

**USO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA EL ESTUDIO DEL  
HONGO SIGATOKA NEGRA (*MYCOSPHAERELLA  
FIJIENSIS MORELET*) EN CULTIVOS DE PLÁTANOS.  
ESTACIÓN CHAMA, SUR DEL LAGO DE  
MARACAIBO**

**Resumen:** *Vida Sáez Sáez\** y *Morelia Puche\*\**

La severidad de ataque del hongo sigatoka negra en cultivos de plátanos se relaciona con la precipitación, humedad relativa y temperatura del aire. Se planteó como objetivo utilizar índices climáticos para el estudio de sigatoka negra en cultivos de plátanos, en un área productora en el Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. Se registraron las condiciones meteorológicas dentro y fuera de cultivos de plátanos y la severidad de ataque del hongo por un período de dos años: 1996-1998. Se generaron series de acumulados simples y acumulados para 4 lapsos del día (Día, Noche, Tarde y Mañana) y en intervalos de 10, 15, 20 y 25 días previos a la evaluación de la enfermedad. Se calcularon las diferencias dentro y fuera del cultivo; se correlacionaron las series climáticas con la enfermedad, con los índices climáticos dentro del cultivo. Se estableció la regresión múltiple entre los índices de temperatura, humedad relativa del aire y la lluvia con la enfermedad. Los resultados indican que la alternancia de las lluvias, la humedad del aire de la Noche y el Día, y la oscilación de temperatura del aire en 25 días sugieren una mejor descripción en la variabilidad de la severidad de ataque del hongo ( $R^2$  Adj = 76,95%). Se concluye que los índices climáticos dentro del

\* Profesor Asistente Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.

\*\* Profesora Agregada Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.  
biogeografia\_ucv@yahoo.es, puchem@agr.ucv.ve

cultivo en acumulados simples, y lapsos durante el día (Día y Tarde) a intervalos de 20 a 25 días representan una alternativa para el estudio de la enfermedad en comparación a los registros climáticos convencionales.

**Palabras claves:**

Sigatoka negra, índices climáticos, plátanos

\*\*\*\*\*

**Abstract:**

The severity of attack of black sigatoka in crops of plantains is related with the precipitation, relative humidity and temperature of the air. The objective was to use climatic indexes for the study of black sigatoka in crops of plantains, in an area producer in the South of the Lake of Maracaibo, Venezuela. It registered the mentioned meteorological conditions (outside and inside the crops) and the severity of attack of the fungi for a two year period: 1996-1998. Series were generated of having accumulated simple and accumulated for 4 lapses (Day, Night, Morning and Afternoon) and in intervals of 10, 15, 20 and 25 previous days to the disease evaluation (116 indexes). It were considered the differences inside of and outside of the crop, the climatic series were correlated with the severity, with the climatic indexes inside the crops it calculation the multiple regression and the disease. The results indicate that alternation of the rains, the humidity of the air of the Night and the Day, and the oscillation of temperature of the air in 25 days suggests a better description in the variability of the severity of attack of sigatoka ( $R-SQ Adj. = 76,95\%$ ). It concludes that the climatic indexes inside the crops in having accumulated, lapses during the day to diverse intervals (20 to 25 days) they represent an alternative for the study of the fungi in comparison to the conventional climatic registrations.

**Key words:**

Black sigatoka, climatic indexes, plantains.

\*\*\*\*\*

## 1. PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El hongo sigatoka negra se encuentra en las plantaciones de plátanos en el Sur del Lago de Maracaibo desde el año 1991 (Martínez, 1997). Se identifica a principios del siglo XX, en Oceanía (Stover, 1986) y de aquí se extendió por el resto del mundo, llegó a Venezuela por Colombia y desde ese momento ha estado afectando a los cultivos en esta área y en otras regiones del occidente y centro norte del país.

Las condiciones ambientales (alta precipitación, temperatura cálida del aire y alta humedad relativa del aire) favorecen su permanencia y determina en el nivel de severidad de ataque en los cultivos (agresividad). Los registros climáticos mensuales (convencionales) permiten caracterizar la variabilidad de la enfermedad pero no permiten relacionarlos directamente con el ciclo de vida del hongo, ya que su ciclo de vida es más corto al período de un mes.

Por otra parte el área de estudio se caracteriza por poseer un régimen de lluvias no estacionales, con altos y constantes registros de humedad relativa y temperatura del aire durante el año.

Emplear series acumuladas a diversos lapsos (10, 15, 20 y 25 días) e intervalos durante el día y compararlos con los niveles de la severidad de ataque del hongo en los cultivos, sugiere una experiencia que no explorada para la comprensión de la relación hongo-condiciones ambientales (climáticas) y el cultivo.

