

## Estimación Bayesiana en la relación Clima – Sigatoka negra

O. Ruiz\* <sup>(1)</sup>, M. Jiménez <sup>(1)</sup>, E. Santos <sup>(1)</sup>, E. Peralta <sup>(1)</sup>

(1)Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus “Gustavo Galindo Velasco” La Prosperina Km. 30.5 vía Perimetral

\*oruz@espol.edu.ec

### Resumen

*La búsqueda de la relación existente entre los parámetros climáticos y las variables fitosanitarias, para la generación de modelos que permitan el pronóstico de enfermedades en los cultivos, y con cierto grado de probabilidad, ha conducido a la aplicación de Métodos Bayesianos para la obtención de modelo probabilístico. En el presente documento, se analiza la aplicación de metodologías estadísticas utilizadas para la obtención de un modelo, a través de estimación bayesiana. Previamente, se obtuvieron relaciones y dependencias entre y dentro de los dos grupos de variables, aplicando análisis de correlación, componentes principales y correspondencia múltiple. Además, se realizó análisis exploratorio y de manera especial el análisis de frecuencias conjuntas, marginales y condicionales. Los datos utilizados, pertenecen a una hacienda del sector Balao de la provincia del Guayas, Ecuador, con coordenadas 2°54'42''S y 79°48'49''O, y una elevación promedio de 6m sobre el nivel del mar. Los datos de clima y fitosanitarios, fueron obtenidos entre el 01 de enero del 2005 y el 29 de diciembre del 2006. Los parámetros de clima que se utilizaron fueron temperatura, humedad, velocidad del viento, precipitación, heliofanía, horas luz, radiación solar, evapotranspiración, entre otras; y las variables fitosanitarias utilizadas fueron total de hojas en la planta, hoja joven manchada y el porcentaje o índice de infección por planta. Este análisis dio como resultado un gráfico que indica la relación entre los parámetros de interés y la función probabilística que ayuda a calcular la probabilidad de ocurrencia de diferentes escenarios planteados, utilizando el modelo de estimación bayesiana.*

**Palabras claves:** *Estimación bayesiana, clima, sigatoka negra, agrometeorología, estadística, epidemiología.*

### Abstract

*The search of the relationship between climatic parameters and phyto-performing variables predicting models for crop diseases, with some degree of probability, have led to the application of Bayesian methods to obtain a probabilistic model. The present document describes statistical methodologies, with Bayesian estimation. used to obtain the model. Previously first, they were obtained using correlation analysis, principal component and multiple correspondences. Further exploratory analysis was performed especially the combined frequency analysis, marginal and conditional. The data was obtained in a Balao's plantation in the province of Guayas, Ecuador, with coordinates 2°54'42"S 79 ° 48'49 ", and with an average elevation of 6m above sea level. The weather and the fytosanitary data were obtained between January 01 of 2005 and December 29 of 2006. The weather parameters used were temperature, humidity, wind speed, rainfall, heliofanía, light hours, solar radiation, evapotranspiration, among others, and the fytosanitary variables were total phyto-leaf plant, young leaf stained and the index of infection per plant. The results shows the relationship between the concerned parameters and the probabilistic function that helps to calculate the probability of different scenarios, using a Bayesian estimation.*

**Key words:** *Bayesian estimation, weather, black Sigatoka, agrometeorology, statistic, epidemiology.*

Recibido: Junio, 2009

Aceptado: Agosto, 2009

## 1. Introducción

El banano (Grupo Cavendish, AAA) corresponde aproximadamente al 12% del volumen total de frutas producidas en el mundo [1]. Ecuador, con más de 4.5 millones de toneladas por año, es el mayor exportador de banano en el mundo [2] por tal motivo, esta fruta es de suma importancia en la economía del país.

El banano requiere de un clima tropical húmedo [3], aunque responde muy bien en variadas condiciones climáticas, tales como temperatura entre los 18.5°C y 35.5°C; la precipitación puede variar de 120 a 150 mm., precipitaciones de 44mm semanales; ausencia de vientos fuertes y buena luminosidad.

Aunque la producción bananera se ve afectada por un gran número de enfermedades, la Sigatoka negra (Sn) es, hasta el momento, la que mayores costos genera su manejo, pudiendo llegar hasta un 50% de los costos de producción [4]. La Sn, es ocasionada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, el mismo que posee un gran poder de adaptación al medio.

Es de gran interés determinar la relación entre los parámetros bióticos y abióticos, en el ámbito ecológico [5]. La temperatura del aire, precipitación y la humedad relativa en el aire, son algunos de los principales factores a considerar en el estudio, ya que estos indican las condiciones ideales para la presencia e incidencia del hongo en el hospedero [6].

Es así que el presente estudio busca relacionar agrometeorología y Sn, determinando a través de métodos estadísticos tradicionales y de estadística bayesiana, un modelo que indique la relación entre parámetros de clima y parámetros fitosanitarios; en este caso particular, el banano.

La epidemiología de esta enfermedad obedece al comportamiento de factores bióticos y abióticos. Dentro de los abióticos, el comportamiento de las variables que reflejan el tiempo que permanece húmeda la superficie de la hoja, son primordiales, tales como temperatura y humedad [7] [8] [9]. En 1994 se demostró la relación entre la humedad relativa, temperatura, precipitación y el hongo *M. fijiensis* [10]; estas relaciones determinaban el grado de incidencia y severidad de la enfermedad.

La enfermedad tiene un comportamiento estacional originada por variaciones de temperatura y precipitación a lo largo del año [11]. La presencia de lluvias crea una capa de agua en la superficie de la hoja donde se genera un ambiente propicio para el hongo [12]. La temperatura y la humedad relativa, favorecen el desarrollo de la enfermedad con promedios entre 20°C y 35°C, ya que estos valores contribuyen a la germinación de conidios y ascósporas, siendo

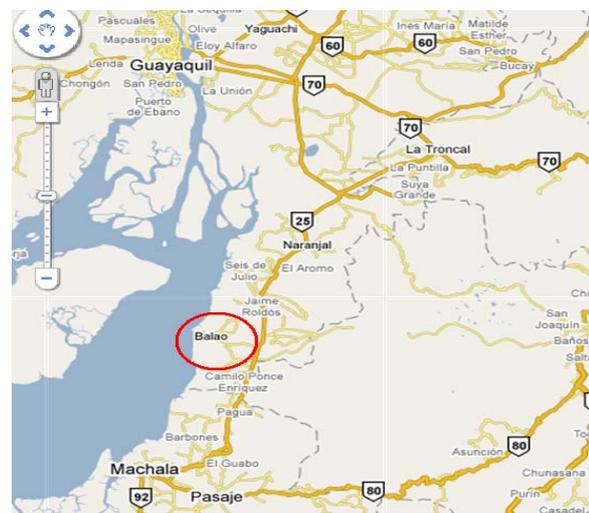
entre 25°C y 28°C el rango de máxima germinación; sobre todo cuando se tiene una alta humedad relativa [13]. Las ascósporas de *M. fijiensis* germinan en un rango amplio entre 10°C y 38°C, considerándose óptimo 27°C, y con una fuerte depresión en temperaturas menores a 20°C [14]. La cantidad de ascosporas en el aire no varía a diferentes alturas, éstas son dispersadas por el viento y depositadas en las hojas mas jóvenes de la planta [15] [16]. La lluvia provee condiciones de humedad que favorecen el desarrollo de las infecciones, por tal motivo se observan dos escenarios estrechamente relacionados con la presencia o no del periodo invernal [17]. Se ha confirmado la relación de la temperatura, precipitación y humedad con la incidencia de la enfermedad en esta zona [18] [19].

Se obtuvo un modelo probabilístico, aplicando teoría bayesiana, el cual determina cuales son los eventos más probables en la zona de estudio, según sus características climáticas.

## 2. Materiales y métodos

### Localización del área de estudio

Los datos utilizados, pertenecen a una hacienda del sector Balao, en la parte sur de la provincia del Guayas-Ecuador, con coordenadas GPS 2°54'42''S y 79°48'49''O aproximadamente; y con una elevación promedio de 6m sobre el nivel del mar (Figura 1). Esta zona se caracteriza por tener una temperatura entre 26°C y 36°C; precipitación anual aproximada entre 500 a 1000 mm; los meses de lluvia son de enero a abril y los meses secos, de mayo a diciembre; según el mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador [20]. El banano cultivado en la hacienda, pertenece a la variedad "Williams".



**Figura. 1** Ubicación geográfica de la hacienda de estudio. Fuente: Google Maps.

### Colección de datos climáticos

Los datos de clima fueron obtenidos entre el 01 de enero del 2005 y el 29 de diciembre del 2006. Los parámetros de clima que se utilizaron fueron temperatura, humedad, velocidad del viento, precipitación, horas luz, radiación solar, evapotranspiración, entre otras. Para esto se utilizó la estación meteorológica Davis Vantage Pro, ubicada dentro de la plantación.

### Toma de datos de parámetros fitosanitarios

Los parámetros fitosanitarios utilizados fueron: total de hojas, hoja joven manchada y el índice de infección por planta (%IND). Para obtener el IND, primero se aplicaron los criterios de Fouré [21] [22] [23]. Toda la planta se evalúa de acuerdo al total de área foliar afectada. La gravedad de la enfermedad medida a través del IND fue calculado para cada recipiente de acuerdo con la fórmula:

$$IND = \frac{(\sum nb) \times 100}{(N-1)T} \quad (1)$$

Cuando,

n: número de hojas en cada grado de infección; b: grado de infección; N: números de grados usados en la escala según los criterios de Fouré; T: total del número de hojas [17] (Anexo 1).

### Variables Climáticas y Fitosanitarias

Las variables consideradas para el estudio fueron: TEMP OUT: temperatura exterior registrada en °C; HI TEMP: temperatura máxima exterior registrada en °C; LOW TEMP: temperatura mínima exterior registrada en °C; OUT HUM: humedad relativa exterior registrada en porcentaje; DEW PT: punto de condensación registrado en °C; WIND SPEED: velocidad del viento registrada en km/h; WIND RUN: distancia recorrida por el viento registrada en km; HI SPEED: máxima velocidad del viento registrada en km/h; WIND CHILL: temperatura aérea en relación a la temperatura del cuerpo humano registrada en °C; HEAT INDEX: índice de calor o temperatura relacionada a la humedad registrada en °C; THW INDEX: índice que relaciona la temperatura, humedad y viento registrada en °C; THSW INDEX: índice que relaciona temperatura, humedad, radiación solar y viento registrada en °C; BAR: presión atmosférica registrada en mlbs.; RAIN: cantidad de lluvia caída registrada en mm; RAIN RATE: intensidad de lluvia por hora registrada en mm/h; SOLAR RAD: radiación solar registrada w/m<sup>2</sup>; SOLAR ENERGY: energía solar acumulada por metro cuadrado registrada en langley; HI SOLAR RAD: radiación solar máxima registrada en langley; UV INDEX: índice de periodicidad de rayos ultravioleta registrada en una escala entre

[1-16]; UV DOSE: dosis de radiación ultravioleta; HI UV: índice máximo de rayos ultravioleta registrada en una escala entre [1-16]; COOL D-D: (Cooling degree days) es un índice que mide el grado de enfriamiento por día; IN TEMP: temperatura interna donde está ubicada la consola receptora registrada °C; IN HUM: humedad interna donde está ubicada la consola receptora registrada en porcentaje; ET: evapotranspiración registrada en mm. HJM: Hoja joven manchada; TH: Total de hojas; IND: Índice de infección o Porcentaje de Infección por planta.

### Diseño de muestreo

Se aplicó un diseño estratificado, ya que la hacienda cuenta con tres sectores equiprobables, considerándose cada uno de ellos como un estrato, se realiza la estratificación debido a que los grupos entre haciendas no son homogéneos, pero esta característica sí se da dentro de las mismas, es decir que las observaciones que pertenecen a cada una de ellas representan a características similares. De esta manera se evita la existencia de “demasiada” variabilidad entre los elementos muestreados. La ponderación de cada estrato fue realizada de acuerdo al porcentaje del lote del total del área de la hacienda, confirmándose que no existían espacios sin cultivo de banano, lo que dio una ponderación similar para cada estrato. Dado que la unidad de observación era la planta y la densidad de siembra es de aproximadamente 1500 plantas por hectárea, y la hacienda cuenta con 120 hectáreas aproximadamente, el tamaño de la muestra se obtuvo a través de la siguiente fórmula [24]:

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 S^2}{N\varepsilon^2 + Z_{\alpha/2}^2 S^2} \quad (2)$$

Cuando,

n: tamaño de la muestra; N: tamaño de la población; S<sup>2</sup>: cuasivarianza muestral; α: nivel de significancia; Z<sub>α/2</sub>: estadístico, dist. normal dos colas; y ε: error de muestreo.

Obteniéndose un n= 152 plantas, con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 5%, siendo la variable de interés el porcentaje o índice de infección por planta.

### Preparación de los datos

En la primera fase, se realizaron las validaciones con los expertos en agronomía y meteorología. Ésto dio la pauta acerca de los comportamientos naturales de los parámetros o variables fitosanitarias o de clima, sus valores máximos y mínimos permisibles, si son crecientes en el tiempo o son series temporales.

En la segunda fase, se examinó la presencia de sesgos debidos a valores extraños o especiales, ya que podrían ser fuente de información de la presencia de un factor no considerado, pero que se expresa al momento de realizar los análisis estadísticos.

Para inferir valores perdidos (*missing values*) se aplicó, en dependencia del tipo de datos y su comportamiento, una de las siguientes metodologías:

- si la variable es monótona creciente o monótona decreciente en el tiempo, se aplicó interpolación cruzada o regresión lineal;
- si la variable oscila en el tiempo, se utilizaron modelos de series temporales;
- si sus valores giran alrededor de un valor central, se utilizó la media de los valores conocidos.

#### Metodologías estadísticas aplicadas

Para la realización del análisis exploratorio de los datos, fueron indispensables las técnicas estadísticas clásicas de análisis descriptivo, tales como análisis de frecuencias (conjuntas, marginales y condicional), sesgos, medidas de tendencia central y dispersión, además de estadísticos de orden; a estos se les agregaron los análisis de correlación de Pearson y Spearman, y estadística inferencial a través de contrastes de hipótesis para independencia entre variables categorizadas (chi-cuadrado) [24]; se realizó el análisis multivariado de componentes principales [25]; se acumuló lo sucedido durante 7, 10, 14 y 21 días, en las variables Rain, RainRate, SolarRad, SolarEnergy, HiSolarRad, UVIndex, UVDose, HiUV y ET, para analizar si la acumulación de los valores obtenidos de estos parámetros indicaban la existencia de una relación no observada de manera directa, con los valores registrados. Finalmente se aplica la teoría bayesiana para encontrar una función probabilística que provea de información sobre la ocurrencia de posibles eventos [26, 27].

#### Programas estadístico

Se utilizaron el software estadístico R en su versión 2.8.1, (The R Project for Statistical Computing) provisto por el proyecto GNU; y el software InfoStat Estudiantil, versión 2.0.

### 3. Resultados

Del análisis de correlación lineal de Pearson (Anexo 2) se puede observar que el IND tiene relación significativa al 5% con TH (+), HJM (-) y la variable de clima InTemp (-); tal como lo muestra la Tabla 1. La variable HJM es quien más se relaciona con los parámetros de clima; está correlacionada positivamente o directamente proporcional con TempOut, HiTemp, LowTemp,

DewPt, WindChill, HeatIndex, THWIndex, THSWIndex, CoolDD, UVIndex, UVDose, HiUV.

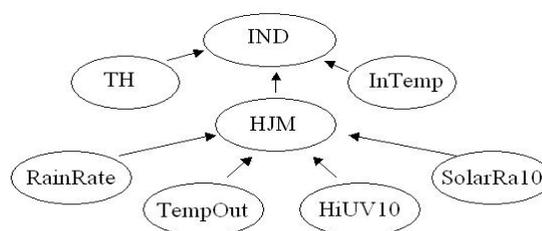
Las correlaciones de Pearson entre las variables acumuladas y las fitosanitarias, reflejaron la repetición de las relaciones entre los parámetros fitosanitarios y los de UV en las cuatro acumulaciones realizadas. Se observó que en la acumulación a los 10 días, aparecieron relaciones adicionales entre HJM y SolarRad, SolarEnergy y HiSolarRad.

Al realizar la prueba no paramétrica de asociación a través del coeficiente de correlación de Spearman, aparecieron nuevas relaciones entre los parámetros TH, HJM y Rain, RainRate, al día de la observación, a los 7, 10, 14 y 21 días, aunque no de manera sostenida o consistente.

Existen fuertes relaciones entre varios grupos de variables por su naturaleza; es así que TempOut está directa y significativamente relacionada con HiTemp, LowTemp, DewPt, WindChill, HeatIndex, THWIndex, THSWIndex y CoolDD; UVIndex con UVDose y con HiUV; Rain con RainRate.

Dado que la relación entre los parámetros Rain, RainRate, TH y HJM, son mas fuertes al día de la evaluación que en la acumulación de Rain y RainRate, ya sea a los 7, 10, 14 o 21 días, es preferible utilizar los valores registrados a la fecha de la evaluación y no acumularlos. Sin embargo en los parámetros UVIndex, UVDose, HiUV, SolarRa, SolarEnergy y HiSolarEn, sí es aconsejable utilizar la acumulación de los valores registrados hasta 10 días, incluyendo el día de la evaluación, ya que a esta altura, ellos presentan mayor grado de relación con HJM.

Sobre la base de las relaciones determinadas anteriormente, se plantea un modelo de relación dependencia entre los parámetros IND, TH, HJM, InTemp, TempOut, HiUV10, RainRate y SolarRa10, tal como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Gráfico de relaciones entre parámetros climáticos y fitosanitarios, considerados en el modelo bayesiano.

Debido a que las variables son del tipo continuas, se procedió a discretizarlas. Para las variables IND, TH, HJM InTemp y TempOut se dividieron cada una de ellas en 3 grupos, obtenidos del conocimiento previo. Las variables

HiUV10 y SolarRa10, se dividieron en tres grupos, para esto se utilizaron los percentiles 33 y 67 como referencia. El caso de la variable RainRate es especial por la gran cantidad de días u observaciones, con valores de cero, por este motivo se determinaron de manera arbitraria, los percentiles 80 y 90.

En la variable IND, los valores que representan la alerta, son los valores entre el 6 y 15% de infección, equivalente al nivel 3 de la escala de infección esquematizada por Gauhl, como una variante de la escala de severidad de Stover.

TH, tiene el nivel de alerta entre 6 y 8, inclusive, porque estos valores son los internacionalmente establecidos, para determinar que una planta está en condiciones agronómicas mínimas requeridas en la etapa de cosecha.

HJM, tiene el nivel de alerta entre 6 y 12, ya que estos son los mínimos valores permisibles durante la época vegetativa.

Los valores para la discretización de las variables, quedaron como lo muestra la tabla 2.

Para la categorización de las variables, se utilizaron 3 niveles, representados por colores; verde, cuando la situación es mejor que los niveles de alerta; amarillo, cuando los valores están en los niveles de alerta; y rojo, cuando los valores están sobre los niveles de alerta.

**Tabla 2.** Valores considerados para la discretización de las variables involucradas en el modelo.

IND		HJM	
Alta	(15, 100]	Malo	[1, 6)
Alerta	(6, 15]	Normal	[6, 12]
Baja	[0, 6]	Bueno	0 ó más de 12
TH		RainRate	
Alta	mas de 8	Alto	mas de 52.1
Normal	[6, 8]	Medio	[5.6, 52.1]
Bajo	menos de 6	Bajo	menos de 5.6
HiUV10		InTemp	
Alto	mas de 819	Sobre Rango	más de 28
Medio	554, 819	Rango Ideal	[25, 28]
Bajo	menos de 554	Bajo Rango	menos de 25
SolarRa10		TempOut	
Alto	mas de 69239	Sobre Rango	más de 28
Medio	51416, 69239	Rango Ideal	[25, 28]
Bajo	menos de 51416	Bajo Rango	menos de 25

Aplicando el teorema de la descomposición [28], el cual indica que dada una red bayesiana con variables  $X$ , la distribución de probabilidades conjunta de estas variables se puede descomponer de la forma:

$$p(x) = \prod_{y \in x} p(y | pa(y)) \tag{3}$$

Donde  $pa$  es el conjunto de padres de la variable  $Y$ ; la función de probabilidad conjunta del fenómeno estudiado queda de la siguiente manera:

$$P(IND | RainRate, TempOut, HiUV10, SolarRa10, InTemp, HJM, TH) = P(rainrate) * P(tempout) * P(hiuv10) * P(solarra10) * P(intemp) * P(th) * P(hjm | rainrate, tempout, hiuv10, solarra10) * P(ind | hjm, th, intemp) \tag{4}$$

Por tal motivo, solamente hay que determinar las distribuciones probabilísticas marginales y condicionales para las variables aleatorias requeridas (Anexo 3).

**Tabla 3.** Eventos con mayor probabilidad de ocurrencia.

RainRate	TempOut	HiUV10	SolarRa10	InTemp	TH	HJM	IND
0,788	0,545	0,333	0,333	0,667	0,394	0,013	
0,788	0,545	0,333	0,333	0,667	0,394	0,013	
0,788	0,545	0,333	0,333	0,667	0,394	0,013	
0,788	0,545	0,333	0,333	0,667	0,394	0,013	
0,788	0,545	0,333	0,333	0,667	0,394	0,013	
0,788	0,545	0,333	0,333	0,667	0,394	0,013	

La Tabla 3 muestra las probabilidades de los eventos con mayor posibilidad de ocurrencia, considerando cada estado de las variables de interés y aplicando la fórmula (4). Se observa que los eventos más probables están involucrados siempre con un nivel bajo de IND, mostrado en color verde.

#### 4. DISCUSIÓN

La hoja de cálculo del porcentaje de índice de infección, ofrece una alternativa al momento de realizar comparaciones entre grupos de plantas o sectores de la hacienda, ya que con la hoja de cálculo tradicional, se obtiene un único valor representativo de infección por grupo de plantas, lo que permite hacer solamente comparaciones numéricas entre ellas; con la forma propuesta, se tiene un porcentaje de infección por plantas, lo que obviamente permite encontrar parámetros estadísticos como medidas de tendencia central y dispersión, por grupos de plantas, esto admite realizar comparaciones estadísticas entre los diferentes grupos investigados.

Por otro lado, el parámetro temperatura (InTemp) está altamente relacionado de manera negativa con humedad (InHum), y de manera negativa con el índice de infección (IND); lo que nos indica que altos valores de humedad, se tendrán bajos valores de temperatura, los que a su vez dan altos valores de infección, confirmándose la relación entre humedad e infección tal como lo afirmarán otros autores [7, 8, 9, 18, 19]; por este

motivo el parámetro Temperatura está considerado en el modelo probabilístico propuesto.

Resultó interesante observar que las relaciones obtenidas entre precipitación (Rain y/o RainRate) y enfermedad (IND) no son directas, éstas “se valen” de la hoja joven manchada (HJM) para presentar alguna relación o incidencia entre ellas.

Se esperaba que la acumulación de la precipitación, ya sea a los 7, 10, 14 o 21 días, provea de una mayor relación entre Rain y/o RainRate y el IND, tal como se afirma en [18], pero no fue así, este resultado indica que no se pueden realizar generalizaciones y que este evento no se presenta en todas las zonas bananeras. La mayor relación entre estos parámetros se dio al día del registro, es decir, sin acumular la precipitación; la relación no fue detectada por la correlación de Pearson, pero si por la de Spearman, lo que implica que la relación entre estos parámetros no se ve directamente, sino que hace falta discretizar o transformar sus valores a una medida escalar para encontrar la relación, la cual sigue siendo lineal y positiva.

Los eventos más probables en la hacienda estudiada involucran valores bajos de infección, normales de hoja joven manchada y alta de número de hojas por planta, según la clasificación mostrada en la Tabla 2; ésto se da inclusive cuando se tienen altos valores de UV o de radiación solar; tales eventos están relacionados a valores bajos de precipitación y de temperatura, típicos de la zona.

El modelo probabilístico obtenido con muy buenos resultados, ofrece una herramienta poderosa; la cual, utilizando la información que se va generando y registrando día a día, puede ir actualizando y mejorando en sus resultados probabilísticos.

