considerar a tal función *z(x), d*onde x es un punto o un vector en R^n , como una realización de una función aleatoria Z(X). Solo se tiene una realización de aquella función aleatoria, el fin es encontrar las características de la función aleatoria Z(X) para hacer las 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 R*ango*. El Sill de un variograma, puede ser denotado como la varianza de la muestra.

Escala (C1): Es el valor tal que; C1 + Co = Sill.

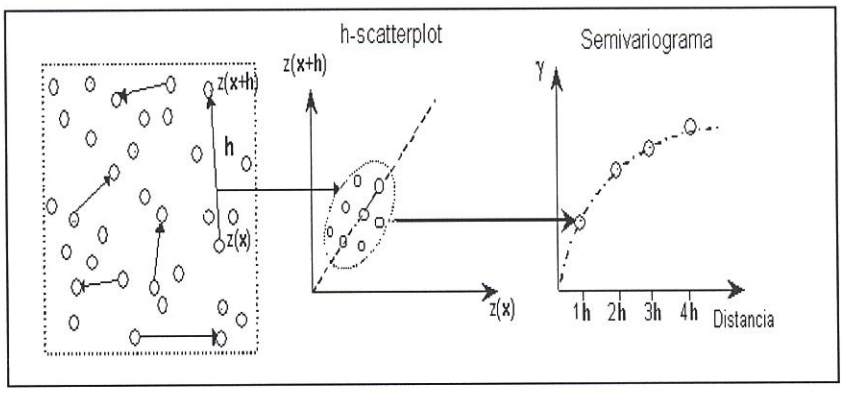
Rango (a): Es la distancia dentro de la cual, las muestras están correlacionadas espacialmente.

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:

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

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:

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

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:

ESPOL
CIB ESPOL

- Modelo Esférico.

  Está representado por la ecuación siguiente:

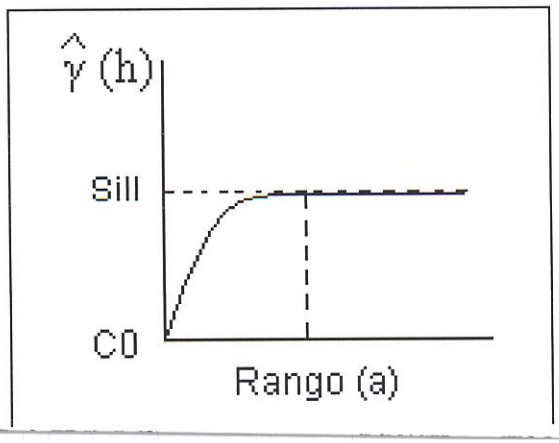
$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0 & ;|h| = 0 \\ C0 + C1\left[\frac{3}{2}\left(\frac{|h|}{a}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{|h|}{a}\right)^3\right] & ;0 < h < a \\ C0 + C1 & ;|h| > a \end{cases}$$

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

FIGURA 2.6.2.1.

GRÁFICO MODELO ESFÉRICO.

ESPOL
CIB ESPOL



- Modelo Exponencial:

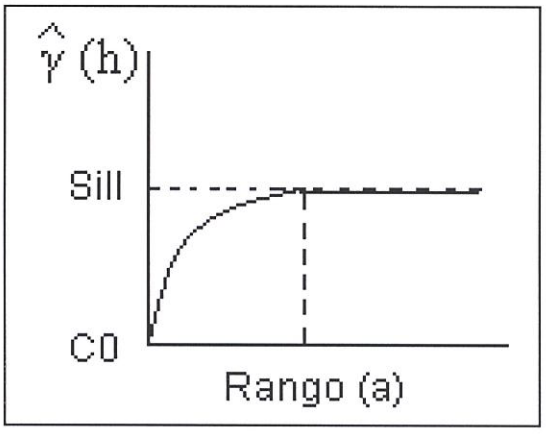
Está representado por la ecuación siguiente:

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

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

FIGURA 2.6.2.2.

GRÁFICO MODELO EXPONENCIAL.



- Modelo Gaussiano:

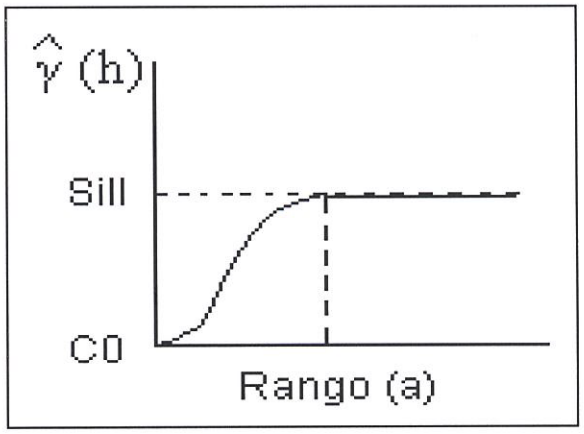
Está representado por la ecuación siguiente:

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

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

FIGURA 2.6.2.3.

GRÁFICO MODELO GAUSSIANO.



- Modelo Lineal.

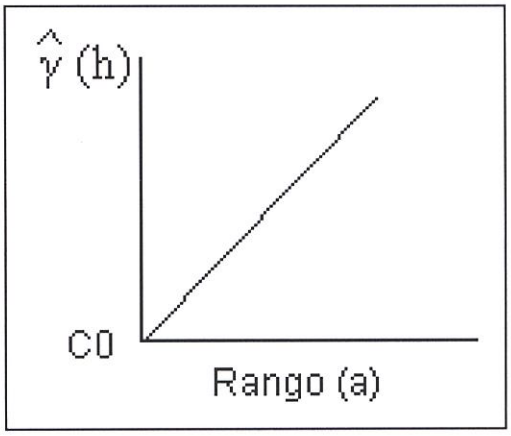
Está representado por la ecuación siguiente:

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

No posee valor S*ill*, 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.



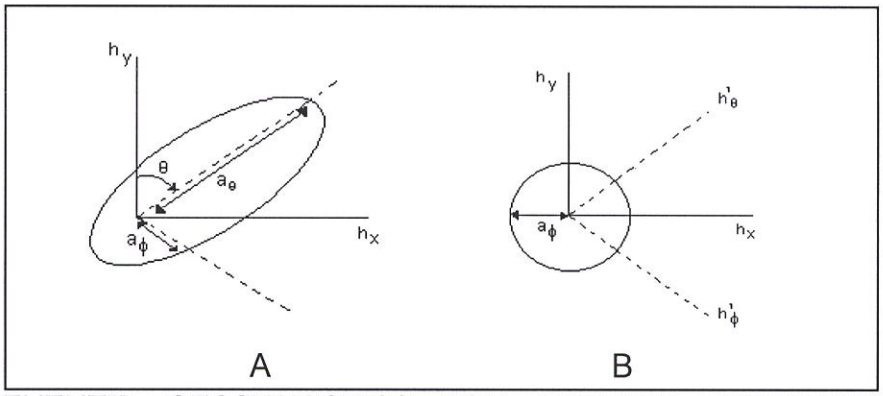
2.7. Anisotropía.

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 S*ill* 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.

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

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

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.

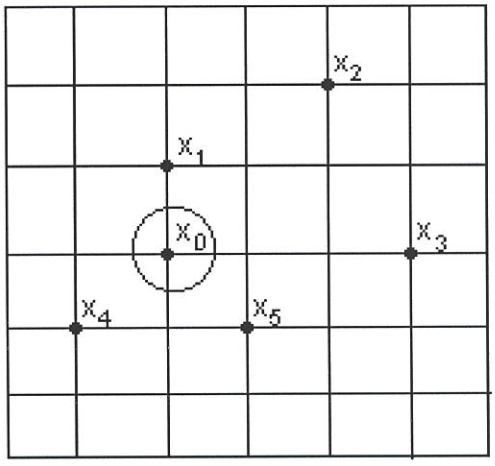
Hay dos tipos de Kriging, el de Punto y el de Bloque, lo cuales generan unas cuadrículas de interpolación.

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.

ESPOL CIB · ESPOL

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.

ESPOL CIB · ESPOL

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.

ESPOL CIB · ESPOL

El cambiar el valor de S*ill*, 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.

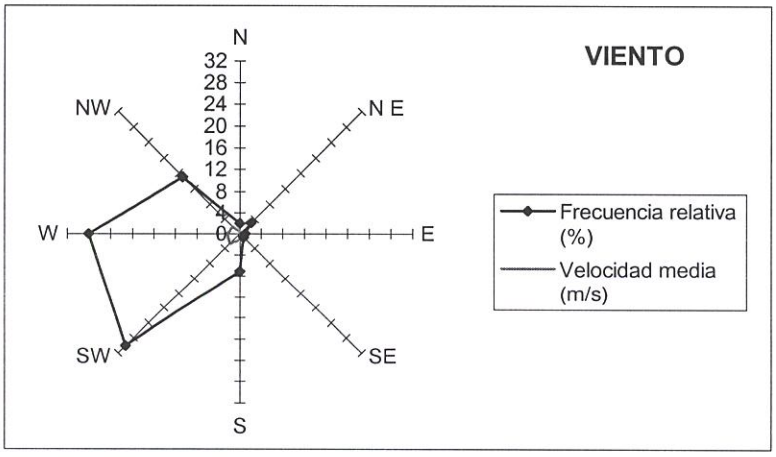
La zona de estudio Villingota – Zapotal esta conformada aproximadamente de 4.000 Has. de terreno, la posición geográfica

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.



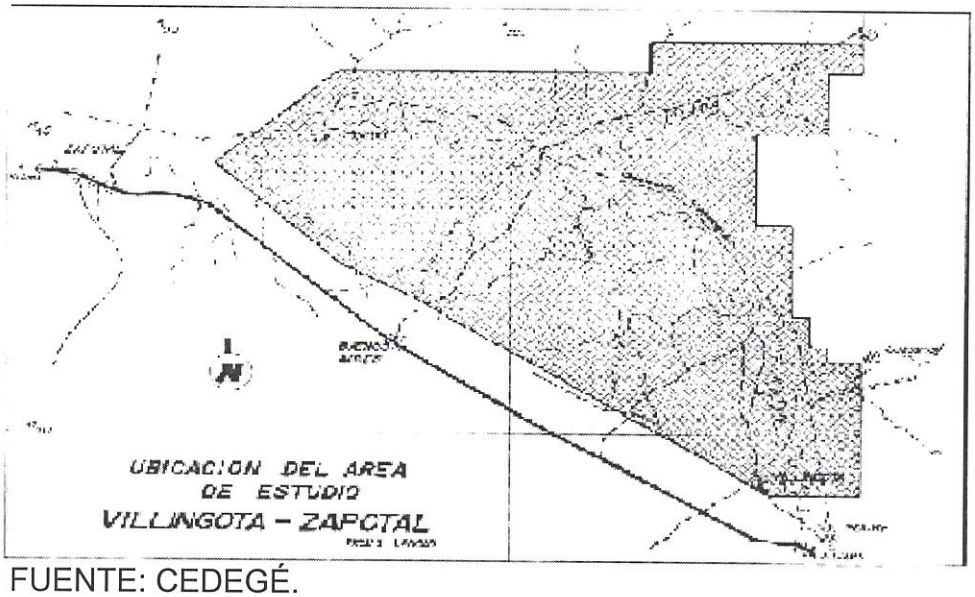
FUENTE: INAMHI.

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 nivele 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

- 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

- 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

- 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

ESPOL
CIB ESPOL

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

ESPOL
CIB ESPOL

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.
- Inclinada.
- 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 riego 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. Torrifluvent.
- Typic. Camborthid.
- Typic. Paleargid.
- Typic. Torrifluvent.
- 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 todos 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.

CAPÍTULO 6

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

6.1. Introducción.

En el presente capítulo se realiza el análisis Estadístico y Geoestadístico del comportamiento que presentan cada una de las variables que determinan las características químicas y nutrientes del suelo.

El estudio Estadístico está comprendido por los análisis Univariado y Bivariado, el análisis Multivariado no se lo realiza ya que solo se cuenta con 9 variables de interés y con 37 unidades de observación.

El estudio Geoestadístico analiza y estima los fenómenos espaciales, basados en el comportamiento que presentan las variables de interés en la zona determinada, para este fin se establecen modelos que describen la tendencia que muestran dichas variables. También se generan estimaciones para determinar la concentración de estos nutrimentos en áreas donde no se realizó el levantamiento de información.

6.2. Análisis Univariado:

En el *APÉNDICE E*, se presenta una tabla en la que se detalla cada uno de los valores obtenidos en el análisis Univariado, para cada una de las variables de interés.

De acuerdo con esta tabla se puede observar que el comportamiento de cada variable es:

Acidez.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (7.162) de pH, el valor medio de contenido de pH es de (7.000), la variación de acidez es de (0.187), los valores de acidez presentes varían de la media en (0.432), un coeficiente de variación de (0.060), muestra una leve presencia de sesgo

de (0.193) y una picudez en la curva de los valores (-1.494) , los Mínimos y Máximos valores de acidez respectivamente son de 6.6 y 7.7.

Salinidad.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (0.532) de C. E., el valor medio de contenido de salinidad es de (0.40), la variación es (0.119) de contenido de C. E.,los valores de la salinidad presentes varían de la media en (0.346), un coeficiente de variación de (0.649), muestra una presencia de sesgo de (1.831) y una picudez en la curva de distribución de los valores (1.584), los Mínimos y Máximos valores de salinidad respectivamente son de 0.3 y 1.3.

Materia Orgánica.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (3.200) de MO, el valor medio de contenido de MO es de (3.800), la variación es (0.64) de contenido de MO, los valores de varían de la media en (0.80), un coeficiente de variación de (0.25), presenta una presencia de sesgo de (-0.604) y una picudez en la curva de distribución de los valores (-1.580), los Mínimos y Máximos valores de materia orgánica respectivamente son de 2.0 y 4.0

Fertilidad.

Esta variable, presenta una cantidad promedio de (30.919) de C. I. C., el valor medio de contenido de C. I. C. es de (37.00), la variación es (103.799) de contenido de fertilidad, los valores de la fertilidad presentes varían de la media en (10.188), un coeficiente de variación de (0.33), presenta una presencia de sesgo de (-1.078) y una picudez en la curva de distribución de los valores (-0.303), los Mínimos y Máximos valores de fertilidad respectivamente son de 12.0 y 41.0.

Sodio.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (2.541), el valor medio de contenido de sodio es de (2.00), la variación es (2.111) de contenido de Na, los valores del sodio presentes varían de la media en (1.453), un coeficiente de variación de (0.572), presenta una presencia de sesgo de (-0.187) y una picudez en la curva de distribución de los valores (-1.671), los Mínimos y Máximos valores de sodio respectivamente son de 0.4 y 4.0.

Sodio Intercambiable.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (9.131), el valor medio de contenido de sodio en porcentaje del CIC es de (10.811), la variación es (27.281) de contenido de Na en porcentaje, los valores del porcentaje de sodio presentes varían de la media en (5.223), un coeficiente de variación de (0.572), presenta una presencia de sesgo de (-0.133) y una picudez en la curva de distribución de los valores (-1.082), los Mínimos y Máximos valores de sodio en porcentaje respectivamente son de 0.976 y 16.667.

Potasio.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (0.549), el valor medio de contenido de potasio es de (0.40), la variación es (0.591) de contenido de K, los valores del potasio presentes varían de la media en (0.769), un coeficiente de variación de (1.401), presenta una presencia de sesgo de (2.769) y una picudez en la curva de distribución de los valores (6.970), los Mínimos y Máximos valores de potasio respectivamente son de 0.1 y 3.0.

Calcio.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (24.405), el valor medio de contenido de calcio es de (29.000), la variación es (81.970) de contenido de Ca, los valores de calcio presentes varían de la media en (9.054), un coeficiente de variación de (0.371), presenta una presencia de sesgo de (-1.225) y una picudez en la curva de distribución de los valores (0.111), los Mínimos y Máximos valores de calcio respectivamente son de 7.0 y 35.0.

Magnesio.

Esta variable presenta un promedio de (2.784), el valor medio de contenido de magnesio es de (3.000), la variación es (0.452) de contenido de Mg. ,los valores del magnesio presentes varían de la media en (0.672), un coeficiente de variación de (0.241), presenta una presencia de sesgo de (0.283) y una picudez en la curva de distribución de los valores (-0.714), los Mínimos y Máximos valores de magnesio respectivamente son de 2.0 y 4.0.

Base de Intercambio.

Esta variable presenta una cantidad promedio de (30.278), el valor medio de contenido en la base de intercambio es de (36.400), la variación es (107.057) de contenido de esta variable, los valores de la base de intercambio presentes varían de la media en (10.347), un coeficiente de variación de (0.342), presenta una presencia de sesgo de (-1.075) y una picudez en la curva de distribución de los valores (-0.33), los Mínimos y Máximos valores de bases de intercambio respectivamente son de 11.1 y 40.400.

6.2.1. Histogramas.

A continuación se detalla La interpretación de los histogramas presentados en el *APÉNDICE F* para cada variable respectivamente.

El histograma para la variable acidez indica que los datos están agrupados hacia la izquierda de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de 0.193; el coeficiente negativo de la kurtosis (–1.494), revela que la función de densidad de esta variable es más

baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos de la acidez están más dispersos.

El histograma para la variable salinidad indica que los datos están agrupados hacia la izquierda de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de 1.831; el coeficiente positivo de la kurtosis (1.584), revela que la función de densidad de esta variable es más alta con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos de la salinidad están más dispersos.

El histograma para la variable materia orgánica indica que se da una alta agrupación de datos en uno de los niveles de concentración con respecto a los demás, también vemos que los datos están agrupados hacia la derecha de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de –0.604; el coeficiente negativo de la kurtosis (–1.580), revela que la función de densidad de esta variable es más baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos de la materia orgánica están más dispersos.

El histograma para la variable fertilidad indica que se da una alta agrupación de datos en uno de los niveles de concentración con respecto a los demás, además se observa que los datos están agrupados hacia la derecha de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de –1.078; el coeficiente negativo de la kurtosis (–0.303), revela que la función de densidad de esta variable es más baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos de la fertilidad están más dispersos.

El histograma para la variable sodio indica que se da una alta agrupación de datos en uno de los niveles de concentración con respecto a los demás, además se observa que los datos están agrupados hacia la derecha de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de –1.187; el coeficiente negativo de la kurtosis (–1.671), revela que la función de densidad de esta variable es más baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos del sodio están más dispersos.

El histograma para la variable porcentaje de sodio indica que los datos están agrupados hacia la derecha de la media, esto es

ratificado por el valor del sesgo de –0.133 el cual señala que los datos tienen tienden hacia los niveles más altos de concentración del porcentaje sodio; el coeficiente negativo de la kurtosis (–1.082), revela que la función de densidad de esta variable es más baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos del porcentaje de sodio están más dispersos.

El histograma para la variable potasio indica que se da una alta agrupación de datos en uno de los niveles de concentración con respecto a los demás, además se observa que los datos están agrupados hacia la izquierda de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de 2.769; el coeficiente positivo de la kurtosis (6.970), revela que la función de densidad de esta variable es más alta con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos del potasio están menos dispersos.

El histograma para la variable calcio indica que los datos están agrupados hacia la derecha de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de –1.225; el coeficiente positivo de la kurtosis (0.111), revela que la función de densidad de esta variable es más

alta con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos del calcio están menos dispersos.

El histograma para la variable magnesio indica que los datos están agrupados hacia la izquierda de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de 0.283; el coeficiente negativo de la kurtosis (–0.714), revela que la función de densidad de esta variable es más baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos de la magnesio están más dispersos.

El histograma para la variable de intercambio indica que se da una alta agrupación de datos en uno de los niveles de concentración con respecto a los demás, además se observa que los datos están agrupados hacia la derecha de la media, esto es ratificado por el valor del sesgo de –1.075; el coeficiente negativo de la kurtosis (–0.330), revela que la función de densidad de esta variable es más baja con respecto a la variable aleatoria normal, es decir que los datos de la variable de intercambio están más dispersos.

6.3. Análisis Bivariado

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

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

6.3.1. Análisis de Dependencia

Se observa que entre las variables de estudio se da una dependencia lineal, debido al coeficiente da la covarianza y de la correlación que se da entre cada una de ellas.

La covarianza mide el grado de variación de una variable con respecto a la otra y el coeficiente de correlación mide el grado de la dependencia lineal entre dos variables.

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. *(VER APÉNDICE G)*

Cuando el coeficiente de la covarianza entre dos variables es negativo, nos indica que el nivel de concentración de la una variable decrece a medida que aumenta el nivel de concentración de la otra variable. *(VER APÉNDICE G)*

A continuación se describen las variables que presentan una alta dependencia lineal entre ellas. (*VER APÉNDICE H)*

El coeficiente de correlación entre el Porcentaje de Sodio y la Materia Orgánica es de –0.618, lo que indica que hay una alta dependencia lineal entre estas variables.

El coeficiente de correlación entre el Calcio y la Fertilidad es de 0.991, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

El coeficiente de correlación entre el Magnesio y la Fertilidad es de 0.764, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

El coeficiente de correlación entre la Base de Intercambio y la Fertilidad es de 1.000, debido a que la Base de Intercambio está

compuesta de nutrimentos, que son los que determinan el nivel de Fertilidad en el suelo.

El coeficiente de correlación entre el Calcio y el Porcentaje de Sodio es de -0.636, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

El coeficiente de correlación entre el Magnesio y el Potasio es de 0.671, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

El coeficiente de correlación entre el Magnesio y el Calcio es de 0.736, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

El coeficiente de correlación entre la Base de Intercambio y el Calcio es de 0.99, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

El coeficiente de correlación entre la Base de Intercambio y el Magnesio es de 0.768, lo que indica que entre estas dos variables se da una alta dependencia lineal.

Para una mejor percepción de la interpretación de este coeficiente, (*VER EL APÉNDICE I*) . En el gráfico se presentan las correlaciones entre las diferentes variables; las que presentan el coeficiente más significativo, la elipse tiende a convertirse en una recta, tal como lo muestra la correlación entre las variables Fertilidad y Base de Intercambio.

6.4. Análisis Geoestadístico.

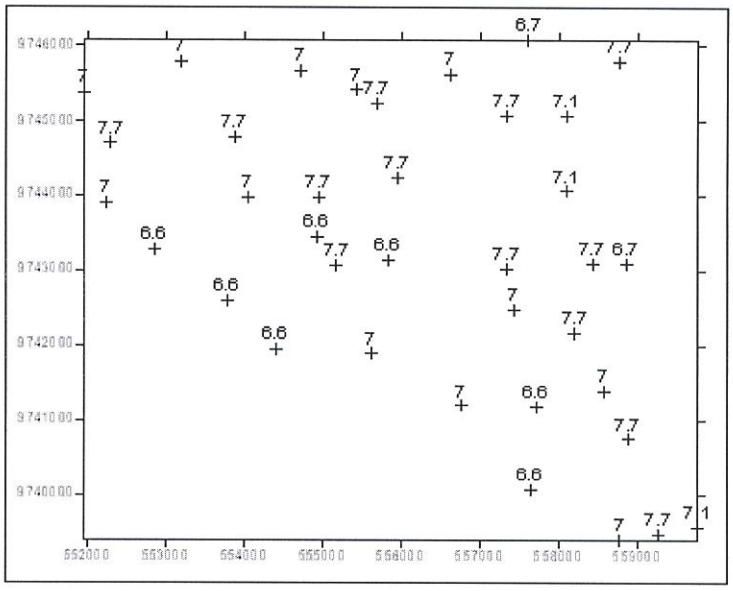
En este análisis, se determina el comportamiento espacial que presentan cada una de las variables de interés, este comportamiento se lo representa por medio de un ajuste a los modelos teóricos antes detallados en el Capítulo 2, una vez determinados los modelos se procede a realizar las estimaciones para el nivel de concentración en el suelo, y poder así tener un mejor conocimiento de las características que describen al suelo de la zona. Para determinar el modelo de variograma que mejor describe el comportamiento de la variable, se escogió el variograma de Menor Suma Cuadrática del Error.