### Objetivo General

Examinar la relación entre la severidad de ataque de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y las condiciones meteorológicas observadas (temperatura del aire, humedad relativa del aire y precipitación) por medio de series no convencionales, en cultivos de plátanos, en el período de registro 1996-1998, Estación Experimental Local Chama, Sur del Lago de Maracaibo. Estado Zulia.

## 2. RELACIONES ENTRE EL CULTIVO DEL PLÁTANO CON SUS CONDICIONES AMBIENTALES Y LAS ENFERMEDADES

El Plátano pertenece a la familia de las musáceas, la cual comprende plantas herbáceas y la mayoría de sus especies poseen gran porte, de cuyo tallo en rizoma se originan numerosas raíces adventicias de amplia ramificación. Las hojas son alternas, por lo común acumuladas en la región superior del tallo, con un pecíolo bastante robusto, y un enorme limbo de bordes enteros, con una nervadura central, de la cual parten numerosas nervaduras. Las flores son hermafroditas, cigomorfas o asimétricas, trímeras y agrupadas en inflorescencias racimosas. Se cultiva en regiones bajas y húmedas en los países intertropicales. Su origen probable es Asia, mide de 4 a 6 metros, dependiendo de la especie (Cronquist, 1969; Sandoval y Müller, 1999). El cultivo a estudiar esta dentro del subgrupo *Musa* AAB, y se pueden mencionar al plátano Hartón, conocido a nivel internacional como falso cuerno, el plátano Enano y el plátano Dominicó.

El género *Musa* se divide en cuatro secciones: Autralimusa, Callimusa, Rhodochlamys y Eumusa. Esta última sección comprende a las especies *M. acuminata* y *M. balbisiana*. El número básico cromosómico para la sección Eumusa es de  $n = 11$ . Las musáceas comestibles usualmente se dividen en dos tipos: bananos y plátanos. Los plátanos pertenecen a esta sección, subgrupo AAB, se originó del cruzamiento entre las especies silvestres *Musa balbisiana* (BB) y *Musa acuminata* (AA); la ploidía y el genomio de cada cultivar está representado con A para indicar la procedencia de la segunda (*M. acuminata*) y la B para la primera. De esta manera las letras A y B sirven para la clasificación e identificación de los cultivares (Sandoval y Müller, 1999).

El clima apropiado para el cultivo del plátano está dado por las condiciones de bosque muy húmedo tropical a bosque húmedo tropical, incluso hasta los espacios pertenecientes al bosque seco tropical, donde la temperatura media anual varía de 16 °C a 37 °C, y el óptimo es 25°C en promedio anual. La precipitación necesaria para el buen desarrollo del cultivo debe estar entre 120 - 150 mm mensuales, un promedio aproximado de 1.700 mm anuales, y no es conveniente la ocurrencia de períodos largos de sequía, ni períodos cortos de inundaciones (Doorembos y Kassam, 1979; Delgado, 1994).

Es un cultivo susceptible a la salinidad y al nivel freático a menos de 1 m de profundidad, debido al crecimiento del tallo y al desarrollo del sistema radical cuyo volumen se concentra en los primeros 20 a 40 cm de profundidad y el exceso de humedad origina pudrición de las raíces; la textura del suelo debe corresponder preferiblemente al tipo franco, lo cual favorece la penetración y el desarrollo del sistema radical y ofrece aireación y disponibilidad de nutrientes. La infiltración y la retención de agua de estos suelos favorecen el desarrollo del cultivo, que requieren de un pH de 6,0 a 7,0 (Delgado, 1994; López, 1996).

El buen rendimiento del cultivo responde a las diversas condiciones del medio y de manejo donde se desarrolla: suelo, clima, plagas, enfermedades, malas hierbas, irrigación, fertilización y drenaje (Gauhl, 1989; López, 1996; Inibap, 2000). Las musáceas se encuentran expuestas a situaciones ambientales adversas (de origen abiótico y biótico), las cuales inciden en el desarrollo y los rendimientos finales. La ocurrencia y severidad de ataque del hongo sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), también denominado “raya negra” (Delgado, 1994), es considerada de alta incidencia económica. Es una de las variedades más agresivas en su género, sus efectos consisten en: defoliación, reducción del vigor vegetativo (necrosis), maduración precoz, pérdida de calidad de la fruta y baja en el rendimiento (Ruiz et al. 1987; Gauhl, 1989; Vargas y Romero, 1989).

### **Consideraciones Biológicas y Epidemiológicas de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet)**

El hongo corresponde a la clase de Loculoascomycetes, Género *Mycosphaerella*, negra (*fijiensis*) y amarilla (*musicola*) (Agrios, 1995).

