



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Instituto de Ciencias Matemáticas**

**Ingeniería en Estadística Informática**

**“Análisis Espacial para medir el Índice de Infección  
de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella Fijiensis*)  
en una hacienda Bananera en el último  
trimestre del año 2005”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA**

**Presentada por:**

**Evelyn Anabell Véliz Morán**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2006**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios y a la Virgen Inmaculada. A mi Papá quien me enseñó que con sacrificio se consiguen las metas, a mi Mamá y a mis dos abuelitas quienes con su espíritu maternal fueron mi soporte en esta trayectoria.

Agradecer a las personas que te cambian la vida es una pequeña forma de retribuir el cariño que ellos guardan en sus Corazones para ti. Gracias a Jorge por su apoyo sin condiciones en todo momento, a Omar quien lucha día a día por sus sueños, a Simon y a mis buenos amigos.

## **DEDICATORIA**

Si tuviera que definir en una sola palabra lo que la ESPOL ha significado en mi vida, la llamaría DESAFÍO. Aprendí que el primer paso para materializar tus sueños es tener confianza en uno mismo, pero principalmente entendí que existe una Fuerza Divina que mueve los Corazones de todas las personas, la FE.

Dedico esta tesis a ese Ser Supremo que está conmigo día a día, a Dios, a esas personas que desde pequeña me inculcaron este sentimiento de FE, a mis padres y a un pilar muy importante que fue mi soporte en esta trayectoria universitaria, Mi Familia.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

ING. ROBERT TOLEDO  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

ING. OMAR RUIZ BARZOLA  
DIRECTOR DE TESIS

---

ING. MARGARITA MARTÍNEZ  
VOCAL

---

MSC. CESAR GUERRERO LOOR  
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”

---

Evelyn Anabell Véliz Morán

## RESUMEN

Este trabajo consiste en realizar un análisis espacial Geoestadístico para medir el índice de infección en la Agrícola Carmita (251 has.), se busca conocer los sectores más afectados en la hacienda por la Sigatoka Negra, enfermedad que afecta a las plantaciones de banano, causada por el hongo *Mycosphaerella Fijensis*. La recolección de datos fue realizada durante un período de doce semanas, seis semanas en época seca desde Octubre 27/05 hasta Diciembre 1/05 y seis semanas en época lluviosa desde Diciembre 8/05 hasta Enero 12/06.

Se recolectó información cualitativa de Preaviso Biológico y Severidad para obtener las variables de estudio índice de infección (IND), las muestras de suelo (arena y arcilla), y las observaciones (plantas) geo-posicionadas en cada sector. Conocer la relación que pueda tener la evolución del hongo con los tipos de suelo arena o arcilla fue importante para el desarrollo de este estudio.

Con el fin de obtener mejores estimaciones fue realizada una transformación logarítmica a las variables índice de infección LN(IND). Con estos datos se estudiaron los patrones de variación espacial de la infección en cada semana

mediante el uso de semivariogramas que fueron ajustados a modelos teóricos conocidos como gaussianos y/o esféricos.

Posteriormente, mediante un interpolador Geoestadístico conocido como Kriging Ordinario se obtuvieron los mapas de estimaciones y los mapas de varianza que fueron muy importantes para la toma de decisiones y para conocer los sectores más afectados por la enfermedad.

En el primer capítulo se hace una breve reseña de la producción bananera en el Ecuador, los suelos aptos para el cultivo del banano. Además se detalla una de las enfermedades más comunes en el banano, la Sigatoka Negra, su agente causal, los síntomas de evolución de la enfermedad, productos para el control de la Sigatoka Negra en una hacienda orgánica.

El segundo capítulo presenta algunos conceptos y herramientas Geostadísticas necesarias para el desarrollo del presente trabajo como: El efecto pepita, rango, semivariogramas, tipos de interpolación.

El tercer capítulo se presenta una breve introducción al software Geoestadístico que se uso para obtener los diferentes modelos de ajuste y los mapas de estimaciones.

El cuarto capítulo presenta la descripción de la zona de estudio, el método de muestreo aplicado para la obtención de datos, los métodos de recolección de datos cualitativos para obtener el índice de infección y los tipos de suelo.

