

ÍNDICE GENERAL

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

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

CAPÍTULO 2

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

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

CAPÍTULO 3

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

CAPÍTULO 4

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

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

CAPÍTULO 5

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

CAPÍTULO 6

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

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

CAPÍTULO 7

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

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

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

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

SIMBOLOGÍA

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| % Na | Sodio Intercambiable |
| $2\hat{\gamma}(h)$ | Estimación del variograma |
| $2\gamma(h)$ | Variograma |
| A | Horizonte de perfil |
| a | Menor rango de anisotropía |
| $a_?$ | Rango |
| a_F | 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 |
| w | Peso asignado |
| S | Sumatoria |
| F | 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.