La fase más importante de reproducción es la sexual (esporas), que responde a las condiciones del medio de diseminación (viento) e inoculación por láminas de agua (lluvia). Las conidias (reproducción asexual) se ha reportado tan importantes como las ascosporas en la inoculación de los cultivos de musas, en el Sur del Lago de Maracaibo. Exigen menor lámina de agua y requiere también amplios rangos de humedad relativa del aire (Pineda, 1995).

Las medidas de control en la severidad de ataque del hongo en los cultivos de plátanos son diversas, y se conocen: las prácticas culturales (eliminación de partes enfermas), el control químico (uso de funguicidas), control biológico (uso de organismo depredador al hongo) y el mejoramiento genético (empleo de especies vegetales resistentes al ataque).

### **Los elementos meteorológicos y la severidad de ataque del hongo en los cultivos de plátanos**

La severidad del ataque y su variabilidad responde en gran proporción a variación de los elementos meteorológicos: temperatura del aire entre 24 a 28 °C como rango óptimo; mayor severidad se observa con humedad relativa > 70%, y la lluvia media anual por encima de 1400 mm (Gauhl, 1989, Marín et al., 1990, Romero, 1997). Se reportan estos umbrales como los óptimos normalmente en análisis mensuales, los estudios señalan que las mejores condiciones para la presencia de la enfermedad se han observado en áreas estacionales con registros de daños severos en plantaciones y una atenuación del ataque en temporada seca.

### 3. METODOLOGÍA EMPLEADA

La Estación Experimental Local Chama se encuentra al Sur del Lago de Maracaibo, Estado Zulia (ver figura 1). Se seleccionó un lote productor de 1 hectárea (plantación comercial no intensiva), con plátanos hartón, y un promedio de 1750 plantas durante el período de observación. Se controló la presencia de malezas y se tomaron medidas fitosanitarias necesarias para mantener el vigor de la plantación tales como el deshoje de hojas con severas necrosis y asegurar una aireación óptima, reducir inóculo y crecimiento de los hijos y aplicación de fertilizantes. En la figura 2 se esquematiza el procedimiento empleados para cumplir con el objetivo de la investigación.

Se instalaron dos estaciones meteorológicas con un inicio de registro desde enero de 1996 hasta abril de 1998. Una estación fuera del cultivo (serial 1234) con un pluviógrafo: precipitación (Ppa) y un termohigrografo para registrar la temperatura del aire (ta) y humedad relativa del aire (hr) y una estación dentro cultivo (serial 1235) con un termohigrografo.

A partir de los registros de las estaciones se calcularon los siguientes índices climáticos para intervalos de 10, 15, 20 y 25 días previos a la evaluación de la enfermedad, (ver cuadro A):

- Acumulado simple (A): sumatoria del elemento para los intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

- Acumulado de lapsos del día: sumatoria de los registros para varias horas del día (Día, Noche, Mañana, Noche) y promediados en intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

Oscilación acumulada: diferencia observada durante el día y luego acumulada para los intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

Ocurrencia de evento de precipitación: lluvia registrada en 24 horas.

Día (D): lapso durante el cual domina la luz y calor del sol, corresponde a los registros desde las 6:00 am. a las 6:00 pm. para los intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

Noche (N): lapso durante el día en que no hay iluminación de la luz del sol, corresponde a los registros desde las 6:00 pm. a las 6:00 am. para los intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

Tarde (T): fracción del día y representa los registros desde las 6:00 am. a las 12:00 pm. para los intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

Mañana (M): registros desde las 12:00 am a las 6:00 am para los intervalos de 10, 15, 20 y 25 días.

Al final resultaron los siguientes índices climáticos (ver cuadro 1):

Acumulados simples: Ppa (4), Ahr (8) y Ata (8) (20 índices)

Oscilación Acumulada (Oa): Oahr (8) y Oata (8)(16 índices)

Acumulado de lapsos:

Aphr (Acum. prom. hum. rel) (D, N, T, M) (32 índices)

Apta (Acum. prom. temp. aire) (D, N, T, M) (32 índices)

Ocurrencia (Nes: número de eventos) y No  
Ocurrencia de Precipitación (Nds: número de  
días sin precipitación):

Ndpp (4), Nespp (4) y Ndspp (4) (12 índices)

### **Índice de la enfermedad**

Las evaluaciones fueron hechas a los cultivos de plátanos a intervalos de 15 días. Estas fechas sirvieron de base para el cálculo de los intervalos de los índices climáticos. Se seleccionaron 10 plantas en prefloración en cada evaluación. Se estimó el Porcentaje Ponderado de Infección (PPI) (Stover, modificado por Gauhl, 1989):

**PPI** = S (% de hojas en cada grado de severidad x grado de severidad respectivo) / 100

S = sumatoria; % = porcentaje; en la figura 3, se representa la escala de valores que se espera del PPI y la cual sirvió para calificar las ecuaciones hechas a las plantaciones.

### **Análisis de las Series de Datos**

1. Caracterización de la precipitación. Los registros de lluvia decadiaria (acumulados de 10 días) de los años 1996 a 1998 de la estación 1234 fue comparada con los registros de la estación 3025, a 7 km de distancia, a los fines de determinar su variabilidad y homogeneidad de la serie en el área de estudio.
2. Caracterización de la temperatura y humedad relativa del aire. De los registros de las estaciones instaladas se estimaron gradientes a partir de las diferencias dentro y fuera del cultivo (1234-1235); luego se estableció correlación entre las series diarias para el período de estudio con el objeto de obtener un estimador de la temperatura del aire dentro del cultivo con la estación 1234.
3. Caracterización de la relación clima-enfermedad. Con los valores de severidad de ataque (PPI) se estableció correlación con las series de precipitación, temperatura del aire y humedad relativa del aire de las estaciones. Finalmente con los resultados encontrados de la estación que mejor describía la relación clima-enfermedad se estimó regresión múltiple con el procedimiento stepwise (Statgraphics Version 4).

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. Precipitación observada durante el período 1996-1998**

Para los años 1996, 1997 y 1998 se conformaron 81 decadiarios de registros de precipitación de las cuales 39, fueron menores que el

cuartil inferior (75%) de la serie histórica, lo que indica valores considerados secos, en particular en los decadiarios de octubre-noviembre de 1996; junio- agosto y diciembre de 1997; enero y febrero de 1998. El análisis de las series de precipitación señala que presentan una distribución normal.

Una característica del comportamiento de la lluvia durante el período 1996-1998, además de haber llovido menos del promedio, fue su concentración en cortos lapsos, esto evidencia que la lluvia ocurrió con gran intensidad. En la figura 4 se aprecia la diferencia porcentual de la lluvia observada con la precipitación histórica (percentil 50%). Se aprecia que la mayoría de los registros durante los años de estudios son negativos, lo que equivale a valores más bajos en comparación con el promedio. Durante el año de 1997 se aprecian varios decadiarios con registros con diferencias positivas muy amplias en relación a los otros dos años.

Los índices relacionados a la lluvia como el número de días con precipitación (Ndpp) y precipitación acumulada (Ppa) para los distintos intervalos, en la mayoría de los casos indican que altos montos de acumulados, coinciden con alto número de días lluvioso y viceversa, excepto entre los decadiarios de junio y agosto de 1998, cuando se tuvieron muchos días lluviosos, pero poca cantidad de lluvia, lo que revela que en esos tres meses el tipo de precipitación fue de menor intensidad (tipo lluvias y lloviznas, en lugar de aguaceros y chaparrones).

Si la ocurrencia de lluvias (evento) y su duración actúa sobre el hongo, la no ocurrencia y alternancia también inciden sobre el hongo; esta última condición se identificó como el índice Nespp (número de evento sin precipitación). El Nespp no necesariamente señala humedad dada por la lluvia, un bajo Nespp señala uniformidad y alto Nespp indica alternancia de condiciones secas y húmedas; en tanto que Ndspp (número de días sin precipitación) señala la longitud de los lapsos secos. En la figura 5, se observa el comportamiento de los Nespp para los intervalos de 15 y 25 días previos a la evaluación de la enfermedad.

Se observan casos con pocos Nespp y Ndspp, como febrero-marzo de 1997 y abril-mayo y julio de 1998, revelan un lapso establemente húmedo (coinciden con altos montos de lluvia en muchos días, excepto en julio de 1998, cuando hubo poca lluvia en muchos días). Por otra parte en abril de 1997, la relación Nespp y Ndspp, presenta una gran alternancia con muchos días secos, indicando una tendencia a seco (coincide con valores de lluvia en pocos días). Sin embargo lo más frecuente es que se produzcan situaciones de mucha alternancia de días secos y lluviosos con pocos días en total secos, como por ejemplo mayo-diciembre de 1997.

Se concluye al definir el comportamiento de la humedad, producida por las lluvias, que ésta se presentó muy compleja en sus registros. El período de estudio fue en general seco, con lapsos lluviosos concentrados en enero-febrero de 1997 y abril-mayo de 1998. En los momentos en que la cantidad de lluvia se acercaba al promedio, se dio en general, la condición de alternancia de días secos y lluviosos.

### **Temperatura del aire observada durante 1996-1998**

Las series de la temperatura del aire de las estaciones dentro y fuera del cultivo son normales en su distribución, dado la  $t_{cal1234}$ : -0,867 y  $t_{cal1235}$ : -0,839 y al contrastar con el valor tabulado se encuentran que están por debajo del umbral crítico ( $t_{tab}$ : 2,074, 22 g.l.,  $\alpha$ : 5%). En el cuadro 1, se resumen los valores acumulados de temperatura del aire para el intervalo de 15 previos a la evaluación de la enfermedad, y su equivalente (acumulado/15 días) para los cuatro lapsos del día para las estaciones dentro y fuera del cultivo.

**Cuadro 1**  
**Índices climáticos relativos a la temperatura del aire (°C)**  
**(Totales acumulados -equivalentes diarios)**

	<b>Día</b>	<b>Noche</b>	<b>Tarde</b>	<b>Mañana</b>	<b>Oscilación</b>
Fuera (1234)	448 - 29,9	385 - 25,5	469 - 31,3	377 - 25,1	146 - 9,7
Dentro(1235)	436 - 29,1	362 - 24,1	464 - 30,9	367 - 24,5	143 - 9,5

Los valores indican que los acumulados de promedio del lapso fueron mayores en la estación 1234. En el Día hay una diferencia promedio de 0,8 °C entre las dos estaciones. Para la Mañana el aire libre está en promedio 0,6 °C más cálido que la del cultivo. Durante la Tarde se produce la menor diferencia entre los dos puntos de observación. En la Noche las diferencias son las mayores de todos los lapsos, 1,5 °C en promedio.

Se mantiene una tendencia generalizada y persistente de aire más fresco dentro del cultivo, porque los cultivos generan un ambiente de sombra y penumbras, acompañados de suelos húmedos dentro del lote, lo que hace que se mantenga menor la temperatura del aire. La relación de la temperatura diaria entre las dos estaciones sugiere la siguiente ecuación:

$$\text{Temperatura dentro del cultivo} = 7,83 + 0,77 * \text{temperatura diaria aire de la estación fuera del cultivo}$$

$$r^2 = 0,75; n = 680$$

### **4.3. Humedad relativa del aire observada durante 1996-1998**

Los acumulados para los diversos lapsos e intervalos de tiempo se indican en el cuadro 2. Las series mensuales de humedad relativa de las estaciones 1234 y 1235 se ajustan a una distribución normal, según

se desprende de los análisis, se encontró que la  $t_{cal1234}$ : -0,867 y  $t_{cal1235}$ : -0,839 y al ser contrastadas se presentan por debajo del valor crítico ( $t_{tab}$ : 2,074, 22 g.l.,  $\alpha$ : 5%). En el cuadro 2, se resumen los valores acumulados de humedad relativa del aire para el intervalo de 15 previos a la evaluación de la enfermedad, y su equivalente (acumulado/ 15 días) para los cuatro lapsos del día para las estaciones dentro y fuera del cultivo.

**Cuadro 2**  
**Índices climáticos relativos a la humedad relativa en**  
**Porcentaje**  
**(Totales-Equivalentes Diarios)**

	<b>Día</b>	<b>Noche</b>	<b>Tarde</b>	<b>Mañana</b>	<b>Oscilación</b>
Fuera (1234)	1.019-70%	1.366-91%	903-60%	1.333-89%	654-44%
Dentro(1235)	961-64%	1.325-88%	834-56%	1.280-85%	663-44%

Se observa en el cuadro que los registros de la estación 1234 presentaron los mayores valores acumulados simples y por lapso. En cualquier caso la humedad relativa se presentó por encima del 70% como umbral crítico, en la mayor parte del tiempo, situación que favorece la presencia y desarrollo de ataque de sigatoka negra en las hojas de los cultivos. Esto lleva a concluir que en gran parte durante las 24 horas (excepto por la Tarde y en ocasiones en el Día) los valores de la humedad relativa se encontraran en el rango favorable para la presencia de la sigatoka negra, registros que se hacen más altos si en estos lapsos se presentan lluvias. La ecuación que permite estimar valores de humedad relativa del aire dentro del cultivo (1235) a partir de los registros diarios (24 horas) de la estación fuera del cultivo (1234) es:

$$\text{Humedad relativa dentro del cultivo} = 29,08 + 0,65 * \text{humedad relativa del aire estación fuera del cultivo}$$

$$r^2 = 0,82; n = 680$$

#### 4.4. Caracterización del Promedio Ponderado de Infección (PPI) del hongo

La evaluación de la severidad de ataque del hongo se muestra en el cuadro 3 y figura 6 y cuadro B. Se evidencia que la mayoría observaciones ocurren en los rangos del PPI 1,51 a 2,00. Pocos de los resultados del índice señalan valores extremos superiores 3,01 ó menores a 1,10. Se observó que en el rango del PPI de 1,91 a 2,00 (de menor rango a la representada) se registraron 10 observaciones para el período de estudio (15,9% del total de observaciones) y en el rango 2,01 a 2,10 se presentaron 9 observaciones (14,3%), lo que representa que entre ambos rangos se acumule el 96,9% de los resultados de la severidad y lleva a concluir que la enfermedad es de media a alta.