En el Quinto capítulo se realiza el análisis Geoestadístico para todas las variables, mapas de estimaciones y mapas de varianza obtenidos para cada semana (1 – 12) y para los tipos de suelo (arena y arcilla). Finalmente se presentan las diferentes conclusiones y recomendaciones.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	III
SIMBOLOGÍA.....	IV
FÓRMULAS.....	V
INDICE DE GRÁFICOS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	VIII

### CAPITULO I

#### 1. ECUADOR Y LA SIGATOKA NEGRA

1.1. Generalidades de la producción bananera en el país.....	4
1.2. Suelos aptos para el cultivo de banano.....	5
1.3. Sigatoka Negra.....	6
1.3.1. Historia de la Sigatoka Negra.....	6
1.3.2. Sigatoka Negra en el Ecuador.....	9
1.3.3. Organismo Causal de la Sigatoka Negra.....	11
1.3.4. Sintomatología de la Sigatoka Negra.....	11
1.3.5. Propagación de la Sigatoka Negra.....	12

1.4. Técnicas de control de la Sigatoka Negra.....	12
1.4.1. Control de Sigatoka Negra en una hacienda	
Convencional.....	12
1.4.2. Control de Sigatoka Negra en una hacienda Orgánica..	14
1.5. Sistema de Preaviso Biológico.....	16
1.6. Estrategias de Manejo para Sigatoka Negra en Ecuador.....	18

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL DE LA GEOESTADÍSTICA

2.1. Reseña Histórica.....	21
2.2. Geoestadística.....	23
2.3. Variable Aleatoria Regionalizada.....	25
2.4. Variograma.....	26
2.4.1. Efecto Nugget.....	27
2.4.2. Sill.....	27
2.4.3. Rango .....	27
2.4.4. Escala.....	27
2.5. Cálculo del Variograma.....	28
2.6. Modelos teóricos del variograma.....	29
2.6.1. Efecto Pepita.....	30
2.6.2. Modelo Exponencial.....	30

2.6.3. Modelo Esférico.....	31
2.6.4. Modelo Gaussiano.....	32
2.6.5. Modelo con Función Potencia.....	32
2.6.6. Modelo Lineal.....	33
2.7. Anisotropía.....	34
2.7.1. Anisotropía Geométrica.....	34
2.7.2. Anisotropía Zonal.....	35
2.7.3. Anisotropía Híbrida .....	35
2.8. Kriging.....	36
2.8.1. Kriging Simple.....	38
2.8.2. Kriging Ordinario.....	38
2.8.3. Kriging de Punto.....	39
2.8.4. Kriging De Bloque.....	39
2.9. Variabilidad Espacial.....	40
2.10. Efecto del Rango en las Estimaciones.....	40
2.11. Efecto del Modelo es las Estimaciones.....	40
2.12. Efecto del Sill es las Estimaciones.....	41
2.13. Varianza de la Estimación.....	41

## CAPITULO III

### 3. HERRAMIENTA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

3.1. Tipos de Software.....	43
3.2. Descripción de los Software a utilizar.....	44
3.2.1. SADA.....	44
3.2.2. Variowin 2.2.....	45

## CAPITULO IV

### 4. ASPECTO BASICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. Zona de Estudio Agrícola Carmita .....	48
4.2. Método de Muestreo Aplicado.....	50
4.3. Método de Obtención de Datos .....	51
4.4. Evaluación del Estado de Infección.....	51
4.5. Preaviso Biológico.....	52
4.6. Estados de Desarrollo de la Sigatoka Negra.....	54
4.7. Recolección de Datos .....	57
4.7.1. Recolección de Muestras de Suelo.....	57
4.7.2. Recolección de Variables para Severidad.....	58
4.8. Cálculo del Índice de Infección.....	60
4.9. Variables Cuantitativas.....	62

## CAPITULO V

5. APLICACIÓN DE LA GEOESTADÍSTICA EN LA AGRÍCOLA CARMITA	
5.1. Análisis Univariado.....	65
5.2. Análisis Bivariado.....	67
5.2.1. Análisis de Correlación.....	67
5.3. Transformación de Datos.....	69
5.3.1. Análisis Univariado para las Variables transformadas.....	69
5.3.2. Diagramas de Cajas.....	82
5.4. Metodología del Análisis .....	83
5.5. Análisis de Resultados.....	86
5.5.1. Análisis Geoestadístico IND1.....	88
5.5.2. Análisis Geoestadístico IND2.....	92
5.5.3. Análisis Geoestadístico IND3.....	98
5.5.4. Análisis Geoestadístico IND4.....	103
5.5.5. Análisis Geoestadístico ND5.....	108
5.5.6. Análisis Geoestadístico IND6.....	113
5.5.7. Análisis Geoestadístico IND7.....	118
5.5.8. Análisis Geoestadístico IND8.....	123
5.5.9. Análisis Geoestadístico ND9.....	129

5.5.10.	Análisis Geoestadístico IND10.....	134
5.5.11.	Análisis Geoestadístico IND11.....	135
5.5.12.	Análisis Geoestadístico IND12.....	135
5.5.13.	Análisis Geoestadístico ARCILLA.....	140
5.5.14.	Análisis Geoestadístico ARENA.....	145

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

SN	Sigatoka Negra
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CV	Coefficiente de Variación
EE	Estado de la Evolución
GPS	Global Position System
Ha.	Hectáreas
IND	Índice de Infección
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetros
KO	Kriging Ordinario
Lag	Distancia constante de incremento entre muestras
LN(IND)	Logaritmo Natural de Índice de Infección
mtr.	Metros
Pcf.	Extensión de archivo del Variowin
PH	Nivel de Hidrógeno
S.A	Sociedad Anónoma
SADA	Análisis Espacial y Ayuda de Decisión
UTM	Universal Transversal Mercator
Var/Km	Variación por Kilómetro

## SIMBOLOGÍA

$n \times n$	Dimensiones
%	Porcentaje
$2Y(h)$	Variograma
A	Rango
C	Sill
C1	Escala
Co	Efecto Nugget
Ct	Escala
h	Distancia
$\ln(X_i)$	Logaritmo Natural de la variable
$N(h)$	Número de pares
$N_p(h)$	Número de pares a la distancia h
$R^n$	Espacio n-dimensional
x	Punto en el Espacio
$Y(h)$	Semivariograma
$Z(X)$	Variable regionalizada
$\sum$	Sumatoria

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Costos del Banano .....	19
Tabla II. Porcentajes de Textura de Suelo .....	58
Tabla III. Recolección de Variables Cualitativas para Severidad .....	60
Tabla IV. Aplicación para la Obtención del IND .....	61
Tabla V. Correlación entre las variables IND y Tipo de Suelo .....	68
Tabla VI. Comparación entre IND1 vs. LN(IND1) .....	70
Tabla VII. Comparación entre IND2 vs. LN(IND2) .....	71
Tabla VIII. Comparación entre IND3 vs. LN(IND3) .....	72
Tabla IX. Comparación entre IND4 vs. LN(IND4) .....	73
Tabla X. Comparación entre IND5 vs. LN(IND5) .....	74
Tabla XI. Comparación entre IND6 vs. LN(IND6) .....	75
Tabla XII. Comparación entre IND7 vs. LN(IND7) .....	76
Tabla XIII. Comparación entre IND8 vs. LN(IND8) .....	77
Tabla XIV. Comparación entre IND9 vs. LN(IND9) .....	78
Tabla XV. Comparación entre IND10 vs. LN(IND10) .....	79
Tabla XVI. Comparación entre IND11 vs. LN(IND11) .....	80
Tabla XVII. Comparación entre IND12 vs. LN(IND12) .....	81

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2.1 Elementos del Variograma .....	26
Figura 2.2 Grafico del Efecto Pepita .....	30
Figura 2.3 Grafico del Modelo Exponencial .....	30
Figura 2.4 Grafico del Modelo Esférico .....	31
Figura 2.5 Grafico del Modelo Gaussiano .....	32
Figura 2.6 Grafico del Modelo Lineal .....	33
Figura 2.7 Grafico de Anisotropía Geométrica .....	34
Figura 2.8 Grafico de Anisotropía Zonal .....	35
Figura 2.9 Grafico de Anisotropía Híbrida .....	36
Figura 2.10 Grafico de Kriging de Punto .....	39
Figura 4.1 Zona de Estudio Agrícola Carmita .....	49
Figura 4.2 Estados Hoja Candela Escala Brun (1963) .....	53
Figura 4.3 Escala de Stover modificada por Gauhl (1989) .....	56
Figura 4.4 Conteo de Hojas para Severidad .....	59
Figura 5.1 Comparación Diagrama de Cajas entre variables IND vs. LN(IND) .....	83
Figura 5.2 Pantalla del tercer Módulo MODEL .....	84
Figura 5.3 Semivariograma y Modelo Ajustado IND1 .....	88
Figura 5.4 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND1 .....	89
Figura 5.5 Mapa de Estimaciones IND1 .....	90
Figura 5.6 Mapa de Varianza IND1 .....	91