Esta consecuencia abre paso para que la programación a través de algoritmos genéticos, se optimice la obtención de las tablas de probabilidades y del modelo bayesiano.

## 6. Agradecimientos

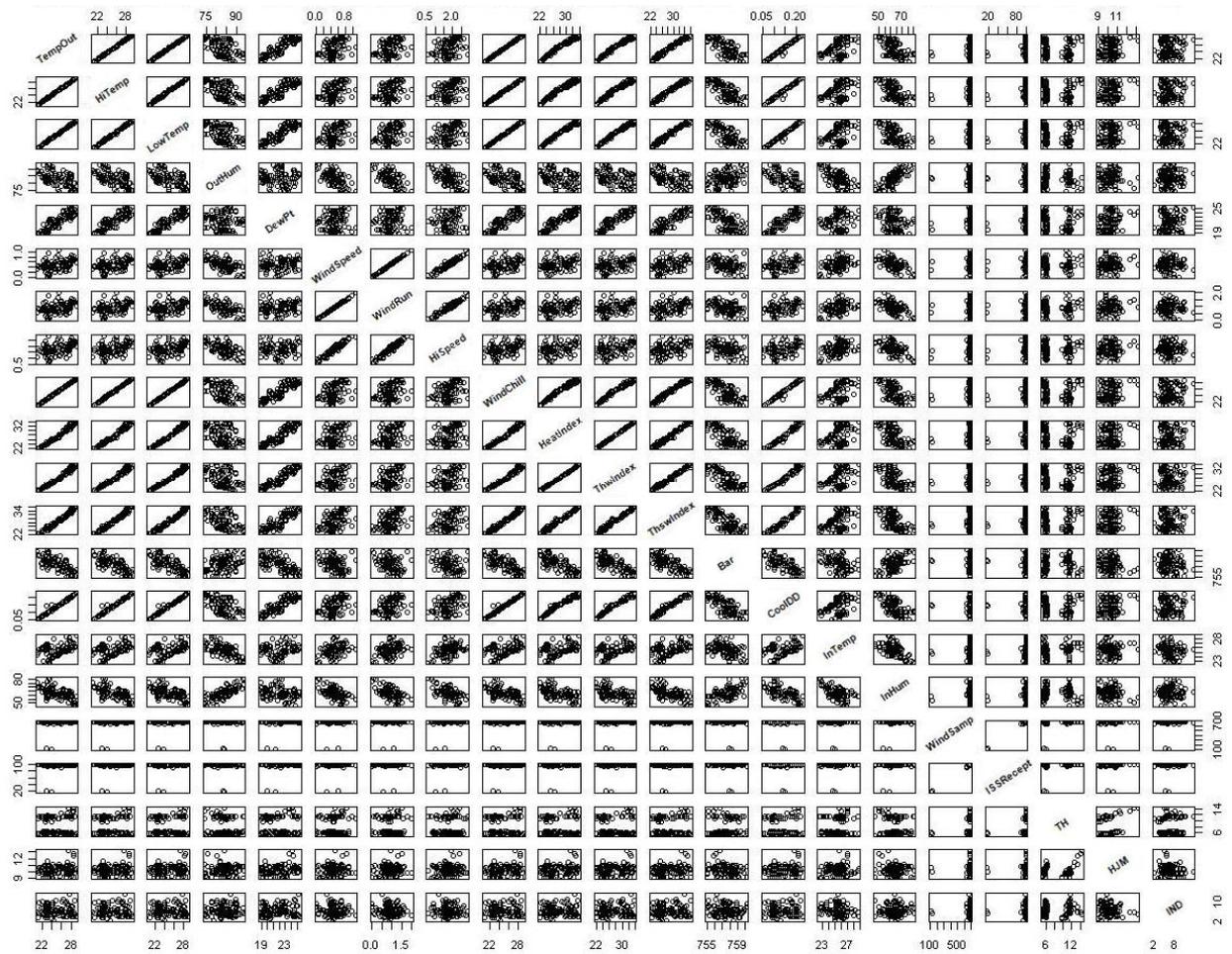
Al personal del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), a Patricia Gómez y Karla Aguaguña por su colaboración en la realización de este trabajo.

## 5. Bibliografía

- [1]. Arias P., Dankers C., Liu P., and Pilkauskas P. The World Banana Economy, FAO Commodity Studies-1, 1985-2002. 2003
- [2]. FAO. Situación de mercado del banano en 2006. Disponible <http://www.fao.org> (visitada Febrero, 2009). 2006.
- [3]. INTA. Ficha del cultivo de banano; estación experimental de cultivos tropicales. Disponible <http://www.inta.gov.ar/yuto/info/documentos/tropicales/Microsoft%20Word%20-%20ficha%20banana%20completa.pdf>. 2006.
- [4]. M. Zabala y A. Bermúdez. El costo del control de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*, Morelet) y su efecto en el beneficio económico del productor de plátano (*Musa AAB* cv. Hartón) del sur del lago de Maracaibo. 2004.
- [5]. Hutchinson G. Introducción a la ecología de poblaciones. 1a Edición, Editorial Blume; 1981.
- [6]. Gauhl, F. Epidemiología y ecología de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en plátano (*Musa* sp.) en Costa Rica. 114 p. 1989.
- [7]. Pérez L. and F. Mauri. Efecto de la temperatura sobre la velocidad del crecimiento de *Mycosphaerella fijiensis* in vitro. Determinación de la temperatura cardinales para el crecimiento y desarrollo del patógeno; Pag. 24-25. 1992.
- [8]. Pérez et al, Epidemiología de la sigatoka negra, Instituto de Investigaciones de Sanidad vegetal. Ministerio de Agricultura; Cuba. 1993.
- [9]. Porras and Pérez, Epidemiología de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Cuba, Pronóstico Bioclimático de los tratamientos de fungicidas en bananos (*musa acuminata* AAA), Revista Mexicana de Fitopatología, Disponible [www.redalyc.uaemex.mx](http://www.redalyc.uaemex.mx) (visitada Marzo, 2009).
- [10]. Fouré E., Contribution à l'étude épidémiologique de la cercosporoïse noire dans la zone bananière du Moungo au Cameroun de 1987 à 1989, pag. 3-6. 1992.
- [11]. Mourichon y Zapater, Obtention in vitro du stade *Mycosphaerella fijiensis* ,553-557. 1990.
- [12]. Gauhl, Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana (*Musa* spp.); Costa Rica. 1990.
- [13]. Jácome y Wschuh, Effects of leaf wetness duration and temperature on development of black Sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis*, *Phytopathology* 82,1991, 515-520. 2000.
- [14]. Luis Pérez Vicente, Manejo Integrado de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y Sigatoka Amarilla (*Mycosphaerella musicota* Leach ex Mulder) en Banano y Plátano, Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y



Anexo 2. Matriz de Diagrama de Dispersión



Anexo 3. Distribuciones de probabilidades

Distribución probabilística (marginal) de cada variable				Distribuciones probabilísticas condicionales para IND																							
	V	A	R	InTemp	V	V	A	A	A	A	R	R															
RainRate	0,788	0,111	0,101	HJM	A	A	A	A	A	R	A	A															
TempOut	0,545	0,333	0,121	TH	V	R	V	A	R	V	V	R															
HiUV10	0,333	0,333	0,333	IND	V	0,286	0,273	0,296	1,000	0,588	1,000	1,000	0,500														
SolarRa10	0,333	0,333	0,333		A	0,714	0,591	0,407		0,324				0,500													
HJM		0,970	0,030		R		0,136	0,296		0,088																	
InTemp	0,293	0,667	0,040	Distribuciones probabilísticas condicionales para HJM																							
TH	0,394	0,020	0,586	RainRate	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	A	A	A	A	A	R	R	R	
				TempOut	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	A	A	A	A	A	R	A	A	
				HiUV10	V	V	A	A	A	R	R	V	V	A	A	A	R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	
				SolarRa10	V	A	V	A	R	A	R	V	A	V	A	R	A	R	A	R	A	R	V	A	R	R	
				HJM	V																						
					A	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,800	1,000	1,000	1,000	0,667	0,500	1,000
					R																0,200				0,333	0,500	