Acidez.

Para la variable acidez, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de pH, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.pH.1.

CONCENTRACIÓN DE pH EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.

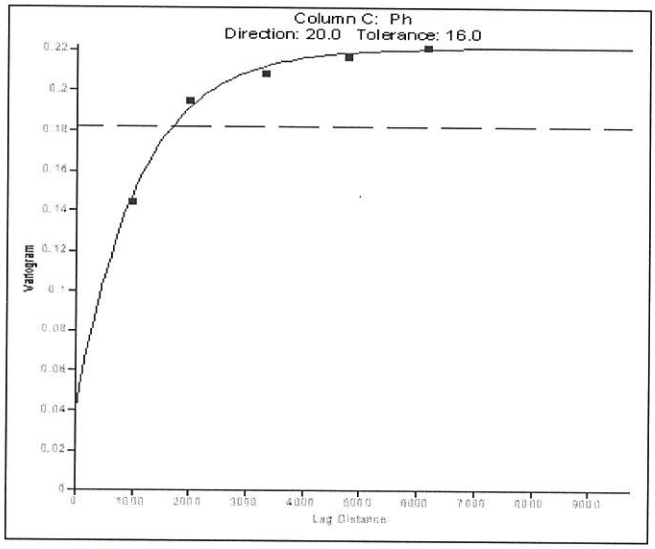


El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de acidez presente en el suelo, es el modelo Exponencial con una Dirección de 20.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 16.0°, un valor Efecto Nugget de 0.04, una Escala de 0.181 y un Rango de 1100.0.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 0.1818.

FIGURA 6.4.pH.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA EXPONENCIAL.



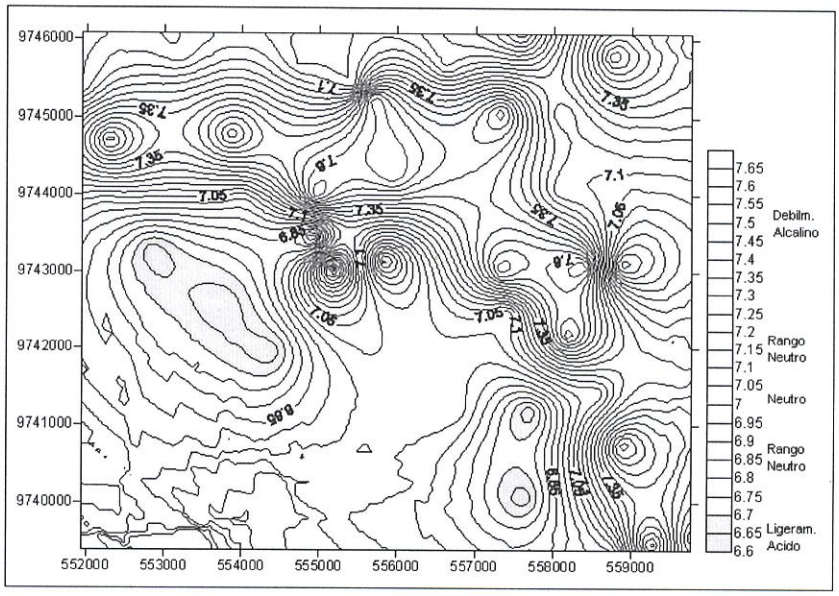
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable, dieron como resultado que la zona de estudio, se caracteriza por tener niveles de acidez de 6.6 a 6.65 que es considerado Ligeramente ácido, de 6.7 a 7.25 Rango Neutro, un valor de 7.0 que es Neutro y un valor de 7.3 a 7.65 que es Débilmente Alcalino.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.pH.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE pH.



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

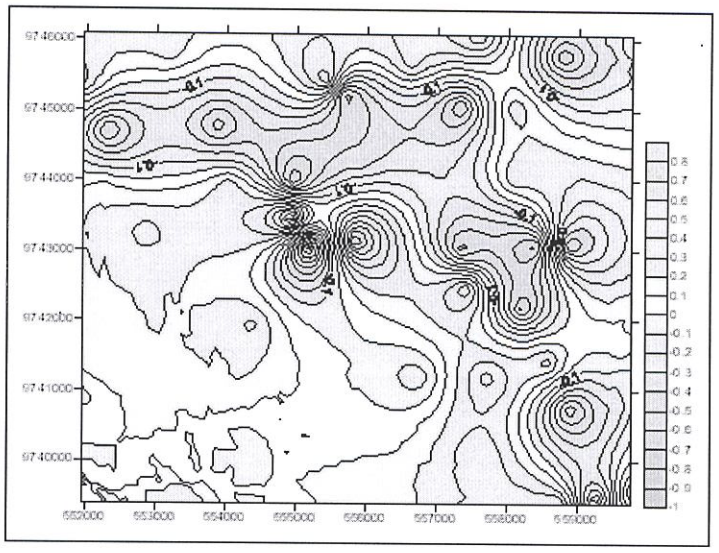
Los máximos y mínimos valores de concentración de pH resultados de la estimación, están indicados en el gráfico con una línea color azul, el mínimo valor de 6.6 está ubicado en el sector Oeste y los máximos valores de 7.65 están ubicados en las zonas Noreste – Noroeste y Sureste.

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

Para tener una mayor percepción de la cantidad de acidez presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para la acidez, como podemos ver una parte de los sectores Noroeste, Noreste y Sureste se caracterizan por ser Ligeramente Ácidos.

FIGURA 6.4.pH.4.

EL NIVEL DE pH, EN LAS ESTIMACIONES.



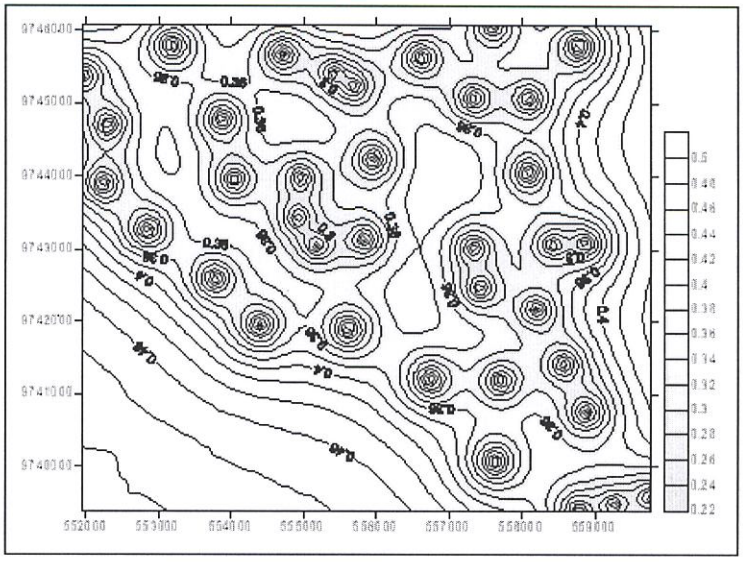
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector posee un rango neutro según los niveles de acidez estimados.

FIGURA 6.4.pH.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



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

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.22 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y el máximo valor de 0.5 está localizado en el sector

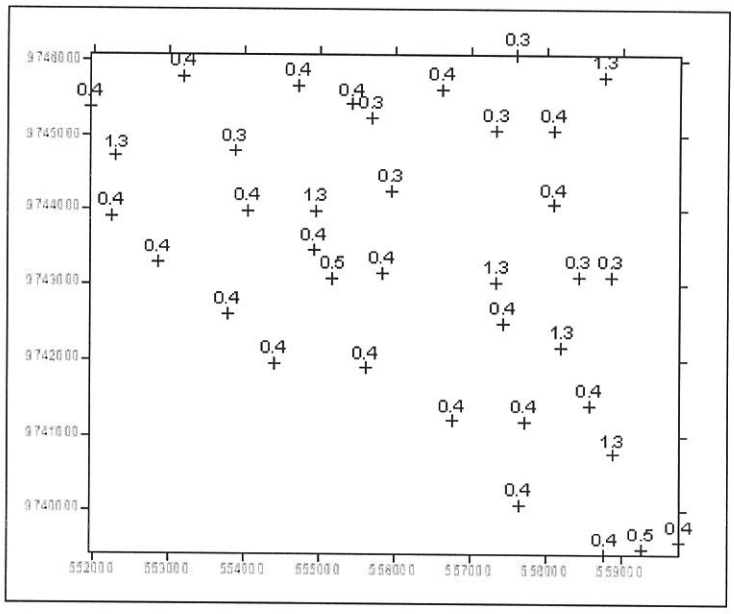
Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Salinidad.

Para la variable salinidad, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de Ce, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.CE.1.

CONCENTRACIÓN DE CE, EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.



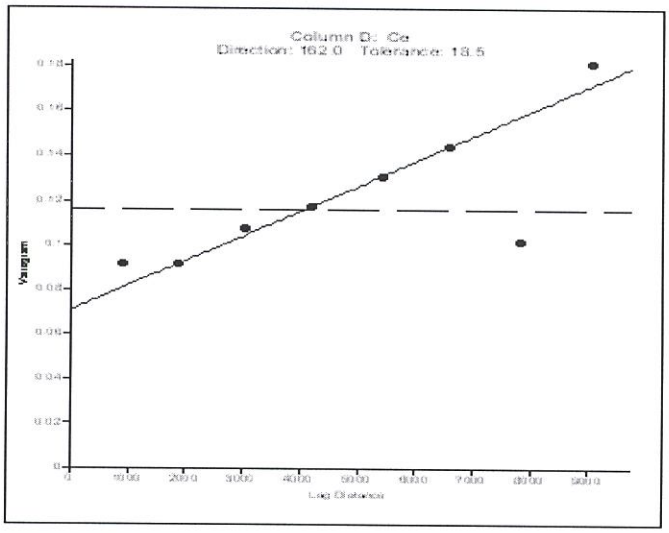
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de salinidad presente en el suelo, es el modelo Lineal con una Dirección de 162.0°

(NO-SE), una Tolerancia Angular de 18.5°, un valor Efecto Nugget de 0.0711, una Pendiente de 0.00001111.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 0.1162.

FIGURA 6.4.CE.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA LINEAL.



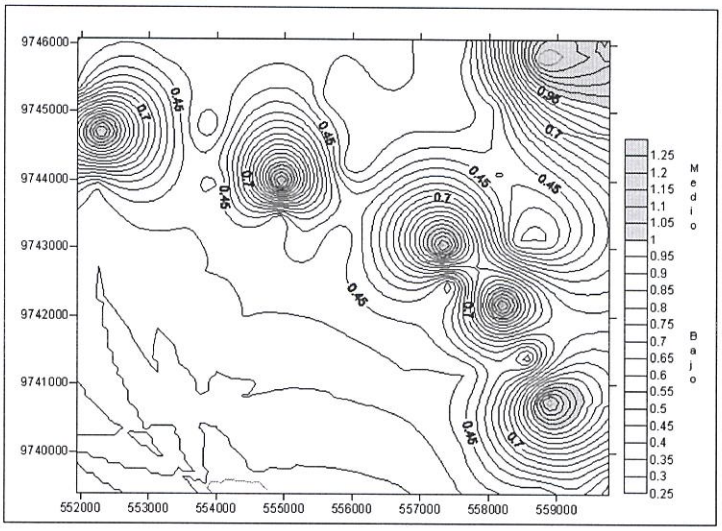
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de Baja salinidad que son < 1.0 y niveles Medio de Salinidad > 1.0.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.CE.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE C. E.



Los mínimos y máximos valores de la concentración de salinidad estimados, están representados por los contornos de color lila.

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

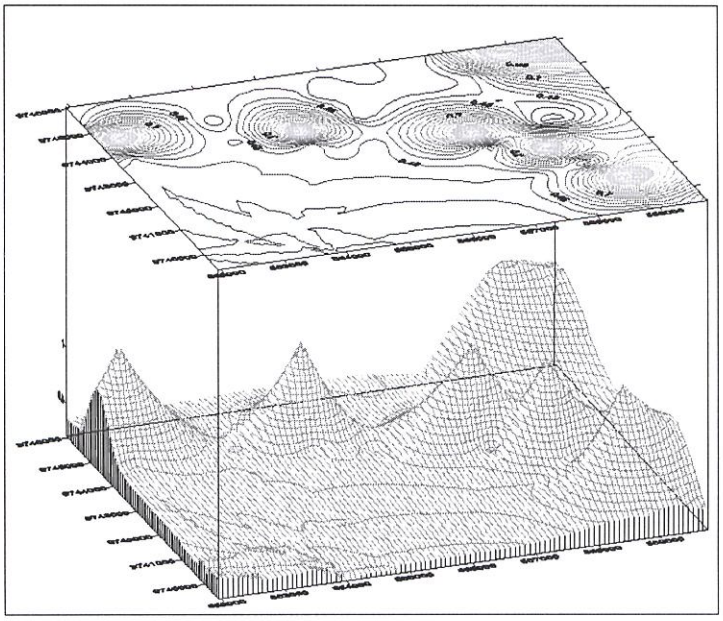
En el sector Suroeste se encuentran localizados los más bajos niveles de salinidad estimados como son de 0.25, 0.3, 0.35 y 0.4, en este sector se presentan los contornos de una manera más diseminada, lo que nos indica que los niveles de salinidad no tienen una fuerte influencia de variación, aunque esta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

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

Para tener una mayor percepción de la cantidad de salinidad presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para la salinidad, como podemos ver el sector Noreste contiene la mayor representación de salinidad.

FIGURA 6.4.CE.4.

EL NIVEL DE C. E., EN LAS ESTIMACIONES.

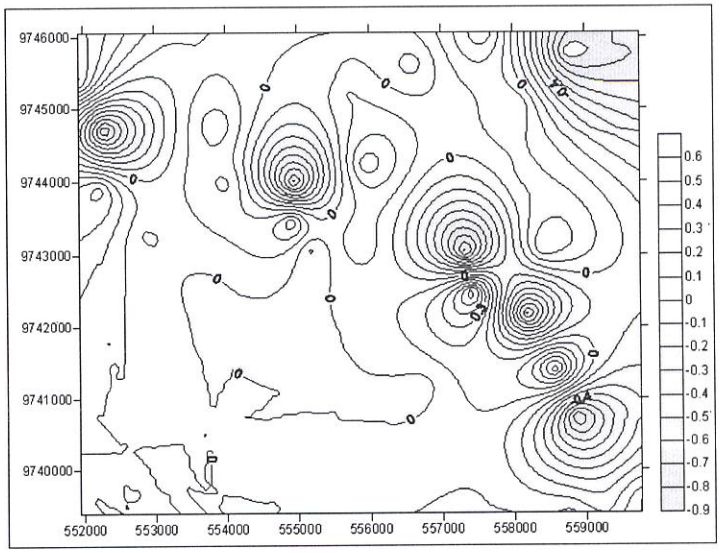


Mapas de Error:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.CE.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.



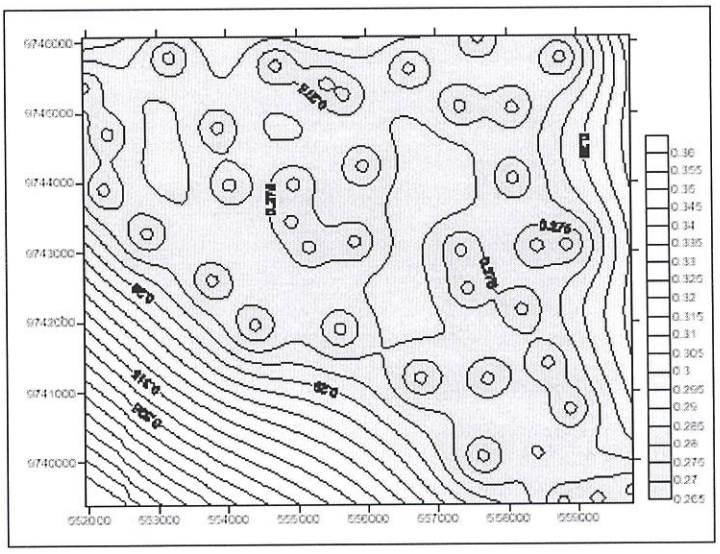
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector es considerado No Salino según los niveles de salinidad estimados.

FIGURA 6.4.CE.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



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

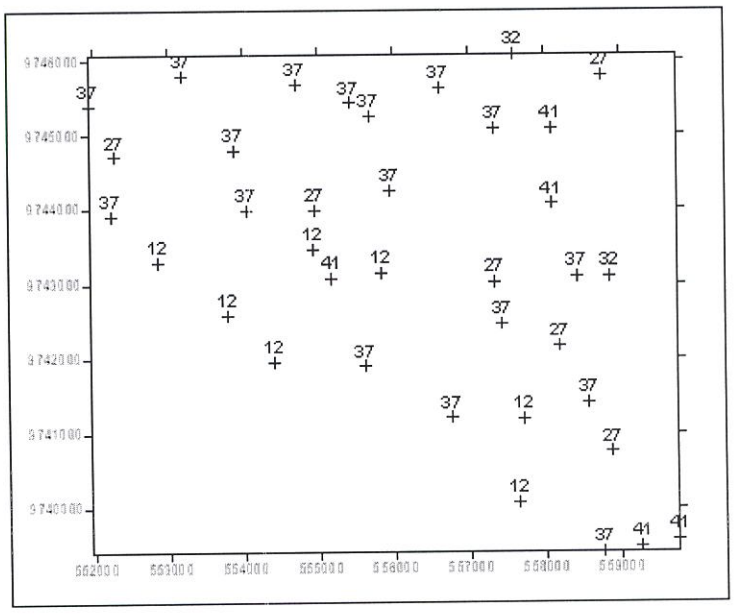
Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.265 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 0.35 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está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

Capacidad Intercambio Cationes.

Para la variable fertilidad, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración del CIC, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.CIC.1.

CONCENTRACIÓN DE C.I.C., EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.

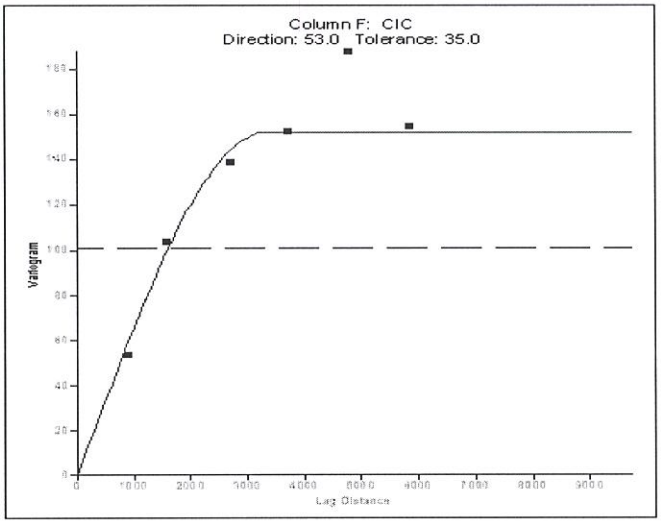


El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de fertilidad presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 53.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 35.0°, un valor Efecto Nugget de 0.0, una Escala de 152.0 y un Rango de 3360.0.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 100.99.

FIGURA 6.4.CIC.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA ESFÉRICO.



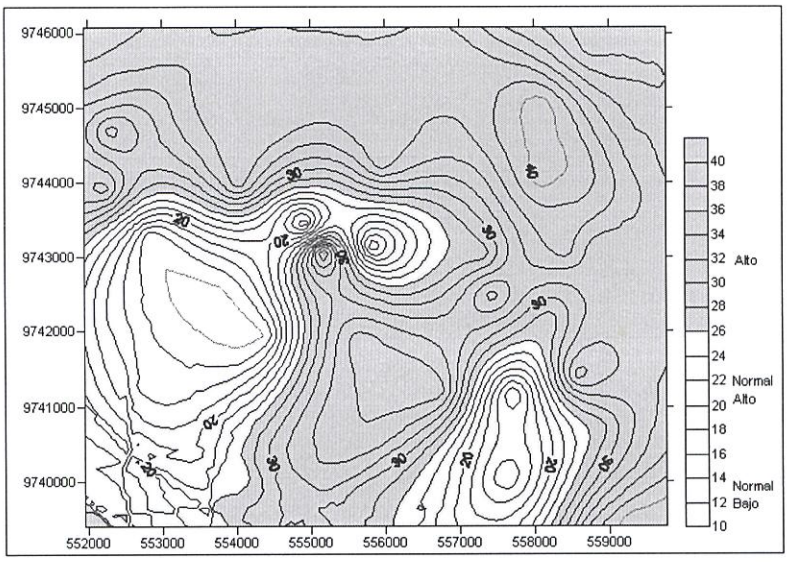
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de fertilidad de 10.0 a 14.0 que es considerado Normal Bajo, de 16.0 a 24.0 Normal Alto y 26.0 a 40.0 que es Alto.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.CIC.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE CIC.



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

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

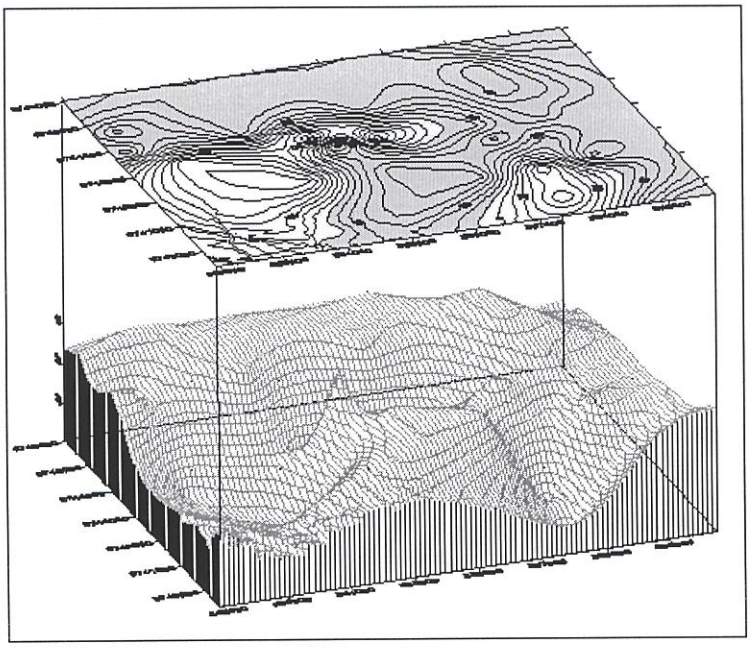
Los niveles más Bajos de fertilidad de 10.0, se encuentran ubicados en el sector Oeste y en el sector Suroeste se encuentran niveles de fertilidad de

20.0, 22.0, 24.0 y 26.0 que son considerados Altos. En el sector Noreste donde se encuentra ubicado el máximo nivel de concentración para la fertilidad de 40.0, se encuentra rodeado por contornos de 32.0, 34.0, 36.0 y 38.0 .Un valor de 40.0 también se encuentra en el sector Sureste y en la franja central.

Para tener una mayor percepción de la cantidad de fertilidad presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para la fertilidad, como podemos ver el sector Noreste contiene la mayor representación de fertilidad.

FIGURA 6.4.CIC.4.

EL NIVEL DE CIC, EN LAS ESTIMACIONES

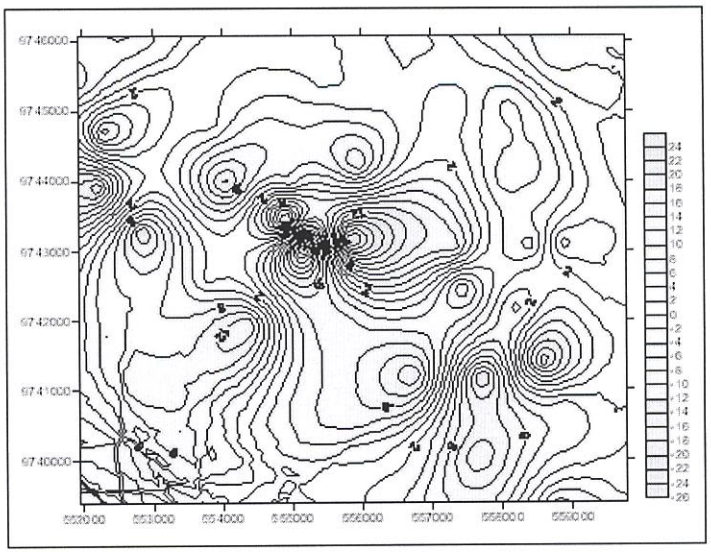


Mapas de Error.

Como resultado de las estimaciones, se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.CIC.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.



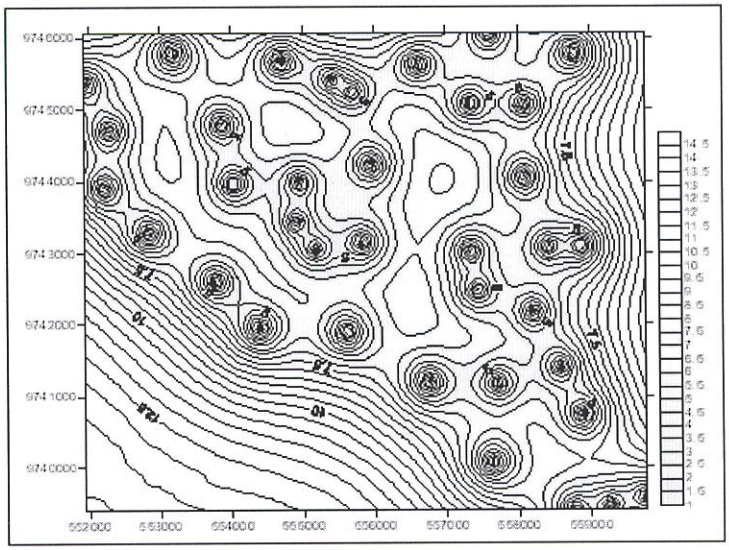
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector posee un Alto contenido de fertilidad según los niveles de fertilidad estimados.

FIGURA 6.4.CIC.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



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

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 1.0 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y el máximo valor de 14.5 está localizado en el

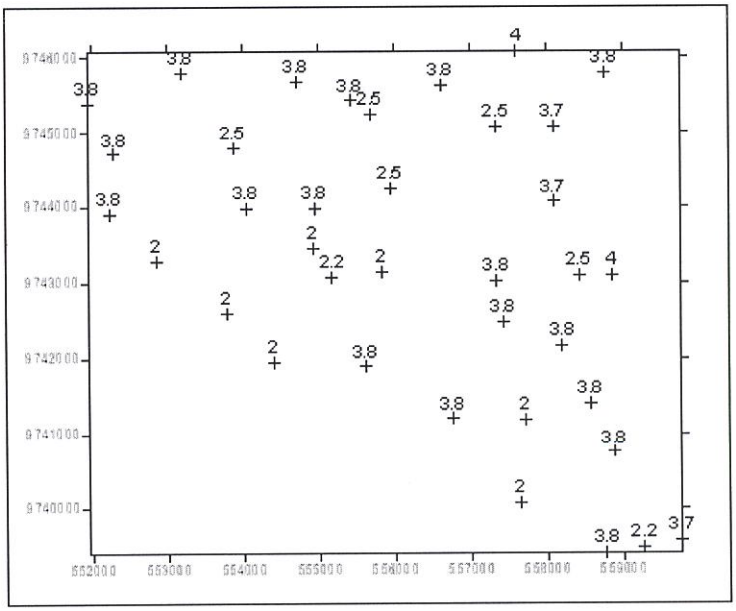
sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Materia Orgánica.

Para la variable Materia Orgánica, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de MO, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.MO.1.

CONCENTRACIÓN DE MO EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN



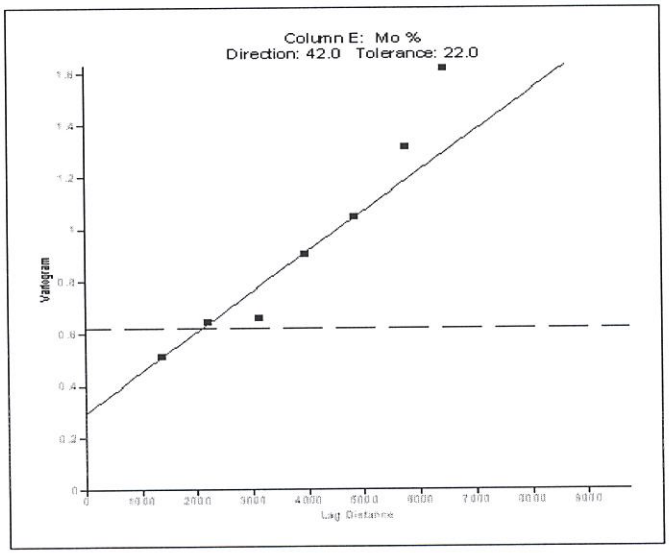
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de materia orgánica presente en el suelo, es el modelo Lineal con una Dirección de

42.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 22.0°, un valor Efecto Nugget de 0.295, una Pendiente de 0.000155.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 0.6227.

FIGURA 6.4.MO.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA LINEAL.



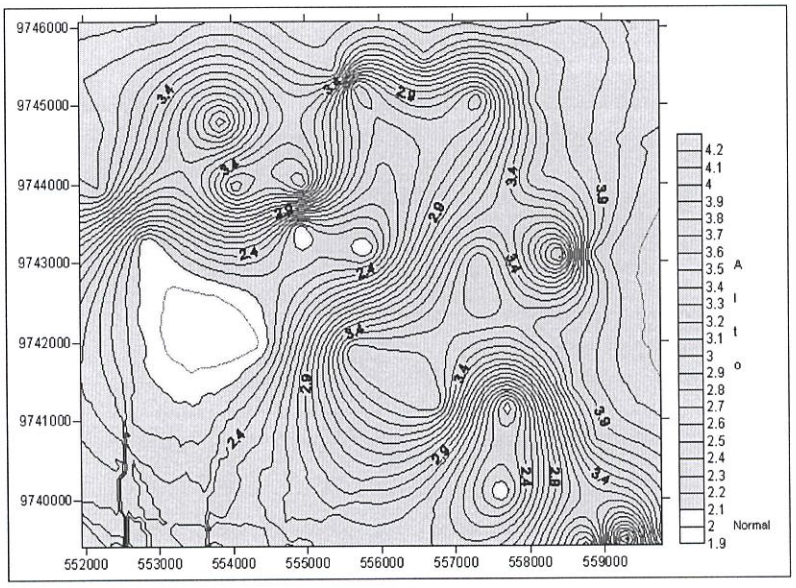
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de materia orgánica de 1.9 – 2.0 que es considerado Normal, y de 2.1 - 4.2 Alto.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.MO.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE MO.



Como podemos observar el suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su mayoría, de Alto contenido en materia orgánica (Color Café), seguido de determinadas regiones con un Normal contenido (Color Café Claro).

Los mínimos y máximos valores de concentración de materia orgánica están representados por los contornos de color lila.

En el sector Oeste se encuentra localizado el mínimo nivele de materia orgánica estimados, con un valor de 0.9 el que caracteriza a ese sector como de Normal cantidad de MO.

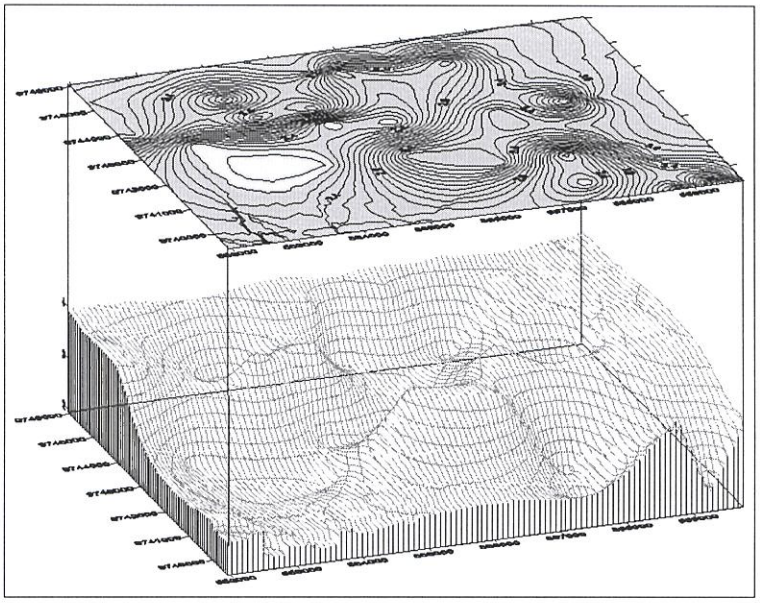
El máximo valor estimado de MO es de 4.2 y esta localizado en el sector Este.

En el sector Suroeste que presenta la irregularidad en los contornos, esta clasificado como de Alto contenido de materia orgánica.

Para tener una mayor percepción de la cantidad de materia orgánica presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para la materia orgánica, como podemos ver el sector Este contiene la mayor representación de materia orgánica.

FIGURA 6.4.MO.4.

EL NIVEL DE MO, EN LAS ESTIMACIONES.

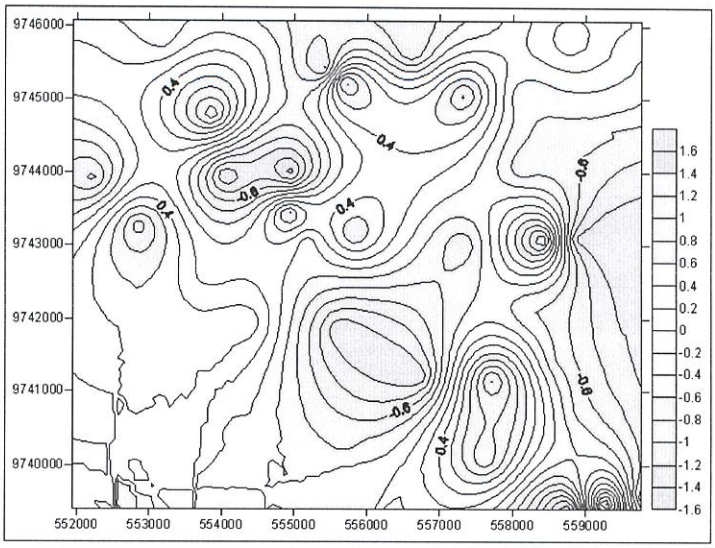


Mapas de Errores:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging

FIGURA 6.4.MO.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.



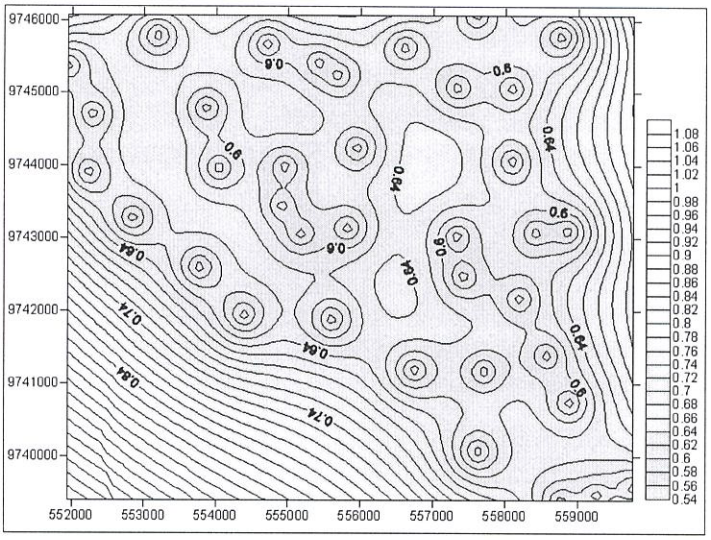
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector es considerado de Alto contenido en materia orgánica según los niveles de esta variable estimados.

FIGURA 6.4.MO.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



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

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.54 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 1.08 están localizados en

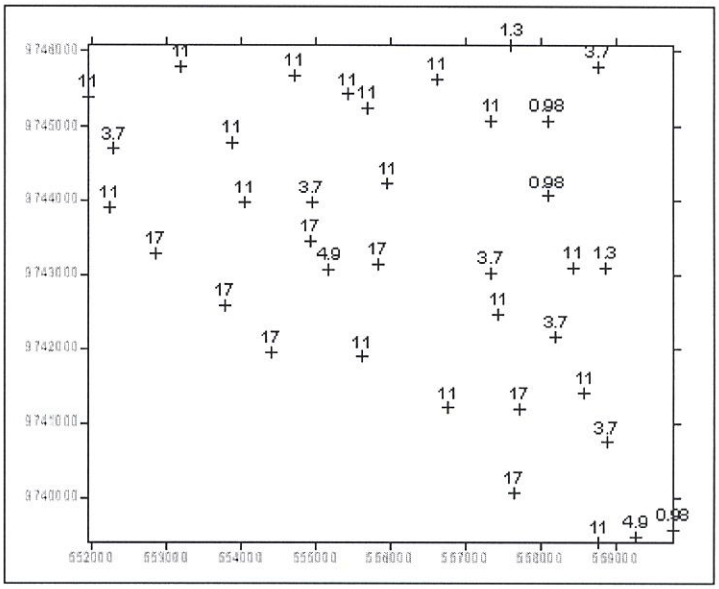
el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Sodio Intercambiable.

Para la variable sodio, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración del % Na, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.Na.1.

CONCENTRACIÓN DE % Na, EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.



El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de sodio presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 180.0°

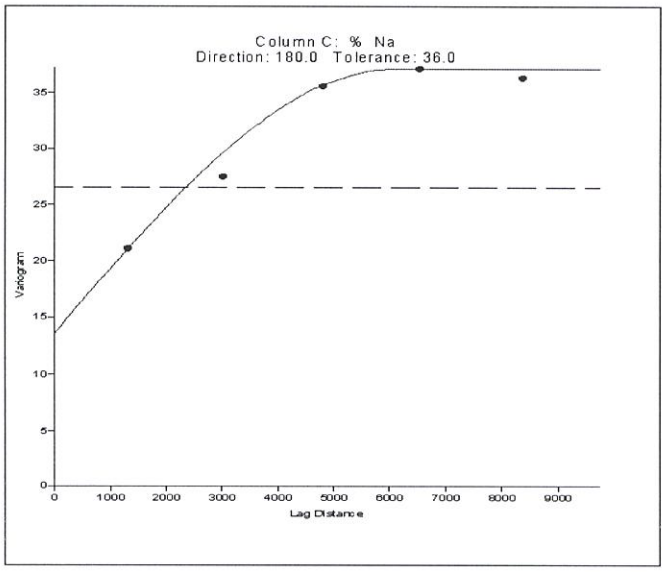
(NO-SE), una Tolerancia Angular de 36.0°, un valor Efecto Nugget de 13.6, una Escala de 23.56 y un Rango de 6100.0.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 26.544

.

FIGURA 6.4.Na.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA ESFÉRICO.



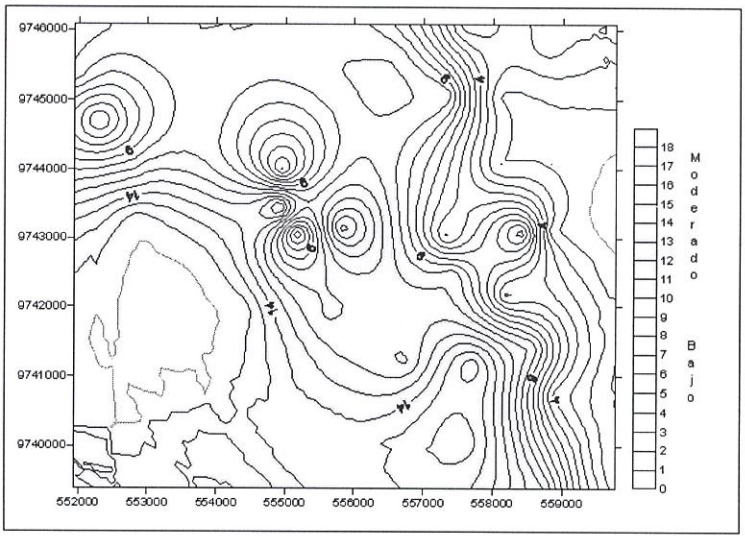
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de % Na que van de 0.0 a 9.0 que es considerado de Bajo contenido en Sodio y de 10.0 a 18.0 que es de moderado contenido de Sodio.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.Na.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE % Na.



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

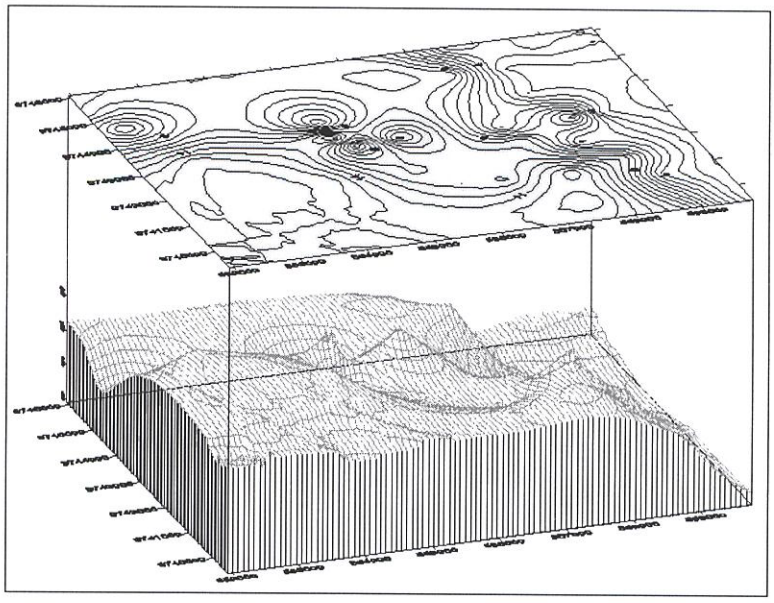
Los máximos y mínimos valores de % de sodio, resultados de la estimación están indicados en el gráfico con una línea color lila, el mínimo valor de 0.0 está ubicado en el sector Noreste y el máximo valor de 18.0 está ubicado en el sector Oeste y Suroeste.

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

Para tener una mayor percepción de la cantidad de porcentaje de sodio presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para el porcentaje de sodio, como podemos ver la máxima concentración del porcentaje de sodio se da en los sectores Oeste y Suroeste.

FIGURA 6.4.Na.4.

EL NIVEL DE % SODIO, EN LAS ESTIMACIONES.

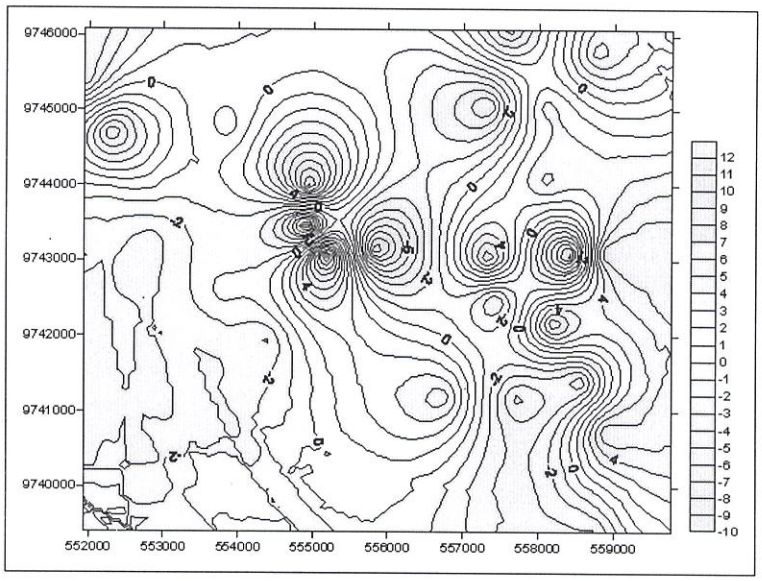


Mapas de Error:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.Na.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.



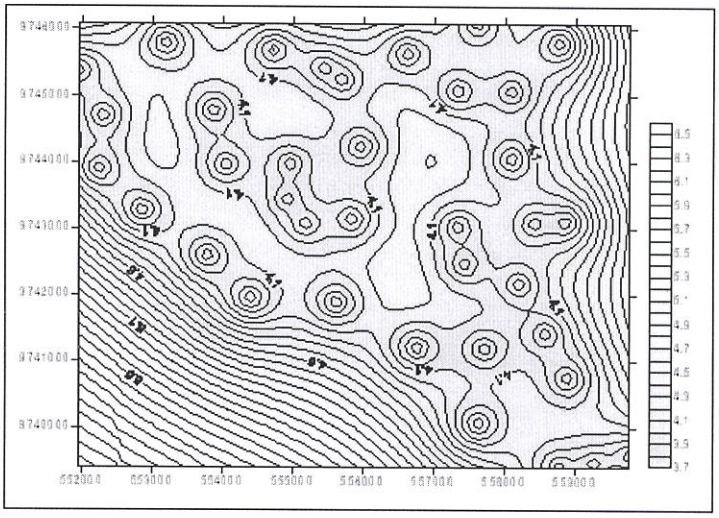
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector posee un Moderado y un Bajo contenido de sodio según los niveles de concentración de sodio estimados.

FIGURA 6.4.Na.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES



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

Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 3.7 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 6.5 están localizados en el

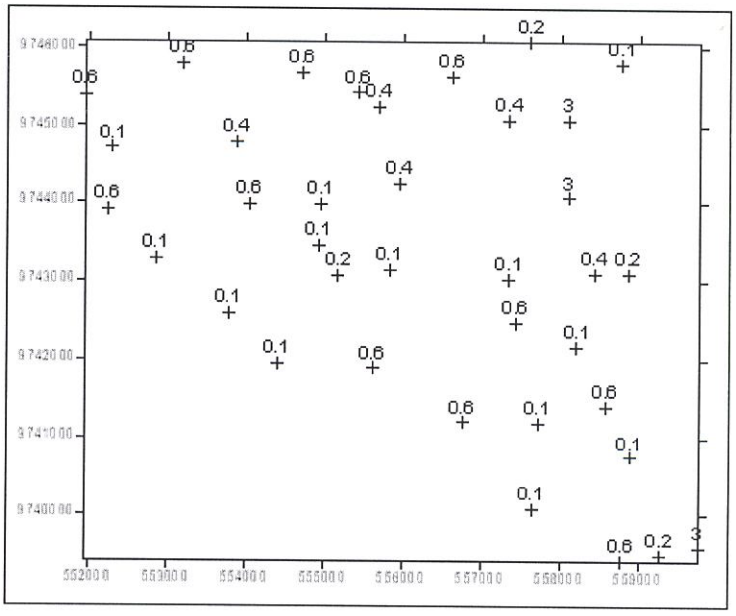
sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Potasio.

Para la variable potasio, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de K, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.K.1.