Figura 5.7 Semivariograma y Modelo Ajustado IND2	93
Figura 5.8 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND2	94
Figura 5.9 Mapa de Estimaciones IND2	95
Figura 5.10 Mapa de Varianza IND2	97
Figura 5.11 Semivariograma y Modelo Ajustado IND3	98
Figura 5.12 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND3	100
Figura 5.13 Mapa de Estimaciones IND3	103
Figura 5.14 Mapa de Varianza IND3	102
Figura 5.15 Semivariograma y Modelo Ajustado IND4	103
Figura 5.16 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND4	104
Figura 5.17 Mapa de Estimaciones IND4	106
Figura 5.18 Mapa de Varianza IND4	107
Figura 5.19 Semivariograma y Modelo Ajustado IND5	108
Figura 5.20 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND5	109
Figura 5.21 Mapa de Estimaciones IND5	111
Figura 5.22 Mapa de Varianza IND5	112
Figura 5.23 Semivariograma y Modelo Ajustado IND6	113
Figura 5.24 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND6	114
Figura 5.25 Mapa de Estimaciones IND6	116
Figura 5.26 Mapa de Varianza IND6	117
Figura 5.27 Semivariograma y Modelo Ajustado IND7	118
Figura 5.28 Mapa de Datos Geo-Posicionados IND7	119

Figura 5.29	Mapa de Estimaciones IND7	121
Figura 5.30	Mapa de Varianza IND7	122
Figura 5.31	Semivariograma y Modelo Ajustado IND8	124
Figura 5.32	Mapa de Datos Geo-Posicionados IND8	125
Figura 5.33	Mapa de Estimaciones IND8	126
Figura 5.34	Mapa de Varianza IND8	128
Figura 5.35	Semivariograma y Modelo Ajustado IND9	129
Figura 5.36	Mapa de Datos Geo-Posicionados IND9	130
Figura 5.37	Mapa de Estimaciones IND9	132
Figura 5.38	Mapa de Varianza IND9	133
Figura 5.39	Semivariograma y Modelo Ajustado IND12	136
Figura 5.40	Mapa de Datos Geo-Posicionados IND12	137
Figura 5.41	Mapa de Estimaciones IND12	138
Figura 5.42	Mapa de Varianza IND12	139
Figura 5.43	Semivariograma y Modelo Ajustado ARCILLA	140
Figura 5.44	Mapa de Datos Geo-Posicionados ARCILLA	141
Figura 5.45	Mapa de Estimaciones ARCILLA	143
Figura 5.46	Mapa de Varianza ARCILLA	144
Figura 5.47	Semivariograma y Modelo Ajustado ARENA	145
Figura 5.48	Mapa de Datos Geo-Posicionados ARENA	146
Figura 5.49	Mapa de Estimaciones ARENA	148
Figura 5.50	Mapa de Varianza ARENA	149

## INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los principales rubros de exportación del Ecuador, las haciendas donde se cultiva banano luchan día a día contra la enfermedad que ataca fuertemente a esta fruta, la Sigatoka Negra es causada por el hongo *Mycosphaerella Fijensis*, este hongo evoluciona con más rapidez en sectores susceptibles a fuertes vientos y afectados por la lluvia infectando a las plantas aledañas, permitiendo que la enfermedad se extienda a grandes distancias si no se tiene las precauciones necesarias.

La aplicación de fungicidas y las prácticas de deshoje son indispensables para combatir la evolución del hongo en haciendas dedicadas al cultivo de banano, sin embargo con frecuencia se desconoce donde se debe aplicar en mayor o menor cantidad los fungicidas, es por esto que el objetivo de este trabajo es conocer cuales son los sectores más afectados por la Sigatoka Negra en el área de estudio por medio de los mapas de estimaciones obtenidos en el análisis geoestadístico.

Con el fin de disminuir los costos de aplicación de fungicidas en una hacienda orgánica dedicada al cultivo de la fruta es importante conocer como va evolucionando la Sigatoka Negra a lo largo del tiempo y la relación que existe entre la infección y el tipo de suelo (arena y arcilla).

Cuando *M. Fijiensis* se propaga a través del viento se puede decir que tiene movilidad y mientras más lejos se expanda el hongo existe mayor variabilidad espacial, por el contrario, la probabilidad de infección es alta en los clusters y disminuye cuando la distancia aumenta. Se busca en este estudio conocer como se distribuye el hongo en el área de estudio para comprobar la hipótesis de que existen pocos sectores afectados con un 10% de infección.

Esta tesis servirá de referencia para futuros trabajos que intenten explicar la infección en una plantación bananera y que aporten información de tipo Geoestadístico, estudios como este son muy útiles para controlar el hongo y su evolución en el área de estudio.