**Cuadro 3**

**Distribución del número de observaciones y porcentaje por rangos de ocurrencia del PPI. Período 1996-1998.**  
**Estación Experimental Local Chama**

Rango PPI	Severidad	Nº Observaciones	Porcentaje
1,01 a 1,10	Baja a media	2	3,2
1,11 a 1,50		9	14,3
1,51 a 2,00	Media a alta	25	39,7
2,01 a 2,50	Alta	19	30,1
2,51 a 3,00		5	7,9
3,01 a 3,50	Muy alta	3	4,9

#### **4.5. Análisis de correlación entre las series climáticas y la severidad de ataque por sigatoka negra en cultivos de plátanos, Estación Exp. Local Chama. Período 1996-1998**

En el cuadro 4 se tienen los resultados del análisis de correlación entre la severidad de ataque (PPI) del hongo y los 116 índices climáticos calculados para las dos estaciones. Se confrontaron los coeficientes de correlación de cada índice climático y el PPI con los valores críticos para coeficientes de correlación, Snedecor et al. (1988), con un nivel de error  $\alpha = 5\%$ ,  $57$  g.l. y  $n=58$ , y se tiene que el valor tabulado  $r_{tab}$  es  $\pm 0,269$ , es decir, que cualquier valor por debajo a éste umbral no es estadísticamente diferente de 0, en consecuencia la variabilidad del PPI no quedaría descrita con tales índices climáticos. La correlación individual entre los elementos climáticos y el PPI son más altos en las series observadas dentro del cultivo que las registradas fuera del mismo.

Esto sugiere que la información dada por la estación fuera de la plantación (1234) estaría subestimando las condiciones de humedad y temperatura del aire para la evaluación de la severidad de la enfermedad, situación que ya había sido planteada por Jiménez (1996), en los registros de temperatura del aire en hojas de plátanos.

Los coeficientes de correlación con los más altos valores se vinculan a los intervalos de 20 y 25 días y la literatura refiere que la enfermedad se expresa a partir de 15 días de condiciones óptimas (Vargas et al., 1989; Marín et al., 1990; Pérez, 1997; Lescot et al., 1998). Por tanto, pudiera estar ocurriendo que los síntomas de la enfermedad se expresen con rezago respecto a otras regiones con una diferencia de 5 a 10 días.

**Cuadro 4****Coefficientes de correlación entre la severidad de ataque y los índices climáticos de las estaciones 1234 y 1235. Estación Experimental Local Chama. Edo. Zulia. Período 1996-1998**

	1234	1235		1234	1235
Precipitación Acumulada (Ppa)			Acumulado Prom. Temp. del Aire Día		
Ppa10d	-		AptaD10	0,335	0,379
Ppa15d	-		AptaD15	0,297	0,300
Ppa20d	-		AptaD20	0,307	0,306
Ppa25d	-0,293		AptaD25	0,301	0,320
N° de Eventos sin Prec. (Nespp)			Acumulado Prom. Temp. del Aire Noche		
Nespp10d	0,499		AptaN10	-	0,312
Nespp15d	0,614		AptaN15	-	0,317
Nespp20d	0,661		AptaN20	-	0,287
Nespp25d	0,653		AptaN25	-	0,245
Acumulado Simple Temp. del Aire			Acumulado Prom. Temp. del Aire Tarde		
Ata10d	0,315	0,393	AptaT10	0,341	0,343
Ata15d	0,270	0,362	AptaT15	0,309	0,327
Ata20d	0,276	0,424	AptaT20	0,324	0,325
Ata25d	-	0,475	AptaT25	0,324	0,380
Oscilación Acumul. Temp. del Aire			Acum. Prom. Temp. del Aire Mañana		
Oata10d	-	0,286	AptaM10	-	0,312
Oata15d	-	0,303	AptaM15	-	0,296
Oata20d	-	0,342	AptaM20	-	0,280
Oata25d	-	0,465	AptaM25	-	0,307

Por otra parte, se presenta el hecho de que al no llover durante varios días pareciera favorecer la condición de severidad de ataque de la enfermedad (según los signos de los coeficientes de correlación entre el PPI con la Ppa25d y Nespp20d). La alternancia de las lluvias es una característica de su variabilidad, y ésta condición observada 15 a 20 días previos, en la evaluación de la enfermedad, incidía de manera decisiva sobre los registros de la severidad de ataque de sigatoka negra.

La humedad relativa del aire, como elemento aislado, según los resultados no presenta significado estadístico ante la variabilidad del PPI, y de acuerdo a lo discutido, presenta un comportamiento similar al de las lluvias, es decir, pareciera que su incremento minimiza al PPI (todos los coeficientes resultaron negativos), probablemente porque estos registros empiezan a estar por encima de los umbrales favorables para el desarrollo de la enfermedad, y actúa como mecanismo favorable vinculado a las lluvias cuando éstas disminuyen en frecuencias y montos, situación que pudiera tener su equivalente con el índice climático Nespp.

Se encontró que la temperatura del aire es aparentemente favorable todo el tiempo y actúa de manera directa en la severidad de ataque del hongo. Los resultados orientan que hay una mayor relación durante la Tarde y el Día, respectivamente; patrón similar observado con los registros de la estación 1234. Los resultados de mayor significancia estadística respondieron a las series climáticas en intervalos de 15, 20 y 25 días.

Las correlaciones simples indican que las variables que logran una mejor descripción de la variabilidad de la enfermedad corresponden a los índices climáticos registrados dentro del cultivo.

#### **4.6. Análisis de regresión múltiple entre las series climáticas de la estación 1235 y la severidad de ataque por sigatoka negra en cultivos de plátanos, Estación Exp. Local Chama, Período 1996-1998**

Se utilizó la regresión múltiple stepwise para reconocer el comportamiento de la enfermedad en los cultivos con las condiciones climáticas. Se emplearon las variables climáticas de la estación 1235, más los registros derivados de la precipitación. En el cuadro 5 y B se muestran los resultados de la regresión múltiple.

El valor del coeficiente de regresión indica que el modelo explica el 76,954% de la variabilidad del PPI. El error estándar de estimación es 0,207. El error absoluto medio (MAE) 0,144 es el valor medio de los residuales sin considerar sus signos. El test estadístico para los residuales de Durbin-Watson (DW). Dado que es mayor al umbral crítico de 1,4 señala que no hay autocorrelaciones serias en los residuales encontrados por lo que el error estándar de los coeficientes son apropiados.

Los valores de  $t_{cal}$  para los índices están entre 5,982 (Nespp20d) y 2,24 (AptaT20D). Para un nivel de significación de  $\alpha = 5\%$  y  $n - k - 1 = 60 - 14 - 1 = 45$  grados de libertad, el valor de  $t_{tab}$ ,  $t = 1,684$  para prueba unilateral. Dado que los valores de  $t_{cal}$  fueron mayores a los de la tabla de distribución  $t$ , se llega a la conclusión que los coeficientes de regresión son significativamente diferentes de cero. La evaluación de los estadísticos suministrados permiten señalar la pertinencia significativa de los resultados en la descripción de la severidad de ataque del hongo en relación a las condiciones climáticas.



De los tres elementos climáticos utilizados destacan los siguientes índices: la temperatura del aire que se registra en la Tarde (15 y 20 D) y la oscilación térmica diaria (Oata 20 y 25 D). De la humedad relativa destacan los índices Día, la Noche (15, 20 y 25D), respectivamente: y la oscilación de la HR diaria(Oahr 15 y 20D). Finalmente de la precipitación se hace énfasis en el número de días en que ocurren lluvias y el número de días alternos sin llover (Ndpp15d y Nespp20d) se vinculan más con la variabilidad del hongo que los montos de lluvia ocurrido (Ppa).

Esta combinación de índices climáticos orienta mayor precisión de la evaluación sobre la acción de los elementos del tiempo metereológico en la enfermedad que el estudio individual de cada índice con el hongo; también los resultados señalan que los índices en intervalos o lapsos del día llevan a una mejor descripción de la severidad de ataque del hongo que aquellas variables climáticas representadas en montos acumulados o promedios calculados en períodos estándar fijos (valores anuales o mensuales), o de registros puntuales, como los ocurridos en un día.

## **CONCLUSIONES**

La precipitación observada durante el período de estudio 1996-1998 estuvo por debajo de lo normal en la mayoría de las observaciones (serie histórica de la estación 3025) y se caracterizó por la alternancia de lluvias concentradas y períodos secos.

Los mayores valores de la temperatura del aire se observaron en la estación 1234 y las diferencias observadas para cada uno de los lapsos del día que éstas son menores en la Tarde (0,3°C). Los registros de humedad relativa del aire variaron entre 56% (1235, Tarde) a 91% (1234, Noche) y los mayores valores se presentaron en la estación 1234.

Los rangos de los índices de precipitación, temperatura y humedad relativa del aire (acumulados simples y lapsos durante el día) sugieren

que los valores dentro del cultivo se presentan favorables a los umbrales que permiten la presencia y agresividad del hongo.

El análisis de correlación simple entre el PPI y los índices climáticos para las estaciones 1234 y 1235, permitieron concluir que la mayoría de los valores vinculados con la precipitación (excepto Ppa25d, Nessp y los de temperatura del aire en todos sus intervalos) y la humedad relativa del aire no resultaron estadísticamente significativos con la severidad de ataque del hongo en los cultivos de plátanos lo que permite concluir que la presencia y severidad de ataque del hongo desde el punto de vista de las condiciones meteorológicas es producto de la acción conjunta de éstos elementos. También se puede concluir por los resultados encontrados que los valores fuera del cultivo subestiman la severidad de ataque de la sigatoka negra en las plantaciones.

El procedimiento estadístico de regresión múltiple (stepwise) permitió reconocer la importancia de la acción conjunta de los elementos meteorológicos sobre el PPI, cuando el cálculo selecciona la temperatura del aire (Tarde) más el peso de la humedad relativa del aire en los lapsos de Día y Noche y la alternancia de la lluvia (ocurre o no que está representado por el índice climático Nespp).

Se desprende del uso de estos índices la posibilidad de caracterizar la variabilidad que presenta la enfermedad en los cultivos, por medio de registros meteorológicos no convencionales, como los representados por las series observadas dentro del cultivo y no mensuales: acumulados (10, 15, 20 y 25 días) y sus promedios, y también como el empleo de registros observados en lapsos durante el día como en el Día (6:00 am. a 6:00 pm.), Noche (6:00 pm. a 6:00 am.), Mañana (6:00 am. a 12:00 m.) y Tarde (12:00 m. a 6:00 pm.). Centrar la relación condición ambiental en estos índices climáticos y la enfermedad en estos procedimientos estadísticos orientan a una cuantificación entre los componentes clima-cultivo-hongo.

Quedan por revisar muchos aspectos sobre la experiencia, tales como, evaluar la situación en años lluviosos respecto a los registros

medios y mantener continuidad en los registros de severidad de ataque de la enfermedad en los cultivos. También se deberían flexibilizar los acumulados a intervalos diferentes a los 10, 15, 20 y 25 días.

## BIBLIOGRAFIA

- Agrios, G. (1995). *Fitopatología*. 2<sup>da</sup> ed. Editorial Limusa, S.A. México.
- Cronquist, A. (1969). *Introducción a la Botánica*. Harpers and Row Publishers Inc, Primera Edición. México.
- Delgado, M. (1994). *El cultivo del Banano*. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay.
- Doorembos, J.; L. Kassam, (1979). *Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Boletín FAO. Riego y Drenaje. No 33. Roma
- Gauhl, F. (1989). *Epidemiología y ecología de la sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis, Morelet) en plátano (Musa sp.) en Costa Rica*. Unión de Países Exportadores de Banano (UPEB), Panamá.
- INIBAP (2000), Bibliographic Indexes. *Musarama*. The international bibliographic abstracts journal on Banana and plantain. Vol 13. 12-32
- Jiménez, F. (1996). Relación entre la temperatura del aire y la temperatura de la hoja más joven formada del plátano (Musa AAB). Un análisis aplicado a la sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis) *CORBANA* vol. 21 (46). 115-127.
- Lescot, T.; H. Simonot; O. Fages; J. Escalant (1998). Avertissement biométéorologique pour lutter contre la cercosporiose noire en plantations de banana au Costa Rica. *FRUITS*. Vol. 53. No 1. 3-16.
- López, G. (1996). El control de la Sigatoka negra en las plantaciones bananeras de Urubá. *Augura-Rev*. Vol. 19, N°1, (84-96).
- Marín, D.; R. Romero (1992). *El Combate de la Sigatoka Negra*. Boletín 4. Corporación Bananera Nacional. Departamento de Investigaciones. San José de Costa Rica.
- Martínez, G., (1997). The present situation with regard to black sigatoka in Venezuela. *Infomusa*. Vol. 6, N° 1, (16-17).
- Pérez, L. (1997), Black sigatoka disease control in Banana and Plantain Plantations in Cuba. *Infomusa*, Vol. 7, N° 1, (27-30).
- Pineda, J. (1995). Importancia de los conidios en la epidemiología de la sigatoka negra en Venezuela. *Rev. For. Venez.* 1(1): 134-135.

- Romero, R. (1997). Avances en epidemiología y manejo de la sigatoka negra en Bananos. *Agronomía Costarricense*. Vol. 21. No 1. 77-81.
- Ruíz, R.; J. Checa; R. Barriga; R. Montoya (1987). *Manual para el Cultivo del Banano y Plátano*. Temas de Orientación Agropecuaria. Cuarta Edición. Bogotá.
- Sandoval, J.; L. Müller (1999). Anatomía y morfología de la planta de Banano (*Musa AAA*). *Corbana*. Vol 24. No 51. 43-60
- Stover, R. (1986). Disease management strategies and the survival of the banana industry. *Annual review phytopathology*. Vol. 24. 83-91.
- Vargas, D.; R. Romero (1989). *El combate de la sigatoka negra*. Corporación Bananera Nacional. Departamento de Investigaciones. Boletín 4. San José.