CONCENTRACIÓN DE K, EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN



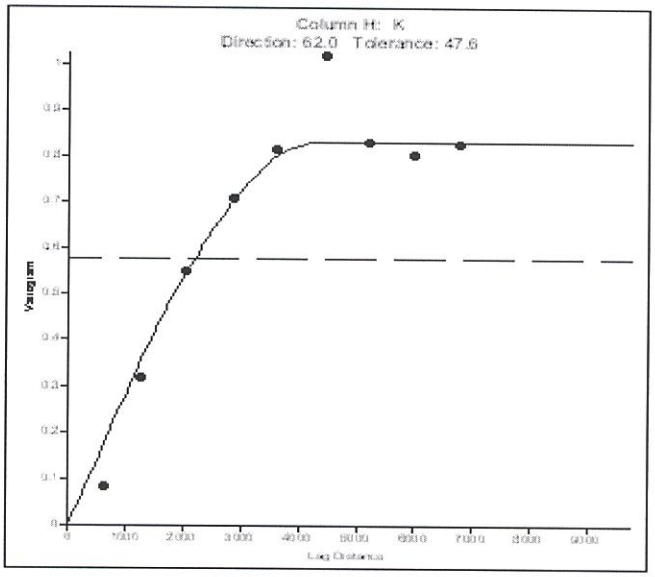
El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de potasio presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 62.0°

(NE-SO), una Tolerancia Angular de 47.6°, un valor Efecto Nugget de 0.0, una Escala de 0.83 y un Rango de 4300.0

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 0.575.

FIGURA 6.4.K.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA ESFÉRICO.



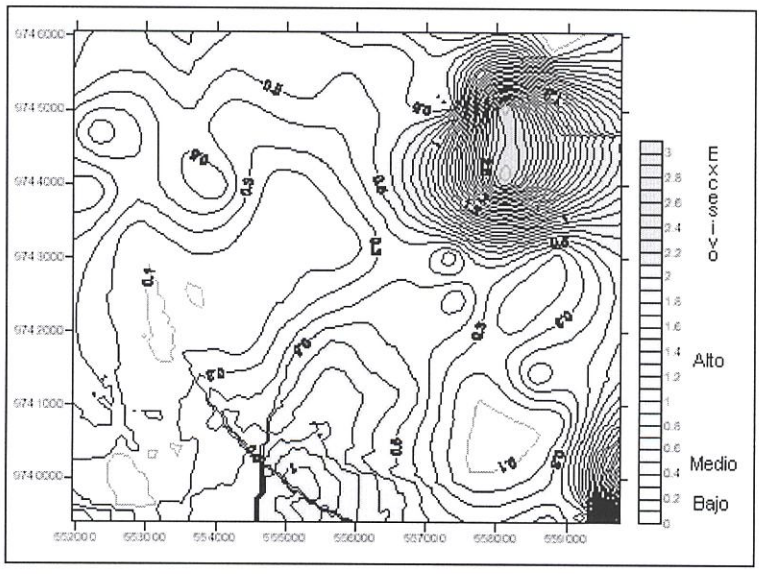
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de potasio de 0.0 a 0.3 que es considerado de Bajo contenido de potasio, y 0.4 a 0.5 que es Medio, de 0.6 a 2.0 que es Alto y de 2.0 a 3.0 que es considerado como un contenido Excesivo de potasio.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.K.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE K.



Los mínimos y máximos valores de la concentración de salinidad estimados, están representados por los contornos de color verde.

Como podemos observar la zona de estudio se caracteriza por tener el suelo en una gran parte de Bajo contenido de potasio (Color Blanco), unos pocos sectores contienen un nivel Medio de contenido de Potasio (Color Lila Claro), una pequeña cantidad un nivel Alto de potasio (color

Lila) y en una representación muy pequeña tenemos zonas de excesivo contenido de potasio (Color Morado).

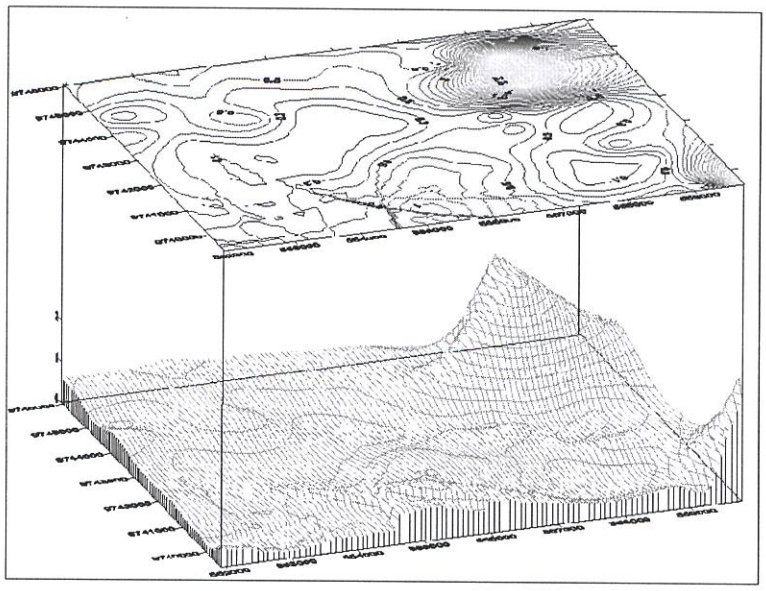
El mínimo valor de la estimación para la concentración del potasio están ubicados en los sectores Oeste, Suroeste y Sureste con un valor de 0.1 y en el sector Noreste se encuentra localizado el máximo valor de la estimación para el potasio, con un valor de 2.9.

La región Suroeste no presenta información previa sobre los niveles de potasio presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector de Bajo contenido de Potasio.

Para tener una mayor percepción de la cantidad de potasio presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para el potasio, como podemos ver el sector Noreste contiene la mayor representación de potasio.

FIGURA 6.4.K.4.

EL NIVEL DE K, EN LAS ESTIMACIONES.

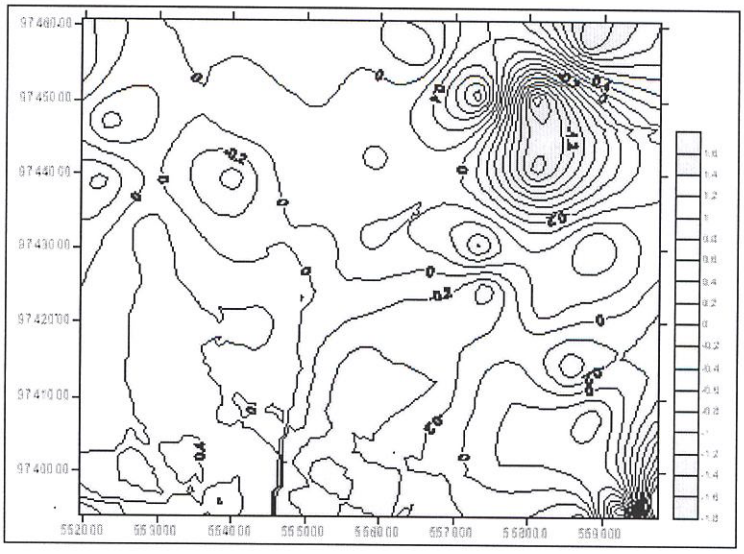


Mapas de Error:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.K.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.



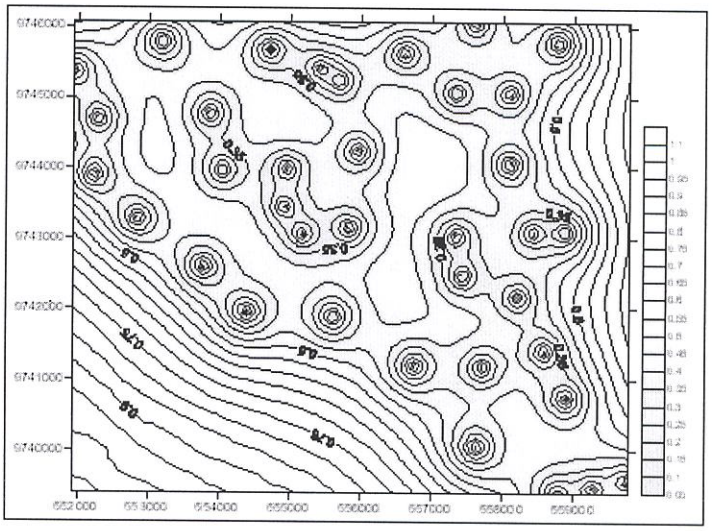
Para interpretar de mejor forma el gráfico, el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector es considerado no salino según los niveles de potasio estimados es de bajo contenido de potasio.

FIGURA 6.4.K.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



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

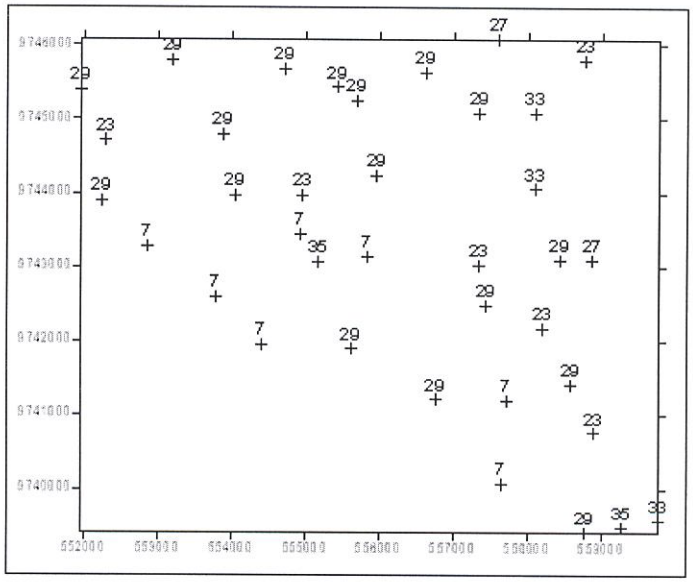
Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.05 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 1.1 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Calcio.

Para la variable calcio, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de Ca, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.Ca.1.

CONCENTRACÓN DE Ca, EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.

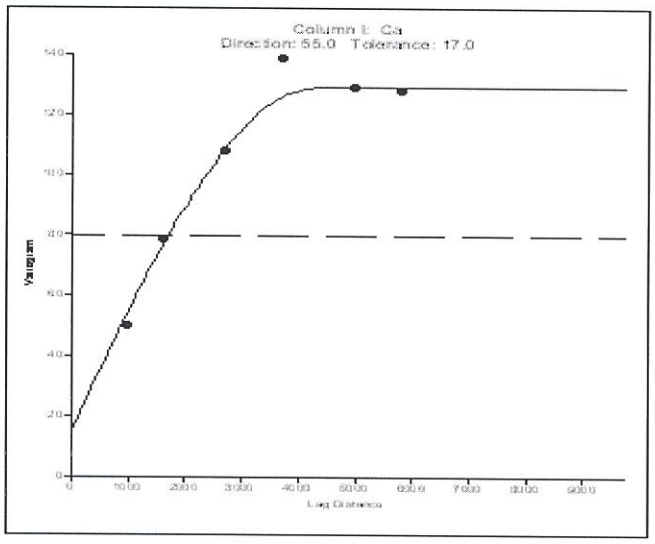


El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de calcio presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 55.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 17.0°, un valor Efecto Nugget de 15.0, una Escala de 114.0 y un Rango de 4270.0.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 79.755.

FIGURA 6.4.Ca.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA ESFÉRICO.



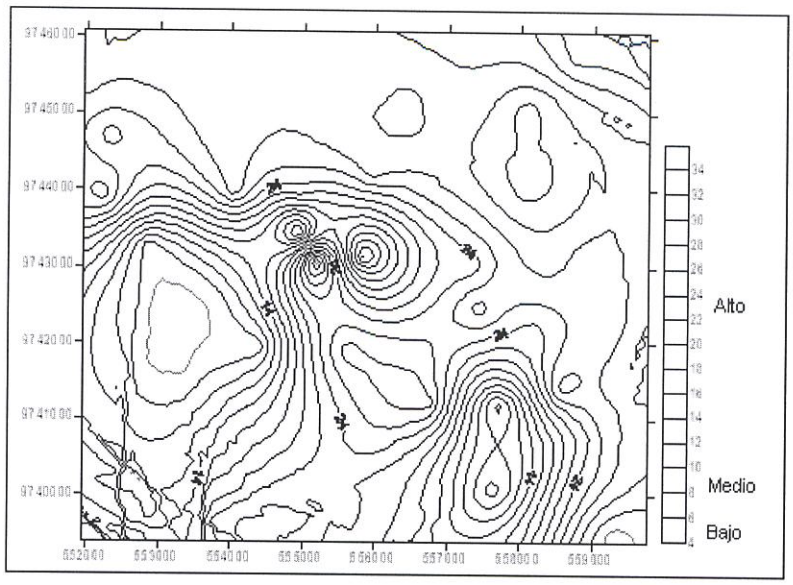
Estimación:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de calcio de 4.0 que es considerado de Bajo contenido de calcio, de 6.0 a 10.0 con un contenido Medio de calcio y de 12.0 a 34.0 con un contenido Alto de calcio.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.Ca.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE Ca.



Como podemos observar la zona de estudio se caracteriza por tener en su mayoría un suelo con un Alto contenido de calcio (Color Amarillo), seguido de determinadas regiones de Medio contenido de calcio (Color Amarillo Claro), en una representación muy pequeña tenemos zonas que poseen un nivel de Bajo contenido de calcio (Color Blanco).

Los mínimos y máximos valores de los niveles de salinidad están representados por los contornos de color lila.

En el sector Oeste se encuentra localizado el más bajo nivel de calcio estimado como es de 4.0, en el sector Suroeste se observan contornos que presentan una formación irregular que contienen niveles de calcio de 6.0, 8.0 y 10.0, esta región no presenta información previa sobre los

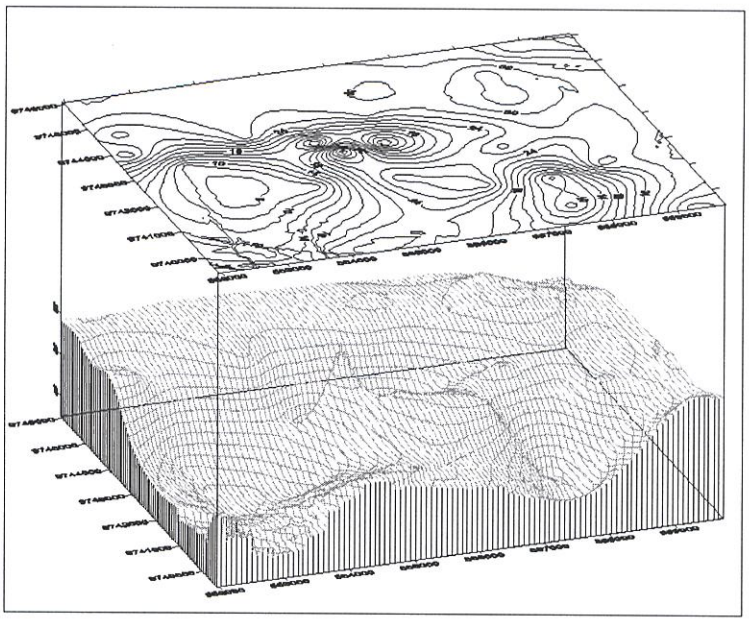
niveles de calcio presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector de Medio y Alto contenido de calcio.

En el sector Sureste se encuentra localizado el máximo nivel de las estimaciones para el calcio cuyo valor es de 34.0.

Para tener una mayor percepción de la cantidad de calcio presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para el calcio, como podemos ver el sector Sureste contiene la mayor representación de calcio.

FIGURA 6.4.Ca.4.

EL NIVEL DE Ca, EN LAS ESTIMACIONES.

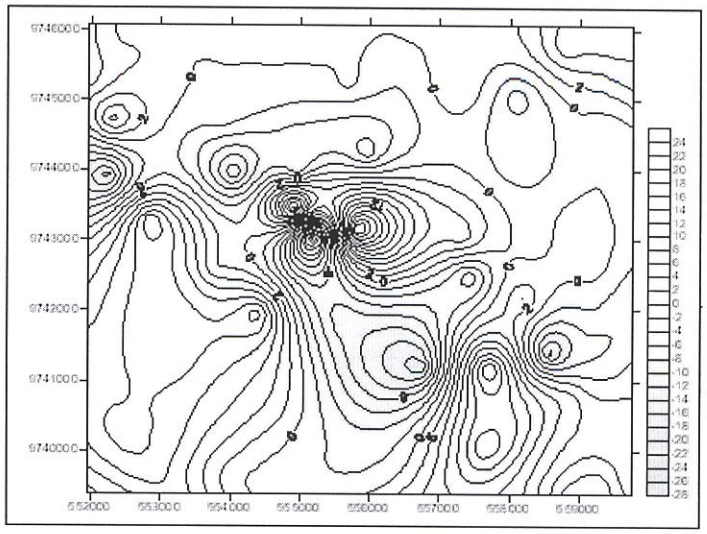


Mapas de Error:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.Ca.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.



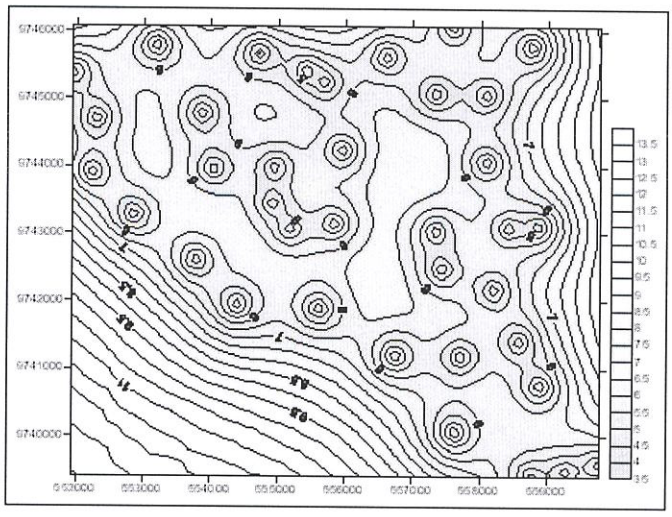
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa de la, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector posee un alto contenido de calcio.

FIGURA 6.4.Ca.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



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

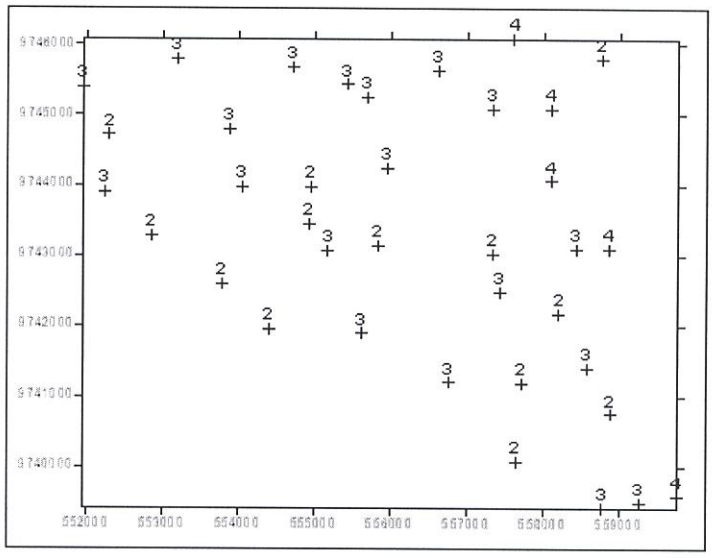
Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 4.5 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y el máximo valore de 12.5 está localizado en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Magnesio.

Para la variable magnesio, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de Mg, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.Mg.1.

CONCENTRACIÓN DE Mg, EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.

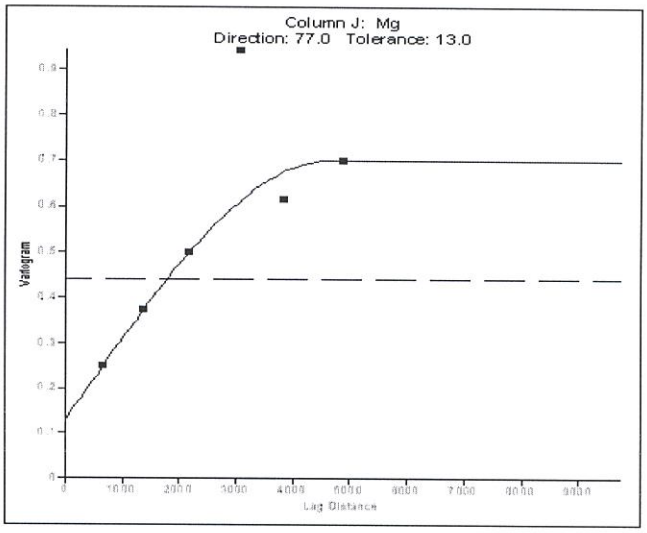


El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de magnesio presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 77.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 13.0°, un valor Efecto Nugget de 0.128, una Escala de 0.573 y un Rango de 4670.0.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 0.4397.

FIGURA 6.4.Mg.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA ESFÉRICO.



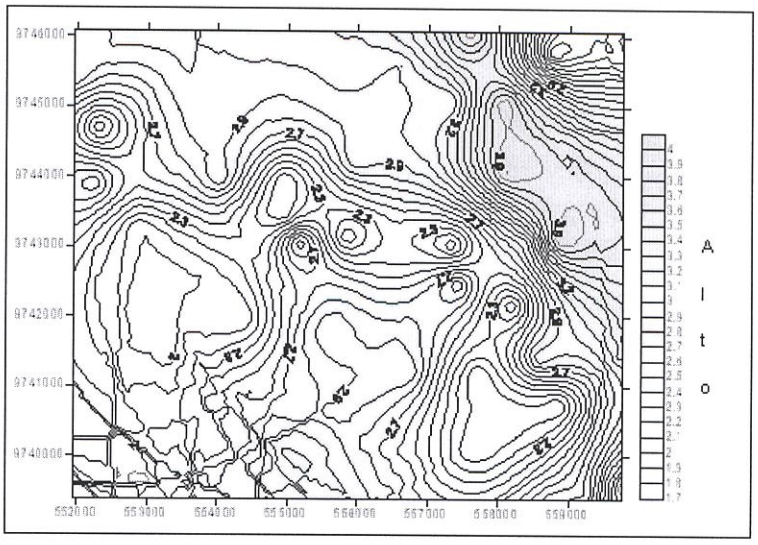
Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener Altos niveles de magnesio comprendidos entre 1.7 a 4.0.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

FIGURA 6.4.Mg.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE Mg.



Como podemos observar el suelo de la zona de estudio se caracteriza por ser en su totalidad de Alto contenido de calcio (Color Gris).

Los mínimos y máximos valores de la concentración para la salinidad, están representados por los contornos de color lila.

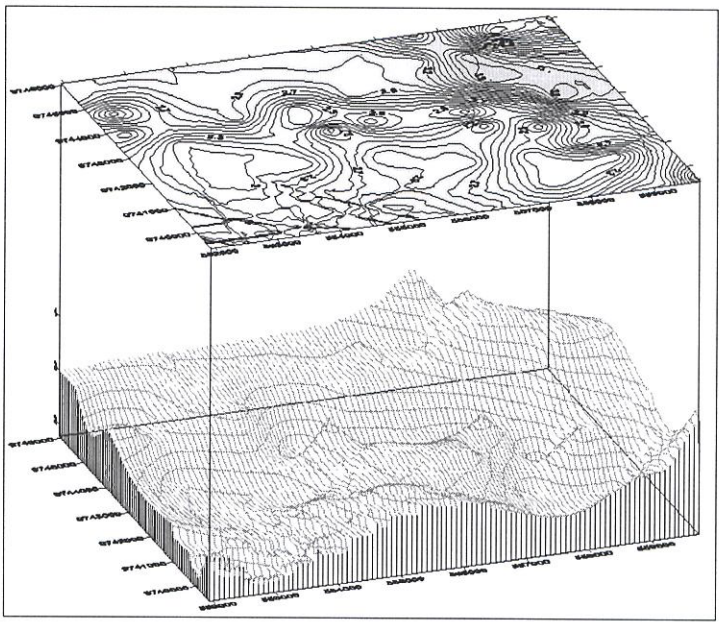
El mínimo valor de la estimación de Mg se encuentra localizado en el sector Suroeste, presenta un valor de 1.7, el máximo valor de las estimaciones para el magnesio se encuentra localizado en los sectores Este y Noreste, presenta un valor de 4.0.

Para tener una mayor percepción de la cantidad de calcio presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para

el magnesio, como podemos ver en el sector Noreste se encuentra localizado la mayor cantidad de concentración de magnesio.

FIGURA 6.4.Mg.4.

EL NIVEL DE Mg, EN LAS ESTIMACIONES.

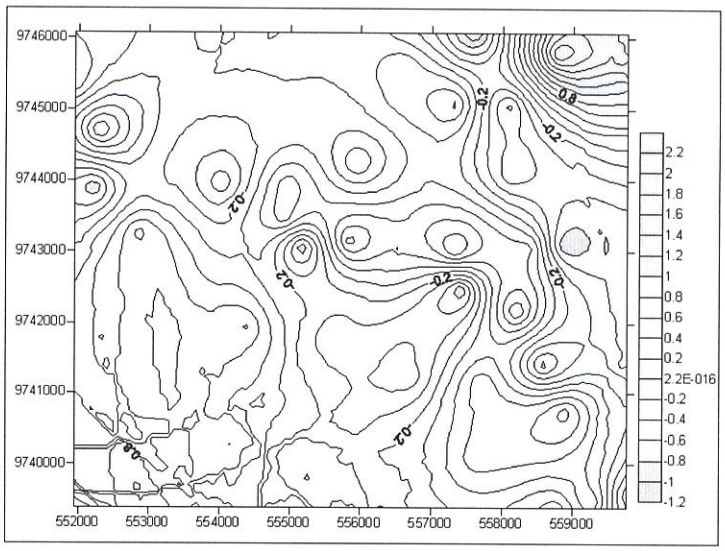


Mapas de Error:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.Mg.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES.

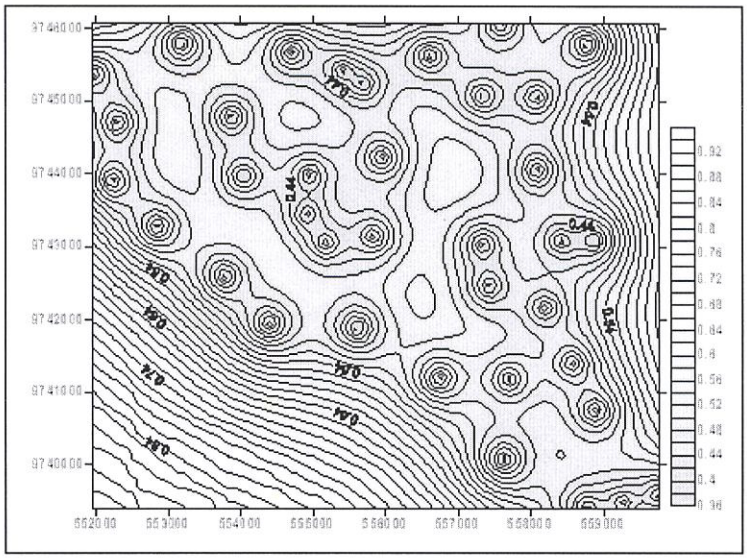


Para interpretar de mejor forma el gráfico, el color gris representa el valor absoluto de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da 2.2E-0.16, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

FIGURA 6.4.Mg.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



En el mapa, se observa como se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican que el valor de la estimación difiere de su valor real en una cantidad no muy significativa. Los mínimos valores que presentan las desviaciones estándar son de 0.36 y se encuentran localizados en el perfil que

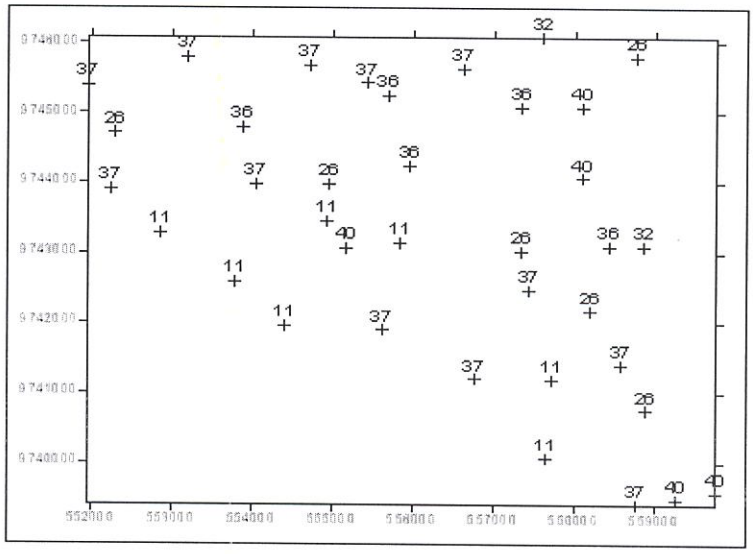
caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 0.94 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

Suma Base de Intercambio.

Para la variable suma de bases, podemos observar en el gráfico siguiente la cantidad de concentración de la suma de bases intercambiables, que se encontró en cada una de las unidades de observación en el momento de la recolección de la información.

FIGURA 6.4.BI.1

CONCENTRACIÓN SUMA BASE, EN CADA UNIDAD DE OBSERVACIÓN.

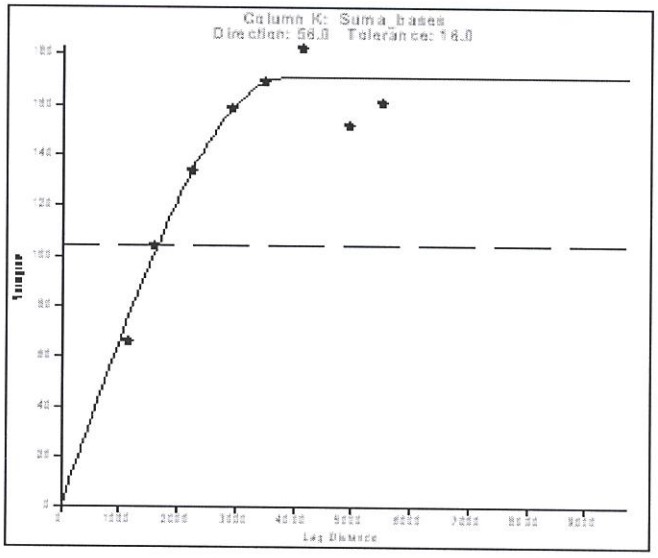


El modelo que mejor describe el comportamiento del nivel de suma de bases presente en el suelo, es el modelo Esférico con una Dirección de 56.0° (NE-SO), una Tolerancia Angular de 16.0°, un valor Efecto Nugget de 0.0, una Escala de 171.0 y un Rango de 3800.0.

La varianza para los datos que componen este grupo muestral es de 104.164.

FIGURA 6.4.BI.2.

REPRESENTACIÓN DEL VARIOGRAMA ESFÉRICO.



Estimaciones:

Las estimaciones obtenidas mediante el método de Kriging para esta variable nos dieron como resultado que la zona de estudio se caracteriza por tener niveles de bases de intercambio de 8.0 que es considerado

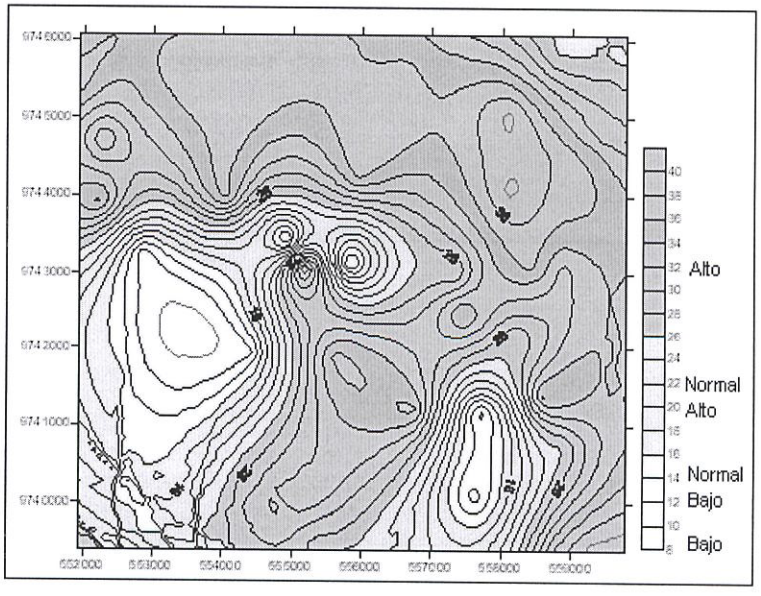
Bajo, de 10.0 a 14.0 como Normal Bajo, de 16.0 a 24.0 como Normal Alto y 26.0 a 40.0 como de Alto contenido de suma bases e intercambio.

A continuación se indican los sectores, en los que se encuentran cada uno de estos niveles que están representados de acuerdo a un color específico.

Para la interpretación de los niveles de concentración para Bases para de Saturación, se utiliza la tabla de interpretación del CIC *(VER APÉNDICE C)*, debido a que esta variable contiene a los cationes de intercambio que conforman el CIC.

FIGURA 6.4.BI.3.

ESTIMACIONES DEL NIVEL DE SUMA DE BASES.



Como podemos observar la zona de estudio se caracteriza por tener el suelo en su mayoría de un Alto contenido en cationes (Color Verde oscuro), seguido de determinadas regiones Normal Alto (Color Verde Claro), Normal Bajo (Color Verde más Claro), en una representación muy pequeña tenemos zonas que poseen Bajo contenido de cationes (Color Blanco).

Los mínimos y máximos valores de las estimaciones para la concentración de las bases de intercambio, están representados por los contornos de color lila.

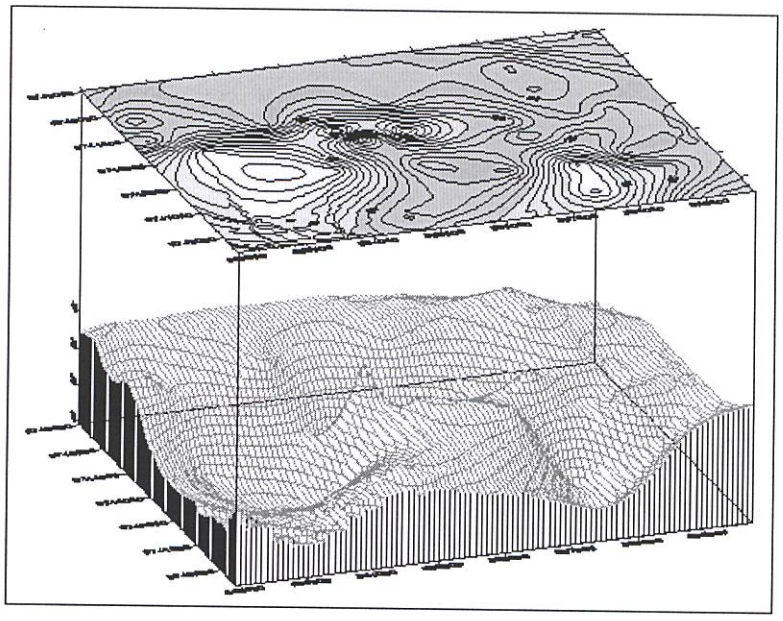
En el sector Suroeste, Sureste se encuentran localizados los más Bajos niveles de suma de bases de intercambio estimados como son de 8.0, en la parte inferior del sector Suroeste se presentan los contornos de una manera irregular y las estimaciones varían de 16.0 a 24.0, aunque esta región no presenta información previa sobre los niveles de suma de bases presentes en ella, los resultados de las estimaciones lo describen como un sector Normal Alto.

En el sector Noreste y Sureste se encuentran localizadas los máximos niveles de las estimaciones para la suma de bases de intercambio, con un valor de 40.0.

Para tener una mayor percepción de la cantidad de bases de intercambio presente en los sectores, se bosqueja en la figura de abajo el nivel de concentración para la bases de intercambio, como podemos ver en su mayoría, el suelo se caracteriza por ser de Alto contenido.

FIGURA 6.4.BI.4.

EL NIVEL DE SUMA DE BASES, EN LAS ESTIMACIONES.

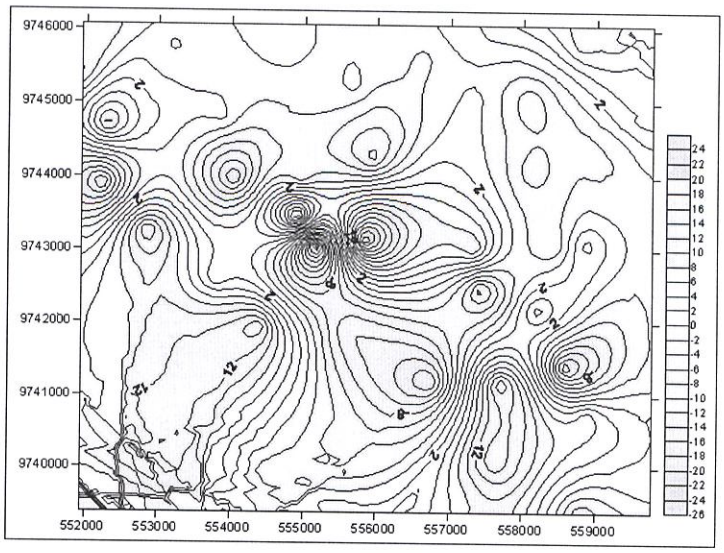


Mapas de Error:

Como resultado de las estimaciones se tienen los siguientes mapas de errores, tanto para los residuales como para las desviaciones estándar del Kriging.

FIGURA 6.4.BI.5.

RESIDUALES DE LAS ESTIMACIONES .



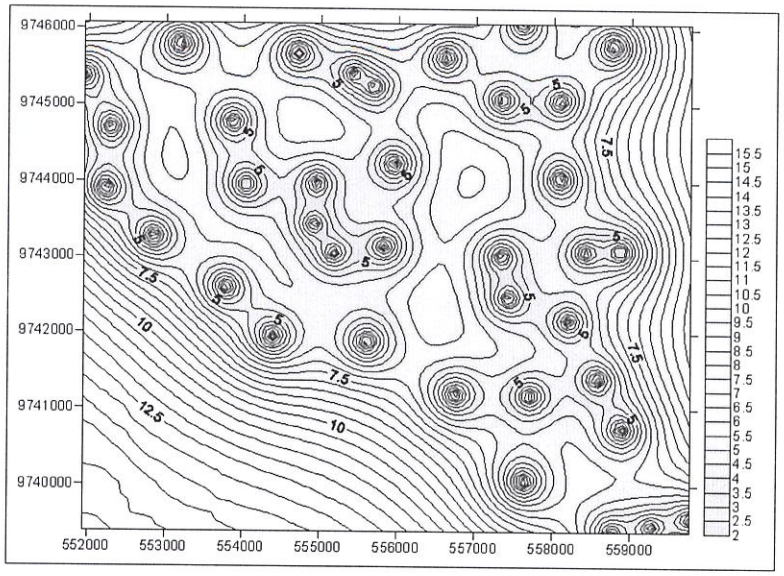
Para interpretar de una forma mejor el gráfico, se tiene que el color gris representa el valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor estimado, el tono más oscuro del gris representa el máximo valor del residual, y el blanco el mínimo.

En el mapa, se observan los valores de los residuales de la estimaciones, los sectores que están representados por el color blanco son aquellos donde la diferencia entre los valores de las estimaciones y los valores observados reales nos da cero, también hay áreas de tono gris claro lo que nos indica que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos observados.

Además podemos determinar que este sector posee un alto contenido de los cationes según los niveles de la suma de bases estimados.

FIGURA 6.4.BI.6.

DESV. ESTÁNDAR DE LAS ESTIMACIONES.



En el mapa, se observa como se presentan las desviaciones estándar de las estimaciones, los tonos más oscuros nos indican

que el valor de la desviación estándar de las estimaciones en esa ubicación es menor.

Los mínimos valores que presentan las Desv. Estándar son de 2.0 y se encuentran localizados en el perfil que caracteriza la zona de Villingota - Zapotal y los máximos valores de 15.5 están localizados en el sector Suroeste, el cual nos indica más incertidumbre, debido a que este sector está más esparcido del área de estudio.

6.5. Interpretación de los Resultados.

Se presentan los resultados que se obtuvieron, de las estimaciones para cada una de las variables de interés, para así poder determinar cuales son los niveles de concentración, de las características químicas y nutrimentos que prevalecen, en cada uno de los sectores que componen la zona de Villingota – Zapotal, y poder determinar las tipos de cultivos que pueden desarrollarse en estos sectores.

6.5.1. Niveles de Concentración que posee el suelo, según las Estimaciones.

Según el resultado de las estimaciones, el suelo de la zona de estudio se caracteriza por contener los siguientes niveles de concentración para las características químicas y nutrimentos.

Norte:

Este sector del suelo, se caracteriza por presentar poca presencia de Neutro, mayor presencia de Rango Neutro pero esta más representado por ser Débilmente Alcalino; contiene Alto contenido de Calcio; Alto C. I. C.; Alto Magnesio; Alto contenido de Materia Orgánica; contiene un Moderado y Bajo contenido de % Na; un Medio y Bajo contenido de Potasio; Bajo y Medio contenido de C. E. y Alto para Suma de Base Intercambio.

Noroeste:

Este sector presenta Pocos sectores Neutros, mayor presencia de Rango Neutro pero está más representado por ser Débilmente Alcalino; Alto contenido de Calcio con una pequeña porción de Medio; Alto y Normal Alto C. I. C; Alto Magnesio; Alto contenido de Materia Orgánica; Moderado y pequeña porción de Bajo % de Na; Medio y Bajo de Potasio; mayor presencia de nivel Bajo, Medio de C. E.; en su mayoría es de Alto contenido y Normal Alto para Suma de Base de Intercambio.

Noreste:

Este sector presenta niveles Débilmente Alcalinos, Rango Neutro y una pequeña porción de Neutro; Alto Calcio; Alto C. I. C.; Alto Magnesio; Alto contenido de Materia Orgánica; Bajo % Na; poco Bajo, Medio, mayor contenido de nivel Alto y poco contenido de Excesivo para el Potasio; mayormente Bajo, Medio C. E.; Alto Normal, Alto para Suma de Base de Intercambio.

Centro:

Este sector, se caracteriza por poseer Más Rango Neutro, Neutro, Ligeramente Ácido, más presencia de nivel Débilmente Alcalino; mayor presencia de nivel Medio, Alto contenido Calcio; Normal bajo, Normal Alto y Alto C. I. C.; Alto Magnesio; mayormente Alto y Normal contenido de Materia Orgánica; Bajo y Moderado % Na; mayormente Bajo y Medio Potasio; mayormente Bajo, Medio C. E.; Alto, poco Normal Bajo, Normal Alto para Suma de Base de Intercambio.

Sur:

Este sector se caracteriza por ser poseer Mayormente un nivel de Rango Neutro y Neutro; Alto Calcio; Alto C. I. C.; Alto

Magnesio; Moderado % Na; Alto contenido de Materia Orgánica; Medio, mayor presencia de nivel Alto Potasio; Bajo C. E.; mayormente Alto, Normal Alto para Suma de Base de Intercambio.

Sureste:

Este sector se caracteriza por ser Débilmente Alcalino, Rango Neutro, más presencia de nivel Ligeramente Ácido, Neutro; más presencia de Alto contenido, Medio Calcio; Alto, poco Normal Bajo, Normal Alto C. I. C.; Alto Magnesio; más presencia de Alto, Normal contenido de Materia Orgánica; Moderado y Bajo % Na; más presencia de Bajo, Medio Alto Potasio; mas Bajo, Medio C. E.; más presencia de Alto, Normal Alto, y en menor proporción Normal Bajo para Suma de Base de Intercambio.

Suroeste:

Este sector se caracteriza por poseer Mas Rango Neutro y Neutro; Medio, más contenido de Alto Calcio; Alto, más presencia de nivel Normal Alto C. I. C.; Alto Magnesio; Normal, más presencia de Alto contenido de Materia Orgánica; Moderado % Na; Bajo Potasio; Bajo C. E.; más presencia de Normal Alto,

Normal Bajo y en menor proporción un contenido Alto para Suma de Base de Intercambio.

Oeste:

Este sector presenta, más presencia de Rango Neutro, Ligeramente Ácido; poco Bajo, Medio, Alto Calcio; Normal Bajo, más contenido de Normal Alto C. I. C.; Alto Magnesio; mayor presencia de Alto contenido, Normal contenido de Materia Orgánica; Moderado % Na; Bajo Potasio; Bajo C. E.; poco Bajo, Normal Bajo, Normal Alto para Suma de Base de Intercambio.

Este:

Este sector se caracteriza por poseer niveles de Rango Neutro, Neutro, más presencia de nivel Débilmente Alcalino; Alto calcio; Alto C. I. C.; Alto Magnesio; Alto contenido de Materia Orgánica; Bajo % Na; Bajo, Medio, Alto Potasio; Bajo, Medio C. E.; Alto en Suma de Base de Intercambio.

6.5.2. Tipos de Cultivos Aptos para la Zona de Estudio, según las Características del Suelo.

Los siguientes tipos de cultivos han sido clasificados de acuerdo a la tolerancia que presentan para, el clima que varía en la zona de 23° C – 26° C, para la precipitación anual de 280.5 (mm) y precipitación máxima anual de 3104.0 (mm).

Se determinan los tipos de cultivos , que son aptos para la zona de acuerdo al grado de tolerancia que presentan para cada característica química y nutrimentos del suelo, en relación con los niveles de concentración que han sido resultado de las estimaciones previas para cada variable.

Debido a que los cultivos a continuación no presentan la información necesaria de los niveles de tolerancia para todas las variables de interés en el estudio, se determinan los cultivos para cada variable por separado (de las que presentan información).

Acidez (pH)

En el *APÉNDICE J* se detalla una tabla, en la que se indica los requerimientos que presentan varios cultivos, para esta variable.

En el sector Norte se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y

Sorgo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Débilmente Alcalino y Rango Neutro, 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, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como pocos sectores Neutros, mayor presencia de Rango Neutro pero está más representado por ser Débilmente Alcalino, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Noroeste se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Débilmente Alcalino, Rango Neutro y una pequeña porción de Neutro, que son tolerados por estos cultivos.

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 y Yuca, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez

clasificados como Rango Neutro, Neutro, Ligeramente Ácido, Débilmente Alcalino, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Sur se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Rango Neutro y Neutro, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Sureste se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya y Yuca, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Débilmente Alcalino, Rango Neutro, Ligeramente Ácido, Neutro, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Suroeste se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Rango Neutro y Neutro, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Oeste se puede cultivar el Algodón, Arroz, Banano, Cacao, Café, Cítricos, Cocotero, Maíz, Mango, Maracuyá, Melón, Palma Africana, Papaya, Piña, Plátano, Sorgo, Soya y Yuca, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Rango Neutro, Ligeramente Ácido, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Este se puede cultivar el Algodón, Banano, Cacao, Caña de Azúcar, Cítricos, Cocotero, Maíz, Maracuyá, Melón, Papaya, Plátano y Sorgo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de acidez clasificados como Rango Neutro, Neutro, Débilmente Alcalino, que son tolerados por estos cultivos.

Salinidad (C. E.)

En el *APÉNDICE K* se detalla una tabla, en la que se indica los requerimientos que presentan varios cultivos, para esta variable.

En el sector Norte se puede cultivar la Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz, Maíz Dulce, Naranja, Papa y uva, debido a que este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo y Medio, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Noroeste se puede cultivar la Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz, Maíz Dulce, Naranja, Papa y uva, debido a que este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo y Medio, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Noreste se puede cultivar la Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz, Maíz Dulce, Naranja, Papa y uva, debido a que este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo y Medio, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Centro se puede cultivar la Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz, Maíz Dulce, Naranja, Papa y uva, debido a que este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo y Medio, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Sur no se pueden sembrar los tipos de cultivos descritos en el *APÉNDICE K*, debido a que estos cultivos presentan tolerancias para niveles de salinidad Alto y Medio y este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo.

En el sector Sureste se puede cultivar la Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz, Maíz Dulce, Naranja, Papa y uva, debido a que este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo y Medio, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Suroeste no se pueden sembrar los tipos de cultivos descritos en el APÉNDICE K, debido a que estos cultivos presentan tolerancias para niveles de salinidad Alto y Medio y este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo.

En el sector Oeste no se pueden sembrar los tipos de cultivos descritos en el APÉNDICE K, debido a que estos cultivos presentan tolerancias para niveles de salinidad Alto y Medio y este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo.

En el sector Este se puede cultivar la Caña de Azúcar, Cebolla, Maíz, Maíz Dulce, Naranja, Papa y uva, debido a que este sector de la zona presenta niveles de salinidad clasificados como Bajo y Medio, que son tolerados por estos cultivos.

Sodio Intercambiable (% Na).

En el *APÉNDICE L* se detalla una tabla, en la que se indica los requerimientos que presentan varios cultivos, para esta variable.

En el sector Norte se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Bajo y Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Noreste se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Maíz, Maní y Naranja, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Bajo, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Noroeste se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Bajo y Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Centro se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Bajo y Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Sur se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Sureste se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Bajo y Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Suroeste se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable

clasificados como Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Oeste se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Cebolla, Maíz, Maní, Naranja y Trigo, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Moderado, que son tolerados por estos cultivos.

En el sector Este se puede cultivar el Algodón (Germinación), Arveja, Maíz, Maní y Naranja, debido a que este sector de la zona presenta niveles de sodio intercambiable clasificados como Bajo, que son tolerados por estos cultivos.

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 un 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 Catión 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.

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.

1. 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

2. 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.

3. 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.

4. 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

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

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.

3. Mayor número de observaciones que puedan representar las características de la zona de la zona, para determinar la tendencia que presentan cada una de las variables, por medio de los Variogramas y poder obtener así mejores estimaciones.

APÉNDICES

APÉNDICE A

ANÁLISIS QUÍMICO DEL LABORATORIO.

Perfil	Clasificación	Morfología	Profundidad	Nomenclatura	Textura	pH	CE mmhos/cm	MO %	CIC meq/100 gr.	Bases meq./100gr.				
										Na	K	Ca	Mg	Σ
			00 - 30	Ah	AL	7.0	0.4	3.8	37	4.0	0.6	29	3	36.6
			30 - 70	Bs	AL	7.4	0.3	2.8	36	3.0	0.3	28	3	34.3
1	V.C.	C.M.	70 - 130	C	Aar	7.4	0.2	1.0	34	4.0	0.2	27	2	33.2
			00 - 20	Ah	FL	6.7	0.3	4.0	32	0.4	0.2	27	4	31.6
			20 - 40	Bs	FA	6.5	0.4	2.0	40	0.4	0.2	31	8	39.6
26	T.C.	C.M.	40 - 100	C	FAAr	6.4	0.4	1.0	28	0.4	0.2	20	7	27.6
			00 - 20	Ah	AL	7.7	0.3	2.5	37	4.0	0.4	29	3	36.4
			20 - 100	C1	Ap	7.9	0.3	1.0	40	7.0	0.3	29	3	39.3
28	V.T.	V.Co.	100 - 150	C2	A	8.2	0.3	1.0	40	8.0	0.1	26	5	39.1
			00 - 15	Ah	FAAr	7.7	1.3	3.8	27	1.0	0.1	23	2	26.1
			15 - 60	C1	FAr	7.9	2.0	3.0	26	1.5	0.1	22	2	25.6
30	T.To.	V.A.	60 - 120	C2	FAL	7.9	3.0	0.8	23	2.0	0.2	19	1	22.2
			00 - 15	Ah	FAr	7.1	0.4	3.7	41	0.4	3.0	33	4	40.4
			15 - 35	C1	FA	6.8	0.2	2.8	37	0.2	2.0	31	3	36.2
31	T.T	C.M.	35 - 80	C2	FA	6.8	0.2	1.9	36	0.2	1.0	32	2	35.2
			00 -40	Ah	AL	7.7	0.5	2.2	41	2.0	0.2	35	3	40.2
			40 - 90	C1	A	7.7	1.8	1.9	40	1.0	0.2	35	3	39.2
32	V.T.	V.A.	90 - 150	C2	AL	7.5	2.0	1.4	42	1.0	0.1	36	4	41.1
			00 - 20	Ah	F	6.6	0.4	2.0	12	2.0	0.1	7	2	11.1
34	T.P	C.B.	20 - 40	Bt	A	6.8	2.1	1.4	27	2.0	0.1	21	3	26.1

V.A: Valle Aluvial V.Co: Valle Coluvial C.M: Colina Media C.B: Colina Baja

V.C: Vertic Camborthid T.C: Typic Camborthid V.T: Vertic Torrifluvent T.T: Typic Torriorthent T.P: Typic Paleargid

A: Arcilla F: Franco FA: Franco Arcillosos FAr: Franco Arenosos FAAr: Franco Arcillo Arenosos FL: Franco Limosos FAL: Franco Arcillosos Limoso

AL: Arcillo Limoso

APÉNDICE B

En el presente Anexo, se detallan las tablas de valores que se adoptaron para la clasificación del contenido de concentración, que presentan las características químicas y nutrimentos del suelo de la zona de estudio de Villingota – Zapotal.

Valores	Interpretación pH
< 4.0	Extremadamente Ácido
4.0 - 5.0	Muy Fuertemente Ácido
5.0 - 5.5	Fuertemente Ácido
5.5 - 6.0	Moderadamente Ácido
6.0 - 6.7	Ligeramente Ácido
6.7 - 7.3	Rango Neutro
7.0	Neutro
7.3 - 8.0	Débilmente Alcalino
8.0 - 8.5	Moderadamente Alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente Alcalino
9.0 - 10.0	Muy Fuertemente Alcalino
> 10.0	Extremadamente Alcalino

FUENTE: LIBRO (BIBLIOTECA DE LA AGRICULTURA).

Valores	Interpretación C.E. (mmhos/cm)
< 1.0	Bajo
1.0 - 2.0	Medio
> 2.0	Alto

FUENTE: PÁG.(GUÍA INTERP. PRUEBA DE SUELOS)

APÉNDICE C

Valores	Interpretación % MO
< 1.0	Muy Bajo
1.0 - 1.5	Bajo
1.5 - 2.0	Normal
> 2.0	Alto

FUENTE: ENCICLOPEDIA DE LA AGRIC. Y GANAD.

Valores	Interpretación C. I. C. (meq./100 gr.)
< 5.0	Pobre
5.0 – 10.0	Bajo
10.0 - 15.0	Normal Bajo
15.0 - 25.0	Normal Alto
25.0 - 40.0	Alto
> 40.0	Muy Alto

FUENTE: LIBRO (ENCICLOPEDIA DE LA AGRIC.)

Valores	Interpretación % Na
< 10.0	Bajo
10.0 - 20.0	Moderado
20.0 -30.0	Alto
> 30.0	Muy Alto

FUENTE: PÁG.(GUÍA INTERP. PRUEBA DE SUELOS)

APÉNDICE D

Valores	Interpretación K (meq./100 gr.)
< 0.4	Bajo
0.4 - 0.6	Medio
0.6 –2.0	Alto
> 2.0	Excesivo

FUENTE: PÁG.(GUÍA INTERP. PRUEBA SUELOS)

Valores	Interpretación Ca (meq./100 gr.)
< 5.0	Bajo
5.0 – 10.0	Medio
> 10.0	Alto

FUENTE: PÁG.(GUÍA INTERP. PRUEBA SUELOS

Valores	Interpretación Mg (meq./100 gr.)
< 0.5	Bajo
0.5 - 1.5	Medio
> 1.5	Alto

FUENTE: PÁG.(GUÍA INTERP. PRUEBA SUELOS)

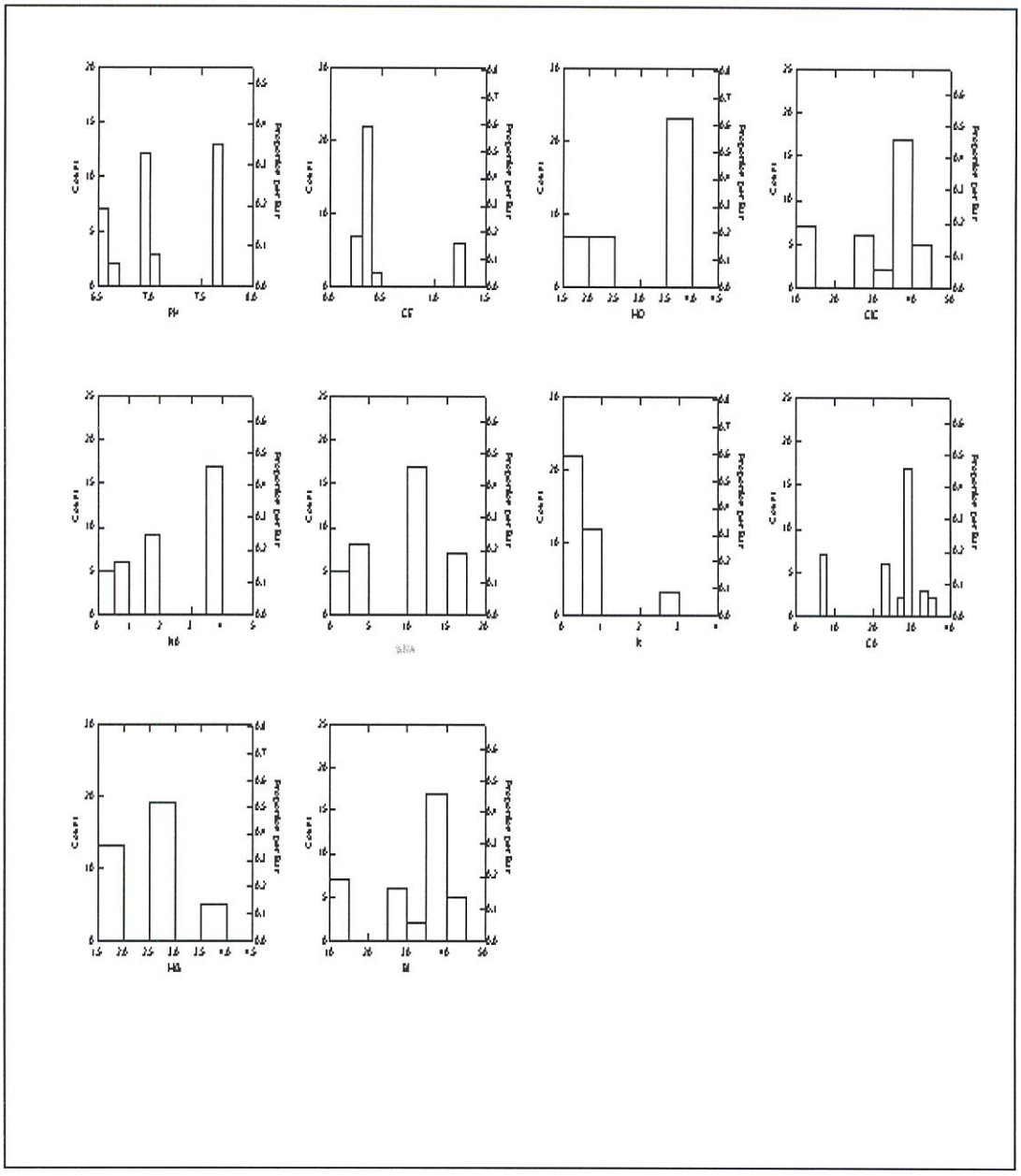
APÉNDICE E

ANÁLISIS UNIVARIADO DE LAS VARIABLES DE INTERÉS.

Análisis Univariado	Variables de Interés									
	pH	Ce	MO	CIC	Na	% Na	K	Ca	Mg	Base Interc.
Mínimo	6.600	0.3	2.000	12.000	0.4	0.976	0.1	7.000	2.000	11.100
Máximo	7.700	1.300	4.000	41.000	4.000	16.667	3.000	35.000	4.000	40.400
Rango	1.100	1.000	2.000	29.000	3.600	15.691	2.900	28.000	2.000	29.300
Sesgo	0.193	1.831	-0.604	-1.078	-0.187	-0.133	2.769	-1.225	0.283	-1.075
Kurtosis	-1.494	1.584	-1.580	-0.303	-1.671	-1.082	6.970	0.111	-0.714	-0.33
Mediana	7.000	0.4	3.800	37.000	2.000	10.811	0.4	29.000	3.000	36.400
Media	7.162	0.532	3.200	30.919	2.541	9.131	0.549	24.405	2.784	30.278
Varianza	0.187	0.119	0.64	103.79	2.111	27.281	0.591	81.970	0.452	107.057
Desv. Estándar	0.432	0.346	0.8	10.188	1.453	5.223	0.769	9.054	0.672	10.347
Coef. Variación	0.06	0.649	0.25	0.33	0.572	0.572	1.401	0.371	0.241	0.342
N° Observaciones	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

APÉNDICE F

GRÁFICO DE HISTOGRAMAS.



APÉNDICE G

MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS.

	pH	CE	MO	CIC	Na	% Na	K	Ca	Mg	Base Interc.
pH	0.187	0.079	0.047	2.064	0.001	-1.158	-0.019	2.077	-0.011	2.047
CE	0.079	0.119	0.09	-0.622	-0.242	-0.817	-0.065	-0.23	-0.126	-0.664
MO	0.047	0.09	0.64	4.556	-0.032	-2.582	0.191	4.278	0.219	4.656
CIC	2.064	-0.622	4.556	103.799	4.956	-29.059	3.765	91.450	5.232	105.404
Na	0.001	-0.242	-0.032	4.956	2.111	4.279	-0.228	3.197	0.065	5.144
% Na	-1.158	-0.817	-2.582	-29.059	4.279	27.281	-1.688	-30.068	-1.678	-29.156
K	-0.019	-0.065	0.191	3.765	-0.228	-1.688	0.591	3.108	0.347	3.817
Ca	2.077	-0.23	4.278	91.450	3.197	-30.068	3.108	81.970	4.479	92.753
Mg	-0.011	-0.126	0.219	5.232	0.065	-1.678	0.347	4.479	0.452	5.342
Base Interc.	2.047	-0.664	4.656	105.404	5.144	-29.156	3.817	92.753	5.342	107.057

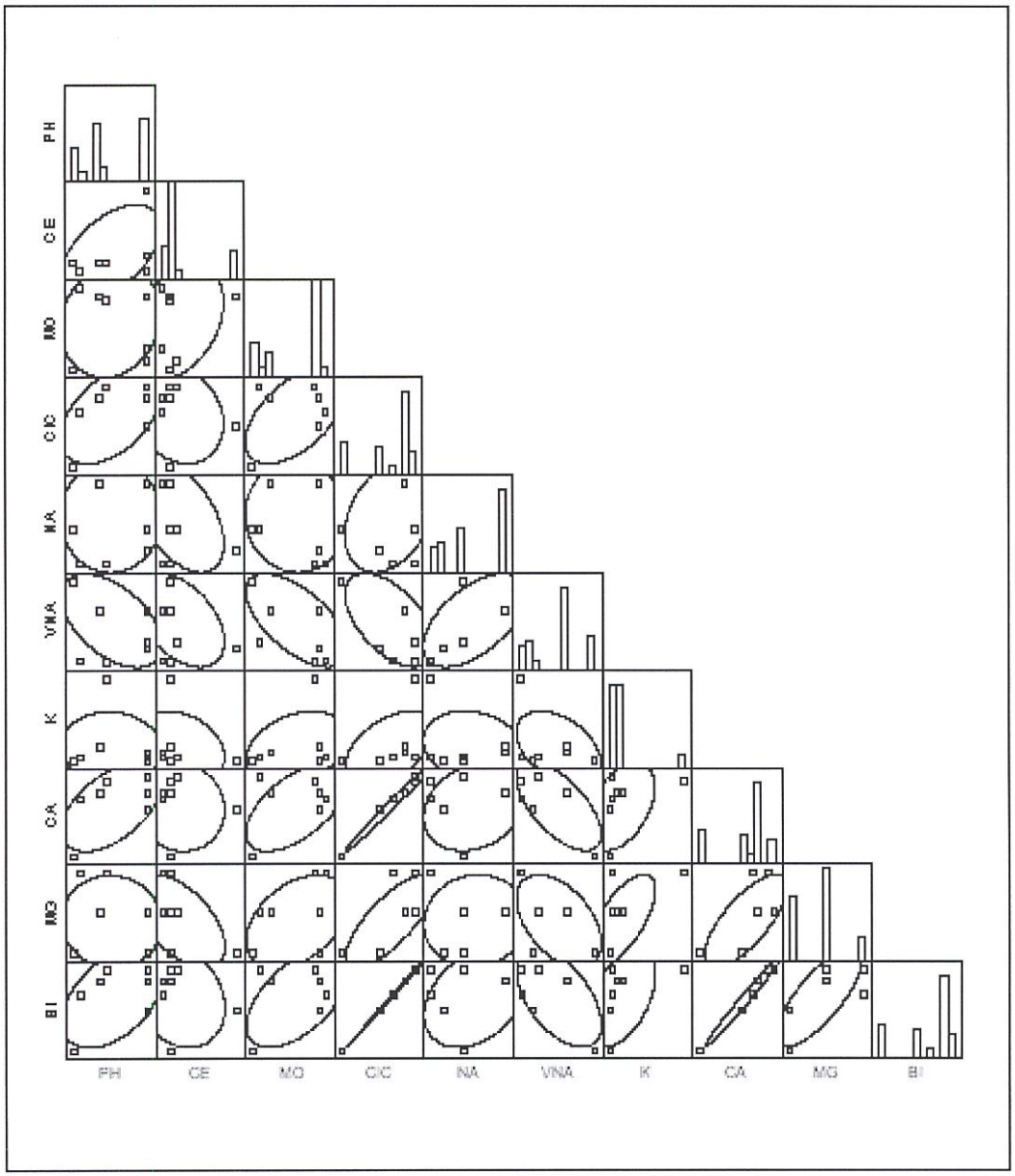
APÉNDICE H

MATRIZ DE CORRELACIÓN.

	pH	CE	MO	CIC	Na	% Na	K	Ca	Mg	Base Interc.
pH	1.000									
CE	0.527	1.000								
MO	0.137	0.324	1.000							
CIC	0.469	-0.177	0.559	1.000						
Na	0.002	-0.483	-0.028	0.335	1.000					
% Na	-0.513	-0.453	-0.618	-0.546	0.564	1.000				
K	-0.058	-0.246	0.31	0.481	-0.204	-0.421	1.000			
Ca	0.531	-0.074	0.591	0.991	0.243	-0.636	0.447	1.000		
Mg	-0.038	-0.543	0.408	0.764	0.066	-0.478	0.671	0.736	1.000	
Base Interc.	0.458	-0.186	0.562	1.000	0.342	-0.539	0.48	0.99	0.768	1.000

APÉNDICE I

GRÁFICO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.



APÉNDICE J

TIPOS DE CULTIVOS QUE PRESENTAN TOLERANCIA PARA EL PH

pH (Acidez)				
Tipo de Cultivo	**Temperatura**	**Precipitación (mm)**	**pH**	**Interpretación del nivel de pH**
Algodón	20-35	600-80	6 - 7	Ligeramente Ácido, Rango Neutro
Arroz	25-35	1500	5.5 - 6.5	Moderadamente Ácido, Ligeramente Ácido
Banano	18-35	1800	5.0 - 8.0	Fuert. Ácido, Mod. Ácido, Lig. Ácido, Rang. Neutro, Deb. Alcalino
Cacao	20-30	+1500	6.0 - 7.5	Lig. Ácido, Rang. Neutro, Deb. Alcalino
Café	20-25	1300-1800	5.5 - 6.5	Moderadamente Ácido, Lig. Ácido
Caña de azúcar	24 - 37	1300-1500	7.0	Neutro
Cítricos	23 - 30	1600-2000	6.0 - 7.0	Lig. Ácido, Rang. Neutro, Neutro
Cocotero	> 22	1500-2000	5.0 - 8.0	Fuert. Ácido, Mod. Ácido, Lig. Ácido, Rang. Neutro, Deb. Alcalino
Maíz	20-30	800-1000	5.5 - 8.0	Mod. Ácido, Lig. Ácido, Rang. Neutro, Deb. Alcalino
Mango	> 24	800-1000	5.7 - 6.5	Moderadamente Ácido, Lig. Acido
Maracuya	24-28	1500-2000	6.0 - 6.7	Ligeramente Ácido, Rango Neutro
Melón	24-32	500-600	6.0 - 7.0	Lig. Ácido, Rang. Neutro, Neutro
Palma africana	22-33	> 2000	6.0	Ligeramente Ácido
Papaya	21-33	> 1500	6 - 7	Ligeramente Ácido, Rango Neutro
Piña	22-27	1300-1500	5.0 - 6.5	Fuert. Ácido, Mod. Ácido, Lig. Ácido
Plátano	18-37	1800-2500	6 - 7	Ligeramente Ácido, Rango Neutro
Sorgo	21-32	500	5.0 - 8.5	Fuert. Ácido, Mod. Ácido, Lig. Ácido, Rang. Neutro, Deb. Alcalino, Mod. Alcalino
Soya	22-25	500-600	6.0 - 6.5	Ligeramente Ácido
Yuca	20-31	1300-1500	5.5-6.5	Moderadamente Ácido, Lig. Ácido

APÉNDICE K

TIPOS DE CULTIVOS QUE PRESENTAN TOLERANCIA CON LA C. E.

Conductividad Eléctrica (Salinidad)				
Tipo de Cultivo	**Temperatura**	**Precipitación**	**C. E.**	**Interpretación del nivel de C. E.**
Algodón	20-35	600-80	7.7	Alto
Arroz	25-35	1500	3.0	Alto
Caña de Azúcar	24 - 37	1300-1500	1.7	Medio
Cebada (Forrajera)	23 - 26	500 - 200	6.0	Alto
Cebada (Grano)	23 - 26	501 - 200	8.0	Alto
Cebolla	23 - 26	502 - 200	1.2	Medio
Maíz	20 - 30	505 - 200	1.7	Medio
Maíz Dulce	20 - 30	504 - 200	1.7	Medio
Maní	23 - 26	503 - 200	3.2	Alto
Naranja	23 - 26	506 - 200	1.7	Medio
Papa	23 - 26	507 - 200	1.7	Medio
Soya	22-25	500-600	5.0	Alto
Trigo	23 -26	508 - 200	6.0	Alto
Uva	23 -26	509 - 200	1.5	Medio

APÉNDICE L

TIPOS DE CULTIVOS QUE PRESENTAN TOLERANCIA CON EL SODIO INTERCAMBIABLE.

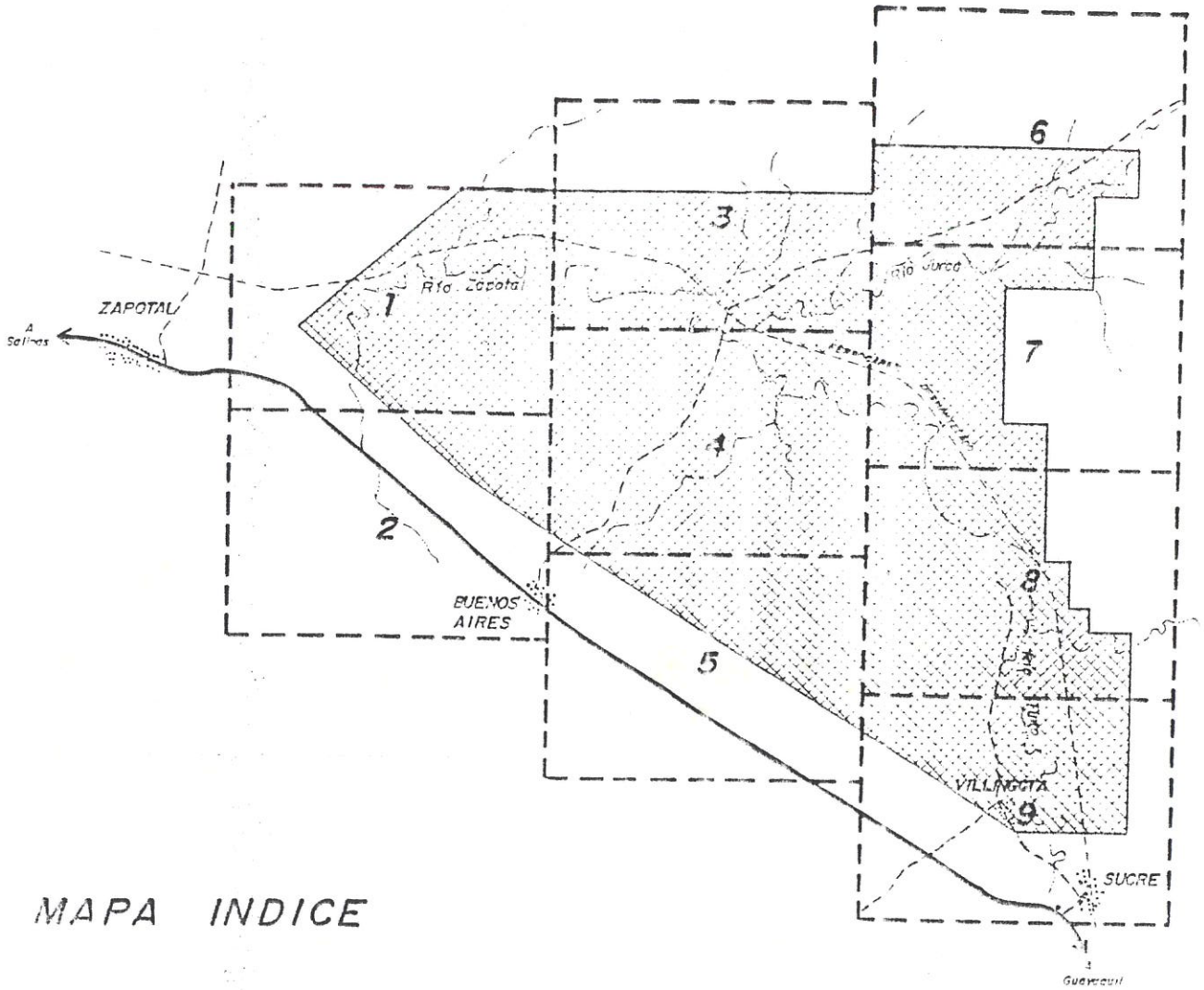
Saturación Sodio Intercambiable				
Tipo de Cultivo	**Temperatura**	**Precipitación**	**% Na**	**Interpretación del nivel de % Na**
Algodón (Germinación)	20 -35	500 - 200	< 15	Bajo, Moderado
Algodón	20 -35	500 - 200	> 40	Muy Alto
Arveja	23 -26	500 - 200	< 15	Bajo, Moderado
Cebada	23 -26	500 - 200	> 40	Muy Alto
Cebolla	23 -26	500 - 200	15 - 40	Moderado, Alto, Muy Alto
Maíz	23 -26	500 - 200	< 15	Bajo, Moderado
Maní	23 -26	500 - 200	< 15	Bajo, Moderado
Naranja	23 -26	500 - 200	< 15	Bajo, Moderado
Trigo	23 -26	500 - 200	15 - 40	Moderado, Alto, Muy Alto

APÉNDICE M

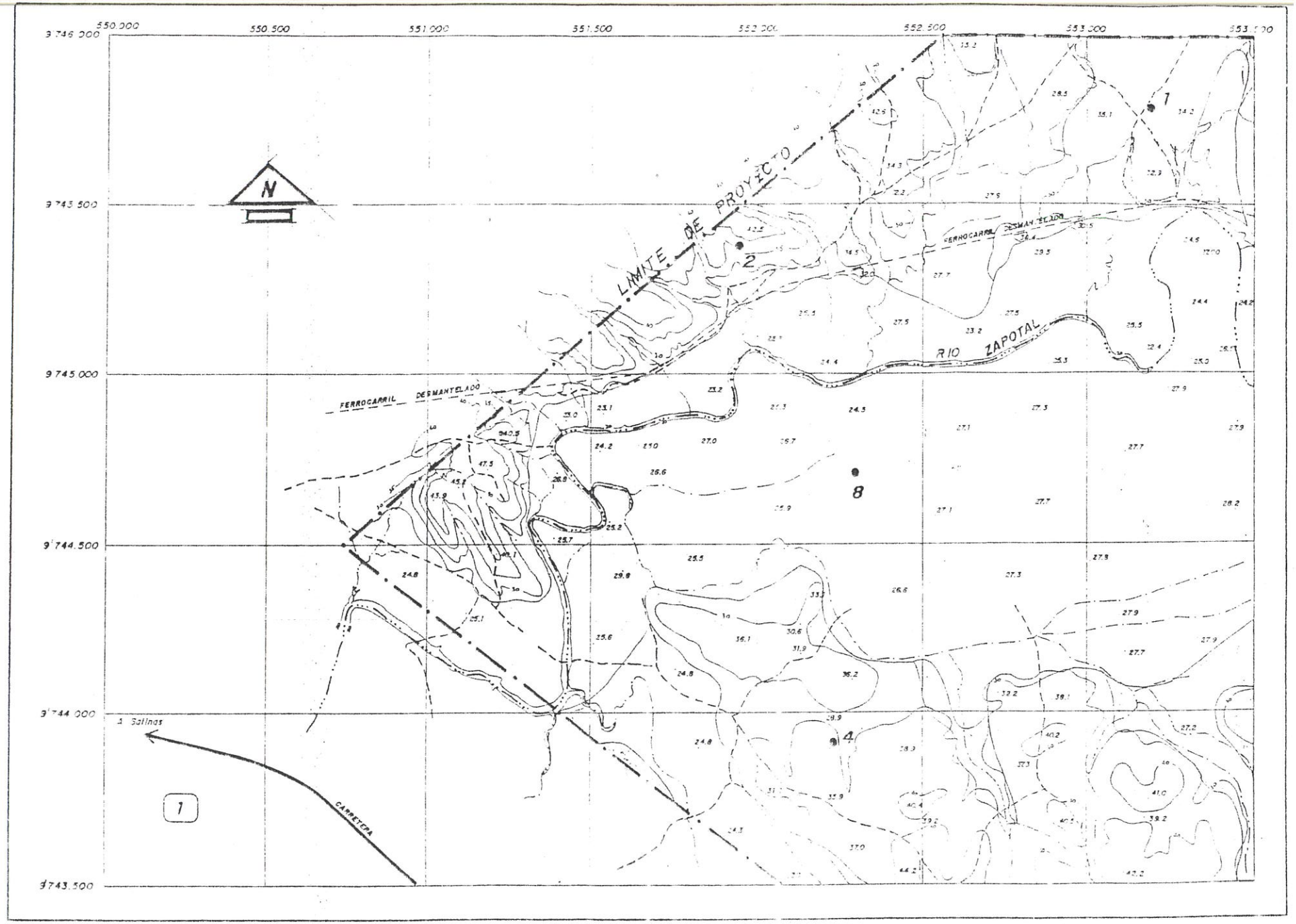
DATOS DE LAS UNIDADES DE OBSERVACIÓN.

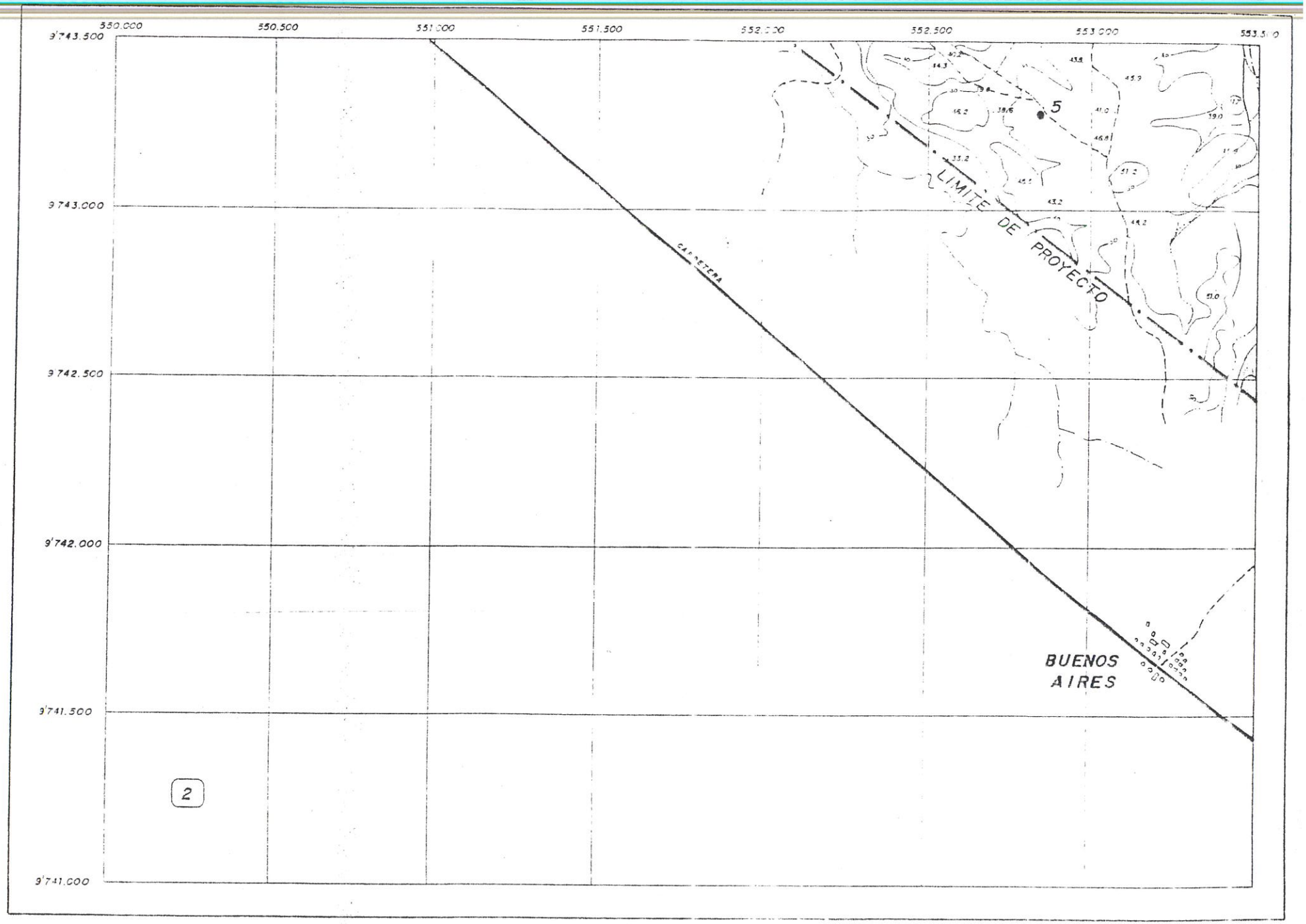
N°.	Este (X)	Norte (Y)	Ph	Ce	Mo %	CIC	Na %	Base Intercambio				
								Na	K	Ca	Mg	Σ
1	553185.7	9745789.9	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
2	551942	9745371.4	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
3	555422.5	9745414.3	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
4	552228.6	9743907.1	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
5	552842.9	9743277.8	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
6	554707.1	9745673.6	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
7	555685.7	9745242.9	7.7	0.3	2.5	37.0	10.8	4.0	0.4	29.0	3.0	36.4
8	552289.9	9744700	7.7	1.3	3.8	27.0	3.7	1.0	0.1	23.0	2.0	26.1
9	554035.7	9743964.8	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
10	553774.6	9742598.6	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
11	554915.5	9743443.7	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
12	553867.6	9744781.7	7.7	0.3	2.5	37.0	10.8	4.0	0.4	29.0	3.0	36.4
13	554950.7	9743978.9	7.7	1.3	3.8	27.0	3.7	1.0	0.1	23.0	2.0	26.1
14	556612.7	9745626.8	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
15	555171.4	9743063.4	7.7	0.5	2.2	41.0	4.9	2.0	0.2	35.0	3.0	40.2
16	555826.1	9743147.9	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
17	555949.3	9744232.4	7.7	0.3	2.5	37.0	10.8	4.0	0.4	29.0	3.0	36.4
18	557335.7	9745076.4	7.7	0.3	2.5	37.0	10.8	4.0	0.4	29.0	3.0	36.4
19	556750	9741197.2	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
20	557335.7	9743028.6	7.7	1.3	3.8	27.0	3.7	1.0	0.1	23.0	2.0	26.1
21	557601.4	9746071.4	6.7	0.3	4.0	32.0	1.3	0.4	0.2	27.0	4.0	31.6
22	558763.9	9745781.7	7.7	1.3	3.8	27.0	3.7	1.0	0.1	23.0	2.0	26.1
23	558085.7	9745063.4	7.1	0.4	3.7	41.0	1.0	0.4	3.0	33.0	4.0	40.4
24	557705.9	9741183.1	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
25	558085.7	9744056.3	7.1	0.4	3.7	41.0	1.0	0.4	3.0	33.0	4.0	40.4
26	558857.1	9743098.6	6.7	0.3	4.0	32.0	1.3	0.4	0.2	27.0	4.0	31.6
27	558197.2	9742166.7	7.7	1.3	3.8	27.0	3.7	1.0	0.1	23.0	2.0	26.1
28	558414.3	9743084.5	7.7	0.3	2.5	37.0	10.8	4.0	0.4	29.0	3.0	36.4
29	558570.4	9741407.1	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
30	558880.3	9740746.5	7.7	1.3	3.8	27.0	3.7	1.0	0.1	23.0	2.0	26.1
31	559764.3	9739576.4	7.1	0.4	3.7	41.0	1.0	0.4	3.0	33.0	4.0	40.4
32	559264.3	9739472.2	7.7	0.5	2.2	41.0	4.9	2.0	0.2	35.0	3.0	40.2
33	558771.4	9739395.8	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
34	557630.4	9740069.4	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
35	557426.5	9742472.2	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6
36	554389.7	9741951.4	6.6	0.4	2.0	12.0	16.7	2.0	0.1	7.0	2.0	11.1
37	555607.1	9741888.9	7.0	0.4	3.8	37.0	10.8	4.0	0.6	29.0	3.0	36.6

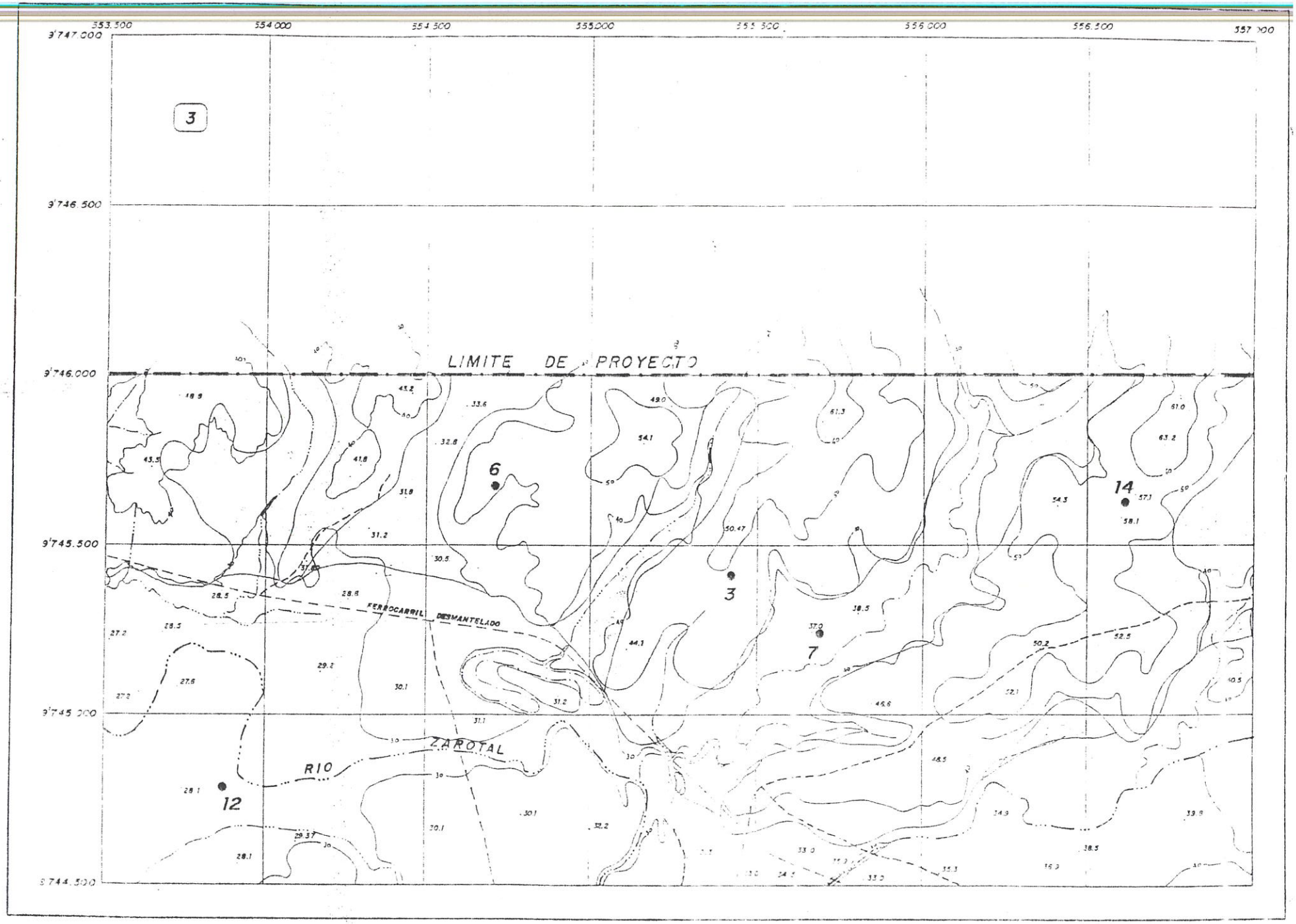
PLANOS

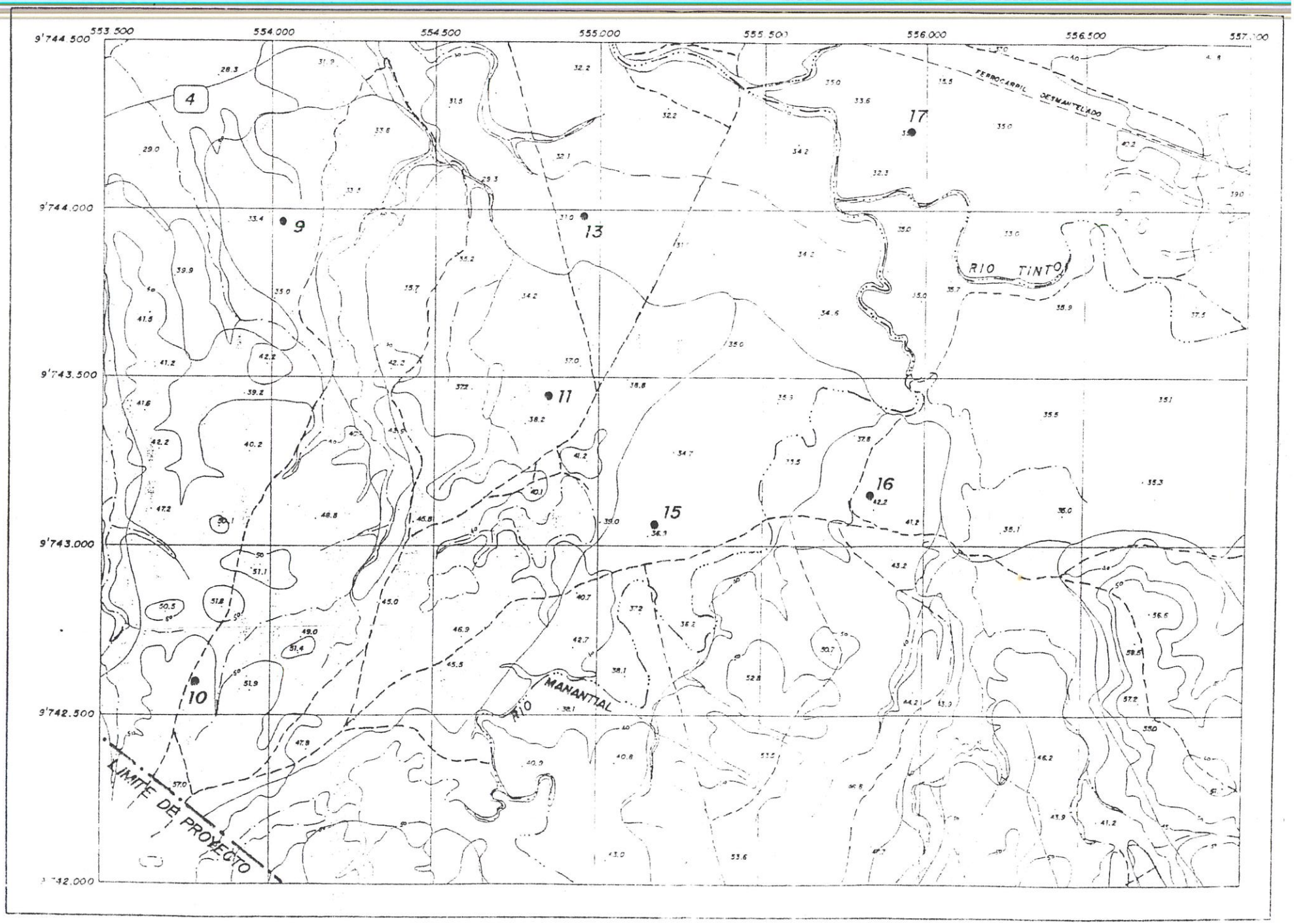

ZAPOTAL
A Salinas
Río Zapotal
Río Jurca
BUENOS AIRES
VILLINGOTA
SUCRE
Guayaquil
1
2
3
4
5
6
7
8
9

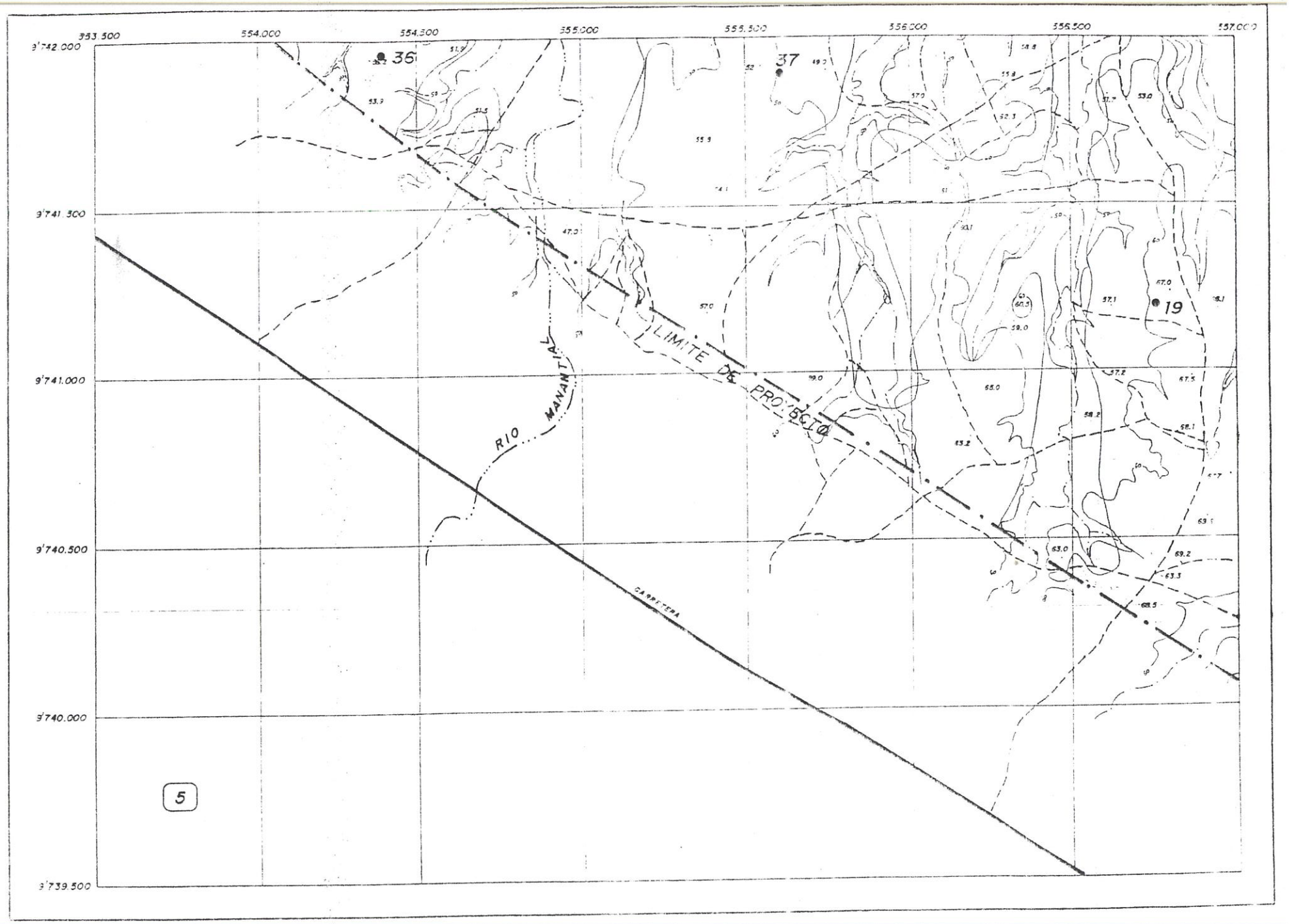
MAPA INDICE

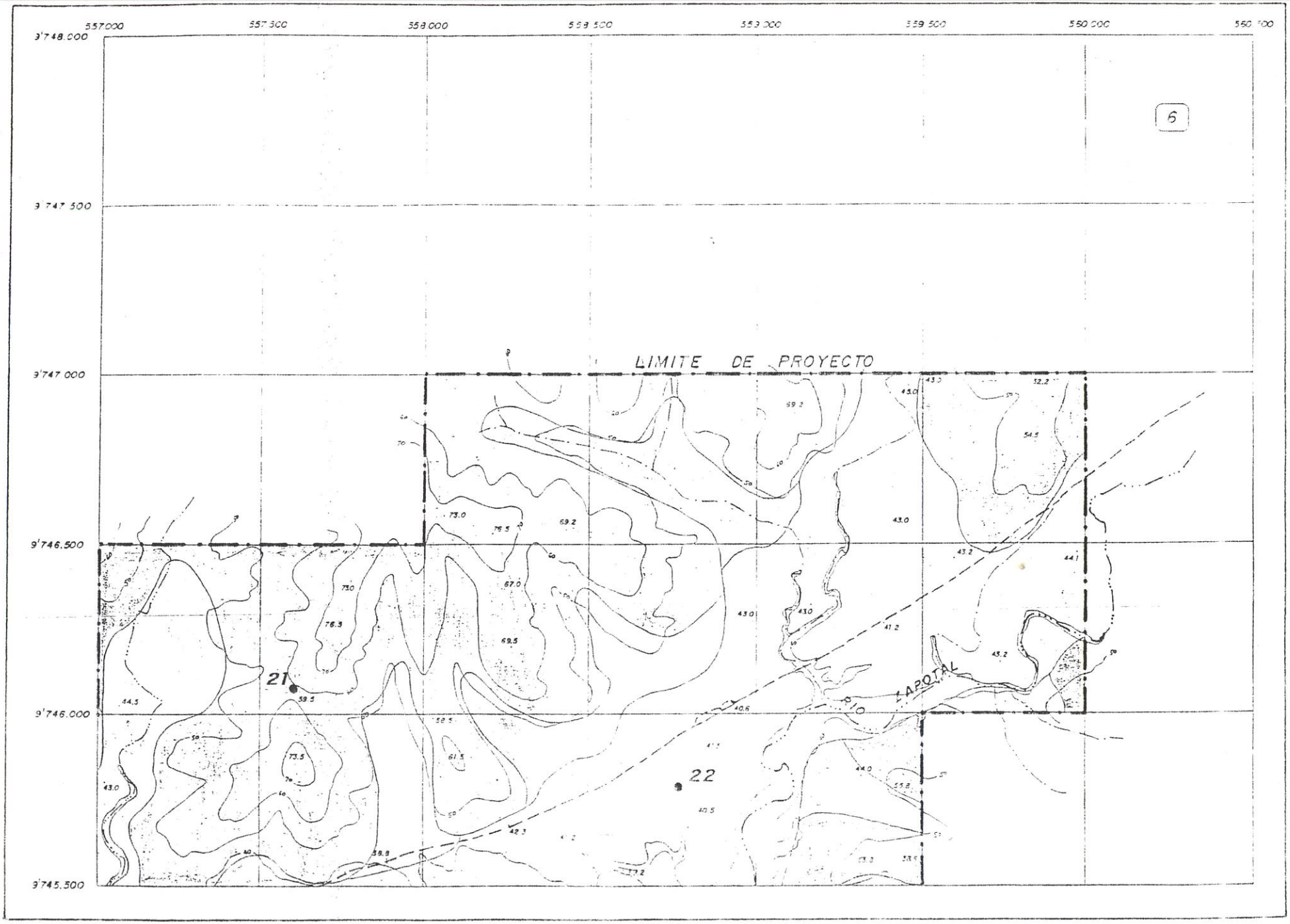

550.000
550.500
551.000
551.500
552.000
552.500
553.000
553.500
9'746.000
9'745.500
9'745.000
9'744.500
9'744.000
9'743.500
N
LIMITE DE PROYECTO
FERROCARRIL DESMANTELADO
FERROCARRIL DESMANTELADO
RIO ZAPOTAL
A Salinas
CARRETERA
1
2
4
8

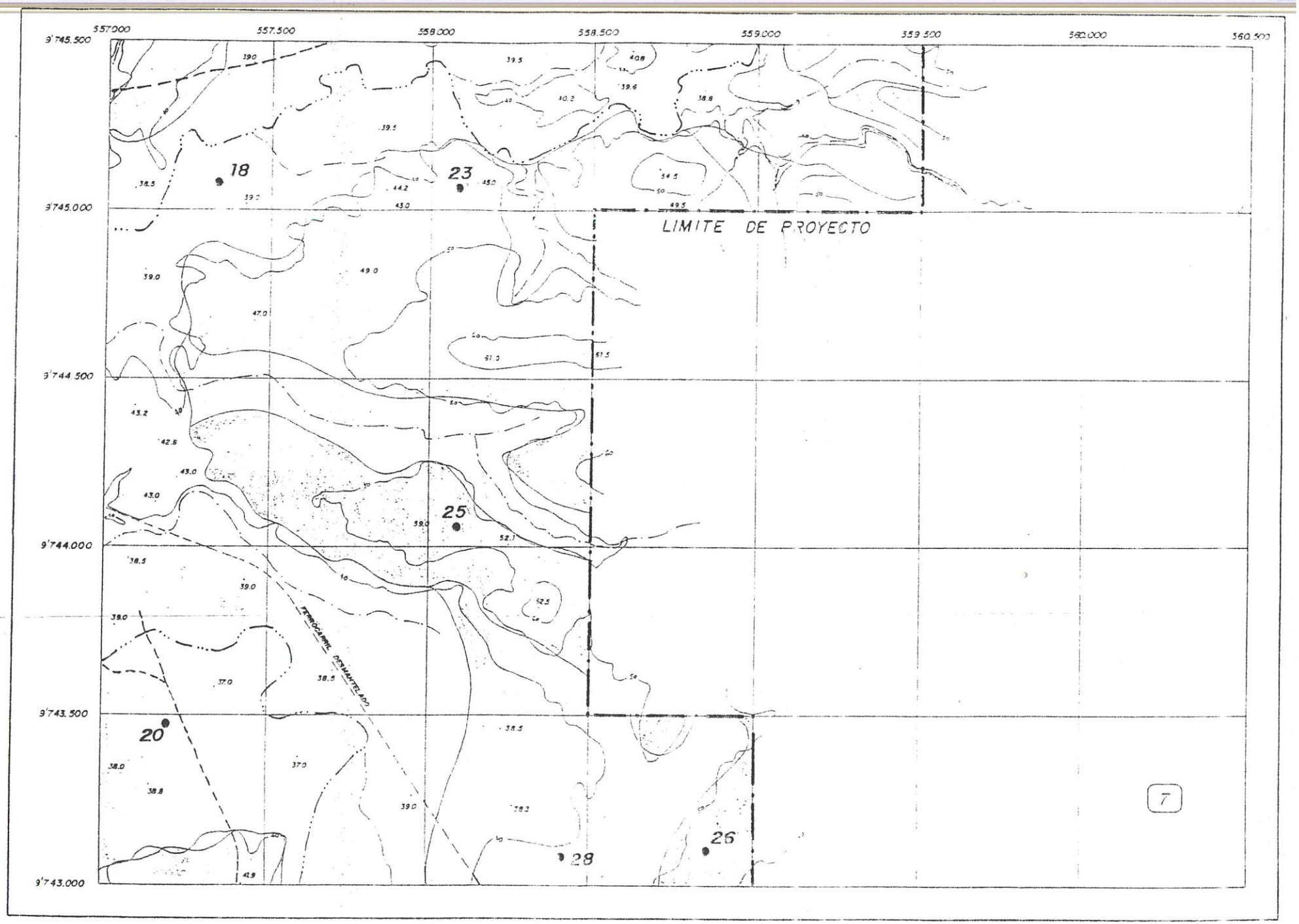

550.000
550.500
551.000
551.500
552.000
552.500
553.000
553.500
9'743.500
9'743.000
9'742.500
9'742.000
9'741.500
9'741.000
CARRETERA
LIMITE DE PROYECTO
BUENOS AIRES
5
2

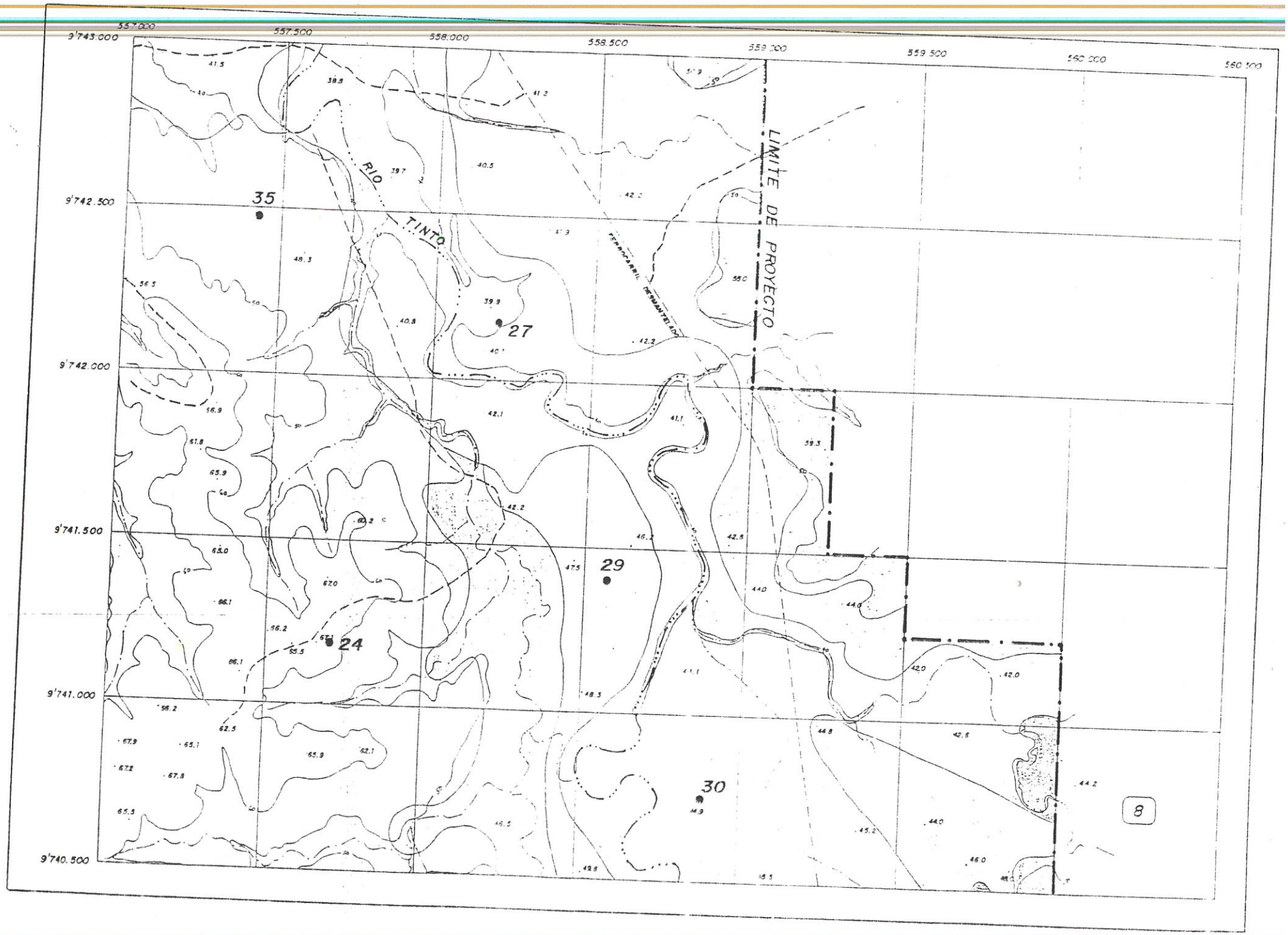

353.500
354.000
354.500
355.000
355.500
356.000
356.500
357.000
9'747.000
9'746.500
9'746.000
9'745.500
9'745.000
9'744.500
3
LIMITE DE PROYECTO
6
3
7
14
12
FERROCARRIL DESMANTELADO
ZARATAL
RIO

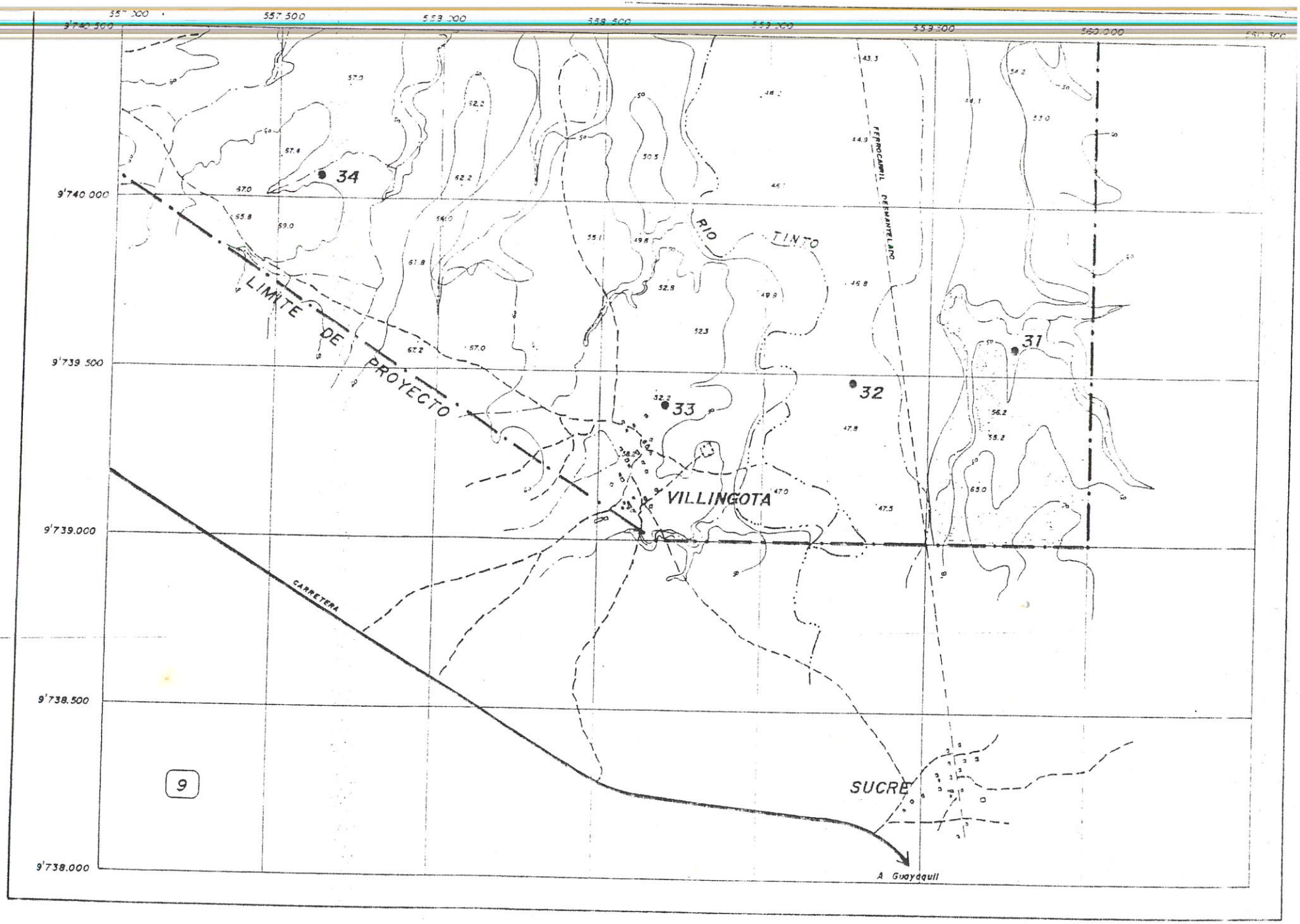

553.500
554.000
554.500
555.000
555.500
556.000
556.500
557.000
9'744.500
9'744.000
9'743.500
9'743.000
9'742.500
9'742.000
4
9
13
17
11
15
16
10
FERROCARRIL DESMANTELADO
RIO TINTO
MANANTIAL
RIO
LIMITE DEL PROYECTO


353.500
554.000
554.500
555.000
555.500
556.000
556.500
557.000
9'742.000
9'741.500
9'741.000
9'740.500
9'740.000
9'739.500
36
37
19
LIMITE DE PROYECTO
RIO MANANTIAL
CARRETERA
5


557.000
557.500
558.000
558.500
559.000
559.500
560.000
560.500
9'748.000
9'747.500
9'747.000
9'746.500
9'746.000
9'745.500
6
LIMITE DE PROYECTO
21
22
RIO LAPOTAL


557.000
557.500
558.000
558.500
559.000
559.500
560.000
560.500
9'745.500
9'745.000
9'744.500
9'744.000
9'743.500
9'743.000
LIMITE DE PROYECTO
18
23
25
20
28
26
7


557.000
557.500
558.000
558.500
559.000
559.500
560.000
560.500
9'743.000
9'742.500
9'742.000
9'741.500
9'741.000
9'740.500
LIMITE DE PROYECTO
RIO TINTO
FERROCARRIL (PERMANENTE)
35
27
29
24
30
8


557.500
553.000
558.500
559.500
560.000
9'740.000
9'739.500
9'739.000
9'738.500
9'738.000
34
33
32
31
LIMITE DE PROYECTO
RIO TINTO
FERROCARRIL DESMANTELADO
VILLINGOTA
CARRETERA
SUCRE
A Guayaquil
9

BIBLIOGRAFÍA

URBANO PEDRO Y MORO RAFAEL.
Sistemas Agrícolas con Rotaciones y Alternativas de Cultivos.

FOTH HENRY D.
Fundamentos de la Ciencia del Suelo.
Editorial Continental. México 1985

CODAHIA CARLOS.
Fertirrigación Cultivos Hortícolas y Ornamentales.
Ediciones Mundi-Prensa España 1997.

OCÉANO CENTRUM.
Enciclopedia Práctica de La Agricultura y Ganadería.
Impreso en Barcelona España en 1999.

IDEA BOOKS S.A.
LEXUS.
Biblioteca de la Agricultura.
Impreso en Barcelona España.

MERRIAM DANIEL F.
Geostatistics a Colloquium.
Chief of Geologic Research.
Kansas Geological Survey, La Universidad de Kansas.
Plenum Press. New York – London 1970.

DAVID MICHEL.
Geostatistical Ore Reserve Estimation.
Developments in Geomathematics 2).

Ámsterdam Oxford New – York 1977.

GOOVAERTS PIERRE.
Geostatistics for Natural Resources Evaluation.
New – York Oxford.
Oxfor University Press 1997.

INIAP
Clima, Suelos, Nutrición y Fertilización de Cultivos en el Litoral Ecuatoriano.
Manual Técnico #26.
Estación Experimental Pichilingue.
Diciembre de 1992

Manual Agrícola (Agripac)
Segunda Edición 1992.

Recomendaciones de Fertilización para los Principales Cultivos del Ecuador.

Lista de Cultivos (aptos) y sus requerimientos, resultado de un proyecto realizado para la zona de la península; proporcionado por la CIEC (ESPOL).

Direcciones en Internet.

Archivo PDF: Guía interpretación Prueba de Suelos

http://www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/components/1731-05.html

http://www.cache.nmsu.edu/

http://ncagr.com/cyber/kidswrld/plant/nutrient.htm

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

http://ohioline.osu.edu/index.html

http://www.ncagr.com/agronomi/sthome.htm