

Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la zona bananera del Magdalena-Colombia

Relationship between soil and edaphoclimatic properties and the Black Sigatoka incidence (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in the Banana Region of Magdalena - Colombia

Sonia Esperanza Aguirre Forero¹, Nelson Virgilio Piraneque Gambasica² y Juan Carlos Menjivar Flores³

¹Ingeniera Agrónoma, Especialista en Manejo Biológico de Cultivos, MSc Ciencias Agrarias énfasis Suelos y Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

^{2,3}Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias Agropecuarias.

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Santa Marta. Colombia. ²Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería.

Programa Agronomía. Santa Marta. Colombia. ³Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sede Palmira. Colombia.

sonia.aguirre@unad.edu.co, npiraneque@unimagdalena.edu.co, jcmenjivarf@palmira.unal.edu.co

Resumen

La sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) es la enfermedad más limitante del cultivo del banano a escala mundial, su severidad se magnifica a niveles epidémicos y aumenta con el monocultivo de cultivares y clones genéticamente uniformes. En Colombia ocasiona pérdidas en regiones exportadoras de Urabá y Magdalena donde su manejo depende del uso de agroquímicos, sin lograr su erradicación. En la búsqueda de métodos para reducir la presión del patógeno en la zona bananera del departamento del Magdalena-Colombia, se determinó la relación entre el clima, propiedades edáficas y la incidencia de la enfermedad. Se utilizaron los sistemas de información geográfica, se digitalizaron los datos de las variables edáficas reportadas en el estudio de suelos IGAC (2009), los registros de las estaciones meteorológicas existentes en la región y la información de incidencia del patógeno. Como resultado se establecieron 3 áreas (alta, media y

baja incidencia) y se evidenció correlación positiva entre incidencia de la enfermedad con precipitación ($r=0,56$), magnesio intercambiable Mg^{+2} ($r=0,45$), microporosidad ($r= 0,40$), el contenido de arcilla ($r= 0,54$) y la evaporación ($r= 0,51$), se observó que existen condiciones edáficas que inciden en la presencia de la enfermedad, variables a tener en cuenta en el manejo del cultivo.

Palabras clave: correlación; incidencia; sigatoka negra; *Mycosphaerella fijiensis*; propiedades edáficas; clima; zona bananera.

Abstract

Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) disease is the greatest limiting factor affecting banana crop production across the world. The pathogen's severity has reached epidemic levels and is exacerbated by the cultivation of monocultures and genetically uniform clones. In Colombia,

losses occur in the exporting regions of Uraba and Magdalena, where its management depends on the use of agrochemicals, without achieving eradication. In the search for methods to reduce the pathogen's effect within the banana zone of the departamento del Magdalena, Colombia, the relationship between climate, soil properties, and the presence of the disease was determined. Were utilized data from geographic informational systems, digitalized the data from the soil variables reported in the soil study conducted by IGAC (2009), records from weather stations in the region, and data showing the incidence rate of the pathogen. As a result of the study were

established three areas (high, medium and low incidence rate) and discovered a positive correlation between the incidence rate of the disease with precipitation ($r = 0.56$), interchangeable magnesium, Mg^{+2} ($r = 0.45$), microporosity ($r = 0.40$), clay content ($r = 0.54$), and evaporation ($r = 0.51$). Were observed that there are soil conditions that influence the presence of the disease, variables that should be kept in mind in the management of banana cultivation.

Key words: correlation, incidence, black sigatoka, *Mycosphaerella fijiensis*; soil properties, climate, banana zone.

Introducción

Para 2005, la FAO reportó 4.040.800 hectáreas de banano sembradas en el mundo, Brasil (12.15%), Filipinas (10.33%) e India (10%) son los países con mayor área cultivada. El Sureste Asiático es considerado como el lugar de origen del banano; las primeras plantas llegaron a América (Santo Domingo) en 1516, procedentes de las Islas Canarias, de ahí se distribuyó al continente donde las mayores áreas cultivadas se encuentran en Brasil, Ecuador, Colombia y Costa Rica (Pérez, 2000).

Aproximadamente el 20% de la producción de banano se destina al comercio internacional, junto con manzanas, uvas y cítricos, es uno de los productos más importantes a nivel frutícola. El mayor exportador del mundo es Ecuador con más de 4 millones de TM en 2005, aportando el 28.46% del volumen mundial de exportación; le siguen Filipinas (13.68%), Costa Rica (11.12%), Guatemala (7.84%) y Colombia (9.62%) donde se siembra en Urabá departamento de Antioquia y en la zona bananera del departamento del Magdalena (FAO, 2008).

La Sigatoka negra es la principal enfermedad en los cultivos de plátano y banano. Produce deterioro del área foliar, afecta el crecimiento y la productividad de las plantas al disminuir la capacidad fo-

tosintética e inducir maduración prematura de los racimos (Marín *et al.*, 2003, Corbana, 2004; Douglas y Ronald, 1992). Fue descubierta en 1963 y se reportó por primera vez en Honduras en 1972, desde donde se diseminó por la región.

En Colombia, el hongo se detectó por primera vez en Urabá (Octubre de 1981). En los primeros tres años la enfermedad no causó pérdidas, pero en 1986 se reportaron más de 600.000 cajas de banano infestadas (Mayorga, 1994). En Agosto de 1987, la enfermedad se observó en el zona bananera del Magdalena; desde entonces, es la principal causa de pérdidas de fruta tipo exportación (Chica *et al.*, 2004).

De acuerdo con los reportes de Pérez y Mauri (1992), Pérez *et al.* (1993) y Fouré (1994), la epidemiología de la Sigatoka negra depende de factores bióticos y abióticos. Los patrones de temperatura y humedad (número de horas que la superficie de la hoja permanezca húmeda), y los de evolución de la enfermedad, plantean la existencia de una estrecha relación entre factores climáticos como la humedad relativa, la temperatura, precipitación y el patógeno, los cuales condicionan la incidencia y severidad de la enfermedad.

Mourichon y Zapater (1990) (citados por Manzo *et al.*, 2005), plantearon que la enfermedad presenta dinámica estacional determinada por las variaciones de temperatura y precipitación a lo largo del año, además, que la estructura reproductiva se desarrolla mediante inoculación cruzada y se facilita cuando hay agua libre sobre las hojas. Gauhl (1994), estableció que la liberación de ascosporas ante la presencia de lluvias aumenta por la existencia de una capa de agua en la superficie de la hoja donde existe mayor cantidad de manchas en el envés. Las hojas secas adheridas a las plantas representan una excelente fuente del inóculo.

Según las investigaciones de Jácome y Schuh (1992), la temperatura y la humedad relativa, favorecen el desarrollo de la epidemia, temperaturas entre 20-35 °C contribuyen a la germinación de conidios y ascosporas del hongo, así ocurre la máxima germinación en un rango de 25-28 °C y humedad relativa alta especialmente cuando hay presencia de película húmeda sobre la hoja. En relación con la temperatura, Pérez *et al.* (2000 a y b), estimó que las ascosporas de *M. fijiensis* germinan entre 10-38 °C, se considera óptimo a 27 °C, por lo que se observa que la velocidad relativa del crecimiento de los tubos germinativos de esta se deprimen a temperaturas menores de 20 °C.

Respecto con el viento, se ha observado que la concentración de las conidiosporas en las plantaciones es alta en las capas inferiores, en comparación con el follaje, mientras que el número de ascosporas en el aire no presentan diferencia (Stover, 1972; 1980 y 1990). Las esporas de *M. fijiensis* son diseminadas por el viento y depositadas en las hojas más jóvenes de la planta. Allí germinan si las condiciones de humedad son favorables y emiten el tubo germinativo que penetra por las estomas de la hoja para luego ramificarse y colonizar células vecinas, desarrollando el síntoma característico de pizca y, posteriormente, la mancha necrótica. La lluvia libera el inóculo, la precipitación provee condiciones de humedad que favorecen el desarrollo de las infecciones, la

humedad relativa es importante para el desarrollo de la infección, mientras que el viento es el factor que permite una vez han sido liberadas, la dispersión de las ascosporas del patógeno (Douglas y Ronald, 1992). Por otro lado, existe una clara tendencia de mayor número de ascosporas en las zonas productoras con mayor influencia del mar Caribe, donde debido a sus características biológicas (Burt *et al.*, 1997) y mayor número de ciclos sexuales por año, producen tasas elevadas de colonización de tejidos y logra rápidamente prevalecer en el cultivo (Romero, 2003).

El control químico y la selección de plantas resistentes, continúan siendo la principal estrategia para contrarrestar la enfermedad, apoyados con prácticas de cultivos (deshoje, deshije, drenaje, control de maleza y nutrición), con el fin de reducir la fuente de inóculo y evitar condiciones que favorecen el desarrollo del patógeno. Sin embargo, existen reportes de resistencia del hongo a fungicidas (Orozco-Santos *et al.*, 2001; Chin *et al.*, 2001; Patiño, 2003) y pérdidas de sensibilidad de *M. fijiensis* a los benzimidazoles (Romero y Sutton, 1997; Stover, 1972), y a los triazoles (Castro y Campos, 1995; Romero y Sutton, 1997).

En 2003, Romero evidenció dificultad para el control de la enfermedad, por la resistencia del patógeno a los fungicidas sistémicos. Por lo anterior, es importante el estudio del estado fisiológico del cultivo y la caracterización del ambiente (microclima) dentro de las plantaciones, lo que elimina el mayor número de factores de riesgo, entre ellos, malezas que generan competencia de nutrientes, agua y luz y que son hospederas del inóculo. Otro aspecto por considerar en las plantaciones de banano, es el dinamismo de la planta en cuanto a su fase vegetativa, reproductiva y productiva (Rodríguez y Cayón, 2008), siendo necesario establecer programas de manejo de nutrientes y fertilización con el mayor número de consideraciones: formulación, forma y época de aplicación de acuerdo con los requerimientos de la especie.

Actualmente todos los esfuerzos se centran en la producción de híbridos resistentes a la enfermedad, los principales híbridos desarrollados a partir de FHIA se han puesto a disposición de la comunidad internacional FHIA-01, FHIA-02, FHIA-03 y FHIA-21, por su resistencia a varias enfermedades entre ellas la Sigatoka negra, Mal de Panamá y Moko. Estos contribuyen a la seguridad alimentaria de los campesinos en varios países del mundo y constituyen la base de investigaciones en biología molecular que podría otorgar resistencia a los bananos cultivados en zonas tropicales (Arias, 2004).

Cuando se estima rendimiento, los componentes climáticos y agronómicos pueden integrarse en un modelo (agrometeorológico), para evaluar la respuesta del cultivo a los cambios en las condiciones meteorológicas y/o en las técnicas de la plantación. Dichos estimadores necesitan como dato de partida las áreas ocupadas por una especie agrícola. Algunos autores denominan a esta integración geoprocesamiento, que se puede definir como el conjunto de técnicas informáticas que actúan sobre una base de datos georreferenciados, orientadas a convertirlos en información importante en un sistema de producción (Silva, 2001).

La sigatoka negra causada por el hongo *M. fijiensis*, es una enfermedad destructiva, que por su virulencia y fácil diseminación se ha convertido en amenaza mundial (Belálcazar *et al.*, 1991; Merchán, 1996; Balint-Kurti *et al.*, 2001; Marín *et al.*, 2003). En el Magdalena, registra pérdidas del 50% al 80% del cultivo (Aguirre y Castaño, 2005), y a pesar del control constante de la enfermedad y del uso de diferentes fungicidas, no se ha logrado minimizar su ocurrencia. Patiño (2003), alude resistencia del patógeno a los fungicidas (estrobilurinas), situación que obliga a implementar nuevas alternativas de manejo a fin de disminuir la incidencia y severidad de la enfermedad.

Si bien, existe fundamento para considerar a las condiciones climáticas como predisponentes de la enfermedad, se desconoce si las características

edáficas donde se cultiva *Musa sp.*, intervienen en la multiplicación y el grado de severidad del patógeno, por lo que es propicio determinar la relación existente entre incidencia de la enfermedad y estas características en la zona. Esto con el fin de determinar el grado de relación entre las variables estudiadas y contribuir al establecimiento de información que permita la planificación y organización del proceso productivo.

Materiales y métodos

Identificación de la zona de trabajo

La zona bananera del Magdalena comprende 11.000 ha con alta dispersión de predios y un tamaño promedio de 5 ha por finca. El cultivo del banano está distribuido entre los municipios de Guachaca, Santa Marta, Ciénaga, Zona Bananera, Retén, Aracataca y Fundación. Esta área localizada en las coordenadas geográficas: 10°46'00" de latitud Norte y 74°8'00" de latitud Oeste clasificada como Bosque seco Tropical (Bs.-T) y Bosque muy seco Tropical (Bms-T), según las zonas de vida de Holdridge, a una altura media de 20 m.s.n.m, temperatura media anual de 27 °C; humedad relativa promedio de 82%; evaporación de 1.500 mm año⁻¹ y precipitación media de 1.371,7 mm año⁻¹ (Bornacelly y Bolaño, 2003).

La zona presenta dos épocas lluviosas: La primera, inicia a mediados de abril y finaliza en junio; la segunda, inicia en agosto y se extiende hasta comienzos de diciembre. La época seca corresponde a los períodos entre enero a abril y de julio a agosto (5-6 meses). Durante el primer período lluvioso, se registra aproximadamente 36% del total de la precipitación y en el segundo 64%. La temperatura promedio oscila de 28 a 30 °C, con mínima de 21 °C. La humedad relativa media es de 85.4% en el sector norte y 83.6% hacia el sector sur (Sierra, 2003, Chica *et al.*, 2004).

La condición de menor precipitación en la zona, con dos períodos secos, obliga a la aplicación de

riego, situación que propicia altos niveles de humedad en las plantaciones durante el año, lo que sumado al uso de riego subfoliar, no ajustado a los requerimientos de la especie, funciona como lluvia artificial, lo que dificulta el manejo de la enfermedad. En los meses de diciembre a febrero, la humedad en las hojas es cercana a 100%, por la presencia de neblina la cual, una vez se disipa, es acompañada por temperaturas altas, haciendo de esto un periodo crítico, secundado por el periodo de salida de lluvias, es decir, transición entre el invierno y el verano. Lo anterior genera alta presencia de inóculo todo el año, que aumenta con la presencia de pequeñas plantaciones de pan coger, en las que no se efectúa estricto manejo fitosanitario.

Recopilación de información

Para el trabajo de gabinete se seleccionó la información básica (Cartográfica, características biofísica, censos, etc.) del área de estudio, se utilizaron los estudios y mapas de suelos generados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) de 2009; los datos climáticos fueron suministrados de las estaciones meteorológicas de la zona pertenecientes a la Asociación de Bananeros AUGURA. Para determinar la incidencia de la enfermedad, se realizó trabajo de campo, para lo cual se contó con la experiencia y conocimiento de técnicos agrícolas del área. La información obtenida se digitalizó para obtener los diferentes mapas (suelos, clima e incidencia de enfermedad).

Evaluación climática

Con los datos meteorológicos (reportados con periodicidad semanal entre 2000 a 2009), provenientes de las estaciones del Departamento, se estableció el área de incidencia de cada estación en el área de estudio mediante el método de polígonos de Thiessen. Estos datos fueron base para los programas de interpolación usados en la generación de imágenes de temperatura y precipitación.

El método de Polígonos de Thiessen además de la información pluviométrica, requiere para su

ejecución, la ubicación espacial de las estaciones. A cada estación se le asignó una superficie, la cual fue obtenida mediante representación en un plano y se unen a través de rectas. A estas rectas posteriormente se les trazaron mediatrices hasta que se intersectan entre sí. Con los límites del área en estudio y los que definen las mediatrices se obtuvo la superficie de influencia para cada estación (Linsley *et al.*, 1988; MOP, 1988; Sheng, 1992; Llamas 1993; Pizarro, 1993; Chow *et al.*, 1994; Fernández, 1995; Lynch y Schulze, 1997).

Inicialmente, los polígonos de Thiessen (como función de análisis básica en los Sistemas de Información Geográfica - SIG), fueron utilizados para el análisis de datos meteorológicos (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, y la evaporación potencial). En este trabajo su beneficio va más allá, debido a su utilidad para determinar áreas de influencia de las estaciones y los tipos de suelos existentes en cada zona.

Zonificación edáfica

A partir de datos como densidad aparente y real, humedad a diferentes tensiones (saturación, 3, 1, 5 y 15 bar), humedad aprovechable, textura, porosidad (total, macro y microporos), como variables físicas y de pH, carbono orgánico, materia orgánica, fósforo, CIC (activa y efectiva), bases totales, saturación de bases, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , como variables químicas, se elaboró el mapa de distribución de los suelos y sobre este, se superpuso el plano obtenido con los polígonos de Thiessen, para determinar el o los tipos de suelos encontrados dentro del área de influencia de cada polígonos o el área de incidencia de las estaciones meteorológicas.

Evaluación de sanidad

En campo se realizó el recorrido del área y se determinó la incidencia y severidad de la enfermedad, por la metodología de Stover modificada por Gauhl (1989), método que permite obtener información sanitaria de la plantación a partir de

seis grados e incluye una escala de muestra de incidencia y severidad de Sigatoka negra. Este sistema es una estimación visual del área foliar enferma en todas las hojas de la planta próxima a la floración, sin necesidad de bajar la hoja.

Para esto, se tomaron todas las hojas presentes, excepto la hoja candela o cigarro y las hojas agobiadas. La más cercana a la hoja candela se consideró la No 1. El conteo se realizó de pares e impares, de derecha a izquierda, a partir de la hoja 1 y 2. Contando hacia abajo se determinó el área foliar enferma y se debe estimar visualmente el área de síntomas de Sigatoka negra en cada hoja y calcular el porcentaje de la hoja cubierta por la enfermedad. Es necesario contar con un patrón o modelo que divida la hoja en proporciones porcentuales, se contabiliza el total de hojas y se divide por el número de plantas evaluadas. El número de hojas por planta, se extrae de la última hoja que está coloreada en la fórmula de evaluación. La hoja más joven enferma (HMJE) es un índice del progreso de la enfermedad; cuanto más joven aparezca los síntomas, mayor es la incidencia de la enfermedad.

Resultados y discusión

Evaluación climática

Por el método de polígonos de Thiessen se determinó que las estaciones que inciden sobre el área de estudio son: Zona Sur, Orihueca, Prado Sevilla, Padelma Zona bananera y Aracataca (figura 1); resultado muy cercano a la realidad confrontada en campo, lo que confirma lo enunciado por Pizarro *et al.* (2003), quien enuncia que este es el método más acertado para espacializar área de influencia de estaciones con base en la precipitación en regiones llanas o planas.

Las pruebas estadísticas, de precipitación no presentaron diferencias ($P=0,05$) entre estaciones, lo que sugiere uniformidad en la distribución de las

lluvias; no obstante, el mayor promedio semanal lo presentó la estación Orihueca (25,2 mm/semana), seguido de la estación Padelma (23,656 mm/semana) y Aguja (18,673 mm/semana). Las estaciones Padelma y Orihueca presentaron la mayor temperatura media (27,8 y 27,7 °C, respectivamente) y reportaron los mayores valores de evaporación, siendo este comportamiento constante para toda la área de estudio, lo que determina su clasificación como clima seco tropical.

Zonificación edáfica

Además de la utilidad climática que ofrece el método de polígonos de Thiessen, permitió identificar las unidades de suelos predominantes en la zona de influencia del estudio, teniendo como base los datos del estudio del IGAC (2009), (figura 2).

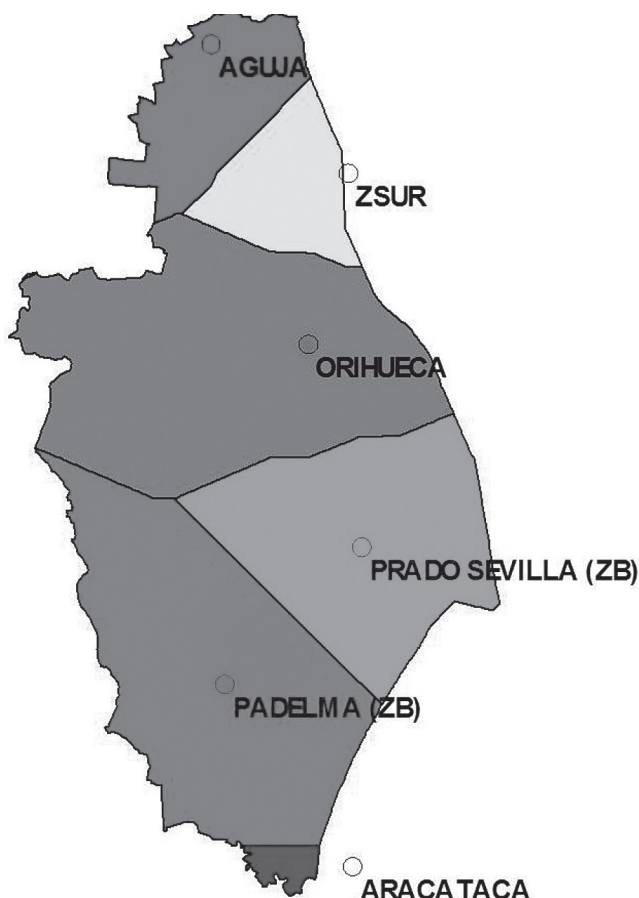


Figura 1. Zona de influencia de las estaciones meteorológicas en el Municipio Zona Bananera. Método Polígono de Thiessen.

UNIDAD RWA: Corresponde a Suelos de Planicie Aluvial. Suelos de clima cálido seco, situados geomorfológicamente en los planos de inundación, relieve plano a cóncavo; desarrollados a partