



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Instituto de Ciencias Matemáticas

“Determinación y uso de métodos estadísticos en la obtención de un modelo bioclimático para el manejo de la Sigatoka negra presente en haciendas bananeras de la provincia del Guayas”.

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

Presentada por:

Manuel Geovanny Choez Salazar

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

A DIOS pues sin Él no hubiese podido afrontar este reto, a todos los obstáculos que se me presentaron en el transcurso de la elaboración de este trabajo, pues estos me permitieron crecer.

DEDICATORIA

A DIOS,
A MIS PADRES,
A MIS HERMANOS.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Pablo Álvarez.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Omar Ruiz.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Rivadeneira
VOCAL

Mat. Fernando Sandoya
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”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Manuel Choez Salazar

RESUMEN

Se realizó el presente estudio para medir la incidencia de las variables climáticas sobre el desarrollo de la Sigatoka negra, a través del uso de técnicas estadísticas como el análisis de regresión múltiple.

Los datos utilizados en este estudio corresponden a evaluaciones semanales de preaviso biológico del desarrollo de la Sigatoka negra tales como estado evolutivo de la enfermedad (EE), suma bruta de los síntomas de la planta de banano (SB) entre otros. Además se utilizó los registros horarios de algunas variables climáticas tales como Temperatura máxima (HI TEMP), humedad interna en la bananera (IN HUM), velocidad del viento (WIND SPEED) entre otras.

El primer capítulo presenta generalidades acerca del banano tales como sus orígenes, requerimientos y finalmente una clasificación de las enfermedades del banano.

El segundo capítulo contiene la información relacionada directamente o indirectamente al tema de investigación, esta información esta dividida en dos partes Sigatoka negra y análisis estadístico. La primera parte incluye una breve reseña histórica de la Sigatoka negra, descripción del hongo *Mycosphaerella Fijensis* causante de la enfermedad y formas de evaluar la enfermedad. La segunda parte presenta teoría relacionada al análisis

univariado, análisis de regresión, pruebas de hipótesis y algo sobre el software estadístico.

El capítulo 3 contiene el desarrollo del análisis estadístico, el cual se divide en análisis univariado y multivariado, en este último se construyen modelo utilizando regresión múltiple. Finalmente en el capítulo 4 se estableció las conclusiones y recomendaciones.

El uso y aplicación de regresión múltiple logró la obtención de 6 modelos, todos estos congruentes con lo que se observa en el campo de estudio, en este caso la bananera Agrícola Carmita ubicada en el Cantón Balao provincia del Guayas.

Los resultados confirmaron la influencia que tienen las variables climáticas sobre el hongo *Mycosphaerella Fijiensis* agente causal de la Sigatoka negra.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FÍGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. ACERCA DEL BANANO.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Generalidades del banano.....	2
1.2.1. Historia.....	2
1.2.2. Botánica.....	3
1.2.3. Requerimientos para el cultivo.....	4
1.3. Banano en el Ecuador.....	7
1.3.1. Área sembrada en el país.....	7
1.3.2. Producción y productividad Nacional.....	8
1.3.3. Exportaciones.....	9
1.4. Enfermedades del banano.....	11
1.4.1. Clasificación de las enfermedades.....	11

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Introducción.....	14
2.2. Sigatoka negra.....	14
2.2.1. Reseña histórica.....	14
2.2.2. Nombres comunes de la enfermedad.....	15
2.2.3. <i>Mycosphaerella Fijiensis</i>	15
2.2.4. Formas de evaluar la enfermedad.....	20
2.2.4.1. Preaviso biológico.....	20
2.2.4.2. Severidad.....	23
2.3. Análisis Estadístico.....	24
2.3.1. Análisis Univariado.....	24
2.3.2. Análisis de Regresión.....	25
2.3.2.1. Reseña histórica.....	25
2.3.2.2. Regresión.....	25
2.3.2.3. Regresión lineal simple.....	27
2.3.2.4. Regresión Múltiple.....	31
2.3.3. Supuestos de mínimos cuadrados.....	33
2.3.4. Pruebas de hipótesis.....	35
2.3.4.1. Anova.....	35
2.3.4.1.1. Anova (comparación de medias).....	35
2.3.4.1.2. Anova (regresión).....	36
2.3.4.2. Prueba de Kolmogorov Smirnov.....	37

2.3.4.3.	Prueba t.....	38
2.3.4.4.	Prueba de Durbin Watson.....	38
2.3.5.	Software utilizado.....	39
2.3.5.1.	SPSS breve descripción.....	40
2.3.5.2.	Vistas en SPSS.....	40

CAPÍTULO III

3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42
3.1.	Análisis Univariado.....	43
3.1.1.	Variables relacionadas al desarrollo de la enfermedad.....	43
3.1.2.	Variables climáticas.....	73
3.2.	Análisis de regresión.....	123
3.2.1.	Propósito del modelo de regresión	123
3.2.2.	Determinación del tipo de regresión.....	123
3.2.3.	Selección de variables dependientes.....	123
3.2.4.	Selección de variables independientes.....	129
3.2.5.	Obtención de los modelos.....	135
3.2.6.	Selección de modelos.....	153
3.2.7.	Predicciones.....	154

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	161
4.1. Conclusiones.....	161
4.2. Recomendaciones.....	165

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

cajas/has	Cajas por hectáreas
cm	Centímetros
D-W	Durbin Watson
EE	Estado evolutivo de la Sigatoka negra medido en toda la planta
EF	Emisión foliar
Est.	Estadístico de la prueba
Gl.	Grados de libertad
has	Hectáreas
HII	Hoja 2 de planta de banano
HIII	Hoja 3 de planta de banano
HIV	Hoja 4 de planta de banano
IC	Intervalo de confianza
km	Kilómetros
km/h	Kilómetros por hora
K-S	Kolmogorov Smirnov
MC	Medias cuadráticas
MCE	Media cuadráticas del error
MCR	Media cuadráticas de la regresión
mlbs	Milibars
mm	Milímetros
mts	Metros
PH	Nivel de hidrogeno
Q1	Cuartil 1
Q2	Cuartil 2
Q3	Cuartil 3
SB	Suma bruta de síntomas de la Sigatoka negra sobre las hojas 3y 4
SC	Sumas cuadráticas
SCE	Sumas cuadráticas de los errores
SCR	Sumas cuadráticas de la regresión
SCT	Sumas cuadráticas totales
SEV	Severidad de la Sigatoka negra en el preaviso biológico
SH3	Suma de los síntomas de la Sigatoka negra sobre la hoja 3
SH4	Suma de los síntomas de la Sigatoka negra sobre la hoja 4
UE	Unión Europea
w/m2	Watios por metros cuadrados

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
%	Porcentaje
X	Variable independiente
Y	Variable dependiente
n	Número de observaciones
Y_i	Observación dependiente i-ésima
X_i	Observación independiente i-ésima
β_0	Coefficiente constante en regresión lineal simple
β_1	Coefficiente de la variable independiente en regresión lineal simple
ε_i	Error en la i-ésima observación
β_i	Coefficiente de la variable i-ésima en regresión múltiple
$\hat{\beta}_i$	Estimador del coeficiente de la variable i-ésima en regresión
ρ	Coefficiente de correlación
X^T	Transpuesta de una matriz X
H_0	Hipótesis nula
H_1	Hipótesis Alternativa
$\hat{\sigma}_{\beta}$	Estimador de la desviación Est. del parámetro β

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2. 1 Hojas enumeradas en la planta de banano	20
Figura 2. 2 Estado evolutivo de la hoja candela	21
Figura 2. 3 Hoja de cálculo para tabular datos preaviso	22
Figura 2. 4 Porcentajes para calificar la severidad	23

ÍNDICE DE GRÁFICOS

			Pag.
Gráfico	3. 1	Diagrama de barra de SH3A	44
Gráfico	3. 2	Histograma de SH3A	44
Gráfico	3. 3	Diagrama de barra de SH4A	46
Gráfico	3. 4	Histograma de SH4A	46
Gráfico	3. 5	Diagrama de barra de SBA	48
Gráfico	3. 6	Histograma de SBA	48
Gráfico	3. 7	Diagrama de barra de EEA	50
Gráfico	3. 8	Histograma de EEA	50
Gráfico	3. 9	Diagrama de barra de SEVA	52
Gráfico	3. 10	Histograma de SEVA	52
Gráfico	3. 11	Diagrama de barra de SH3B	54
Gráfico	3. 12	Histograma de SH3B	54
Gráfico	3. 13	Diagrama de barra de SH4B	56
Gráfico	3. 14	Histograma de SH4B	56
Gráfico	3. 15	Diagrama de barra de SBB	58
Gráfico	3. 16	Histograma de SBB	58
Gráfico	3. 17	Diagrama de barra de EEB	60
Gráfico	3. 18	Histograma de EEB	60
Gráfico	3. 19	Diagrama de barra de SEVB	62
Gráfico	3. 20	Histograma de SEVB	62
Gráfico	3. 21	Diagrama de barra de SH3C	64
Gráfico	3. 22	Histograma de SH3C	64
Gráfico	3. 23	Diagrama de barra de SH4C	66
Gráfico	3. 24	Histograma de SH4C	66
Gráfico	3. 25	Diagrama de barra de SBC	68
Gráfico	3. 26	Histograma de SBC	68
Gráfico	3. 27	Diagrama de barra de EEC	70
Gráfico	3. 28	Histograma de EEC	70
Gráfico	3. 29	Diagrama de barra de SEVC	72
Gráfico	3. 30	Histograma de SEVC	72
Gráfico	3. 31	Diagrama de barra de TEMP OUT	74
Gráfico	3. 32	Histograma de TEMP OUT	74

Gráfico	3. 33	Diagrama de barra de	HI TEMP	76
Gráfico	3. 34	Histograma de	HI TEMP	76
Gráfico	3. 35	Diagrama de barra de	LOW TEMP	78
Gráfico	3. 36	Histograma de	LOW TEMP	78
Gráfico	3. 37	Diagrama de barra de	OUT HUM	80
Gráfico	3. 38	Histograma de	OUT HUM	80
Gráfico	3. 39	Diagrama de barra de	DEW	82
Gráfico	3. 40	Histograma de	DEW	82
Gráfico	3. 41	Diagrama de barra de	WIND SPEED	84
Gráfico	3. 42	Histograma de	WIND SPEED	84
Gráfico	3. 43	Diagrama de barra de	WIN RUN	86
Gráfico	3. 44	Histograma de	WIN RUN	86
Gráfico	3. 45	Diagrama de barra de	HI SPEED	88
Gráfico	3. 46	Histograma de	HI SPEED	88
Gráfico	3. 47	Diagrama de barra de	WIND CHILL	90
Gráfico	3. 48	Histograma de	WIND CHILL	90
Gráfico	3. 49	Diagrama de barra de	HEAT INDEX	92
Gráfico	3. 50	Histograma de	HEAT INDEX	92
Gráfico	3. 51	Diagrama de barra de	THW INDEX	94
Gráfico	3. 52	Histograma de	THW INDEX	94
Gráfico	3. 53	Diagrama de barra de	THSW INDEX	96
Gráfico	3. 54	Histograma de	THSW INDEX	96
Gráfico	3. 55	Diagrama de barra de	BAR	98
Gráfico	3. 56	Histograma de	BAR	98
Gráfico	3. 57	Diagrama de barra de	RAIN	100
Gráfico	3. 58	Histograma de	RAIN	100
Gráfico	3. 59	Diagrama de barra de	RAIN RATE	102
Gráfico	3. 60	Histograma de	RAIN RATE	102
Gráfico	3. 61	Diagrama de barra de	SOLAR RAD	104
Gráfico	3. 62	Histograma de	SOLAR RAD	104
Gráfico	3. 63	Diagrama de barra de	SOLAR ENERGY	106
Gráfico	3. 64	Histograma de	SOLAR ENERGY	106
Gráfico	3. 65	Diagrama de barra de	HI SOLAR RAD	108
Gráfico	3. 66	Histograma de	HI SOLAR RAD	108
Gráfico	3. 67	Diagrama de barra de	UV INDEX	110
Gráfico	3. 68	Histograma de	UV INDEX	110
Gráfico	3. 69	Diagrama de barra de	UV DOSE	112
Gráfico	3. 70	Histograma de	UV DOSE	112
Gráfico	3. 71	Diagrama de barra de	HI UV	114
Gráfico	3. 72	Histograma de	HI UV	114
Gráfico	3. 73	Diagrama de barra de	COOL D-D	116

Gráfico	3. 74	Histograma de	COOL D-D	116
Gráfico	3. 75	Diagrama de barra de	IN TEMP	118
Gráfico	3. 76	Histograma de	IN TEMP	118
Gráfico	3. 77	Diagrama de barra de	IN HUM	120
Gráfico	3. 78	Histograma de	IN HUM	120
Gráfico	3. 79	Diagrama de barra de	ET	122
Gráfico	3. 80	Histograma de	ET	122
Gráfico	3. 81	Correlación por lotes		130
Gráfico	3. 82	Componentes principales		132
Gráfico	3. 83	Matriz de dispersión de	M1	136
Gráfico	3. 84	Matriz de dispersión de	M2	139
Gráfico	3. 85	Matriz de dispersión de	M3	142
Gráfico	3. 86	Matriz de dispersión de	M4	145
Gráfico	3. 87	Matriz de dispersión de	M5	148
Gráfico	3. 88	Matriz de dispersión de	M6	152
Gráfico	3. 89	Estimaciones de	SB	155
Gráfico	3. 90	Residuos		156
Gráfico	3. 91	Estimaciones de	EE	157
Gráfico	3. 92	Residuos		158

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA 1. 1 Hectáreas sembradas en el Ecuador	7
TABLA 2. 1 Tabla Anova	35
TABLA 2. 2 Tabla Anova de regresión	36
TABLA 3. 1 Medidas descriptivas de SH3A	43
TABLA 3. 2 Medidas descriptivas de SH4A	45
TABLA 3. 3 Medidas descriptivas de SBA	47
TABLA 3. 4 Medidas descriptivas de EEA	49
TABLA 3. 5 Medidas descriptivas de SEVA	51
TABLA 3. 6 Medidas descriptivas de SH3B	53
TABLA 3. 7 Medidas descriptivas de SH4B	55
TABLA 3. 8 Medidas descriptivas de SBB	57
TABLA 3. 9 Medidas descriptivas de EEB	59
TABLA 3. 10 Medidas descriptivas de SEVB	61
TABLA 3. 11 Medidas descriptivas de SH3C	63
TABLA 3. 12 Medidas descriptivas de SH4C	65
TABLA 3. 13 Medidas descriptivas de SBC	67
TABLA 3. 14 Medidas descriptivas de EEC	69
TABLA 3. 15 Medidas descriptivas de SEVC	71
TABLA 3. 16 Medidas descriptivas de TEMP OUT	73
TABLA 3. 17 Medidas descriptivas de HI TEMP	75
TABLA 3. 18 Medidas descriptivas de LOW TEMP	77
TABLA 3. 19 Medidas descriptivas de OUT HUM	79
TABLA 3. 20 Medidas descriptivas de DEW	81
TABLA 3. 21 Medidas descriptivas de WIND SPEED	83
TABLA 3. 22 Medidas descriptivas de WIN RUN	85
TABLA 3. 23 Medidas descriptivas de HI SPEED	87
TABLA 3. 24 Medidas descriptivas de WIND CHILL	89
TABLA 3. 25 Medidas descriptivas de HEAT INDEX	91
TABLA 3. 26 Medidas descriptivas de THW INDEX	93
TABLA 3. 27 Medidas descriptivas de THSW INDEX	95

TABLA 3. 28	Medidas descriptivas de BAR	97
TABLA 3. 29	Medidas descriptivas de RAIN	99
TABLA 3. 30	Medidas descriptivas de RAIN RATE	101
TABLA 3. 31	Medidas descriptivas de SOLAR RAD	103
TABLA 3. 32	Medidas descriptivas de SOLAR ENERGY	105
TABLA 3. 33	Medidas descriptivas de HI SOLAR RAD	107
TABLA 3. 34	Medidas descriptivas de UV INDEX	109
TABLA 3. 35	Medidas descriptivas de UV DOSE	111
TABLA 3. 36	Medidas descriptivas de HI UV	113
TABLA 3. 37	Medidas descriptivas de COOL D-D	115
TABLA 3. 38	Medidas descriptivas de IN TEMP	117
TABLA 3. 39	Medidas descriptivas de IN HUM	119
TABLA 3. 40	Medidas descriptivas de ET	121
TABLA 3. 41	Homogeneidad de varianzas entre lotes	125
TABLA 3. 42	Prueba de normalidad	126
TABLA 3. 43	Anova entre lotes	127
TABLA 3. 44	Comparación de distribuciones entre lotes	127
TABLA 3. 45	Correlaciones entre variables dependientes	128
TABLA 3. 46	Puntaje de correlación entre variables	129
TABLA 3. 47	Porcentaje de explicación de las componentes	131
TABLA 3. 48	Correlación entre variables X e Y	133
TABLA 3. 49	Modelo 1	135
TABLA 3. 50	Correlaciones entre las variables del modelo	136
TABLA 3. 51	Anova regresión	137
TABLA 3. 52	Estimadores del modelo	137
TABLA 3. 53	Modelo 2	138
TABLA 3. 54	Correlaciones entre las variables del modelo	139
TABLA 3. 55	Anova regresión	140
TABLA 3. 56	Estimadores del modelo	140
TABLA 3. 57	Modelo 3	141
TABLA 3. 58	Correlaciones entre las variables del modelo	142
TABLA 3. 59	Anova regresión	143
TABLA 3. 60	Estimadores del modelo	143
TABLA 3. 61	Modelo 4	144
TABLA 3. 62	Correlaciones entre las variables del modelo	145
TABLA 3. 63	Anova regresión	146
TABLA 3. 64	Estimadores del modelo	146
TABLA 3. 65	Modelo 5	147

TABLA 3. 66	Correlaciones entre las variables del modelo	148
TABLA 3. 67	Anova regresión	149
TABLA 3. 68	Estimadores del modelo	149
TABLA 3. 69	Modelo 6	150
TABLA 3. 70	Correlaciones entre las variables del modelo	151
TABLA 3. 71	Anova regresión	153
TABLA 3. 72	Estimadores del modelo	153
TABLA 3. 73	Modelo para explicar SB	154
TABLA 3. 74	Modelo para explicar EE	154
TABLA 3. 75	Predicciones de SB	155
TABLA 3. 76	Prueba de Normalidad para los residuos	156
TABLA 3. 77	Predicciones de EE	157
TABLA 3. 78	Prueba de Normalidad para los residuos	158

INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) realiza estudios principalmente relacionados al control de la Sigatoka negra, enfermedad que afecta contundentemente a los cultivos de banano en todo el mundo.

Los altos costos en los que se incurren al controlar la Sigatoka negra han dado inicio a la incesante búsqueda de nuevas alternativas que permitan vigilar la evolución del hongo causante de la misma. Por esto se decidió utilizar la estadística como una muy potente herramienta para analizar los datos disponibles en el CIBE relacionados a la Sigatoka negra.

El objetivo del estudio es determinar y usar métodos estadísticos en la obtención de un modelo bioclimático para el manejo de la Sigatoka negra presente en haciendas bananeras de la provincia del Guayas.

La primera etapa del estudio fue recolectar los datos, estos fueron recogidos por personal profesional que labora en el CIBE; la segunda etapa fue digitalizar aquellos datos y consecuentemente organizarlos.

Finalmente se procedió a realizar el análisis estadístico el cual incluye análisis univariado, pruebas de hipótesis y análisis de regresión.

Este estudio podría ser utilizado en las bananeras de la provincia del Guayas, para identificar cuales variables climáticas inciden en el desarrollo de la Sigatoka negra.

BIBLIOGRAFÍA

Daniells, Jeff, 2001; Diversity in genus Musa; Internacional Plant Genetic Resources Institute; Francia.

Freud, John; 2000; "Estadística Matemática"; Con aplicaciones; Pearson Educación; Mexico.

Martínez, Ciro; 2002; "Estadística y Muestreo"; Ecoe Ediciones; Colombia.

Mendicoa, Gloria; 2003; "Sobre Tesis y Tesistas"; Lecciones de enseñanza y aprendizaje; Espacio Editorial; Ecuador.

Ojeda G; 2000; Evaluating bananas: A global partnership, Internacional Plant Genetic Resources Institute; México.

Páginas Web:

Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador;
<http://www.cibe.espol.edu.ec> , Julio 2006 (última visita)

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador;
http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/banano.pdf#search=%22areas%20bananeras%22 ; Agosto 2006 (última visita).

Sitio Web Universidad del Zulia, "Estudio preliminar de vigilancia y pronóstico para la Sigatoka negra en el cultivo de plátano en Macagua-Jurimiquire, estado Yaracuy";

http://www2.bvs.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182005000400002&lng=pt&nrm=iso , Mayo 2006(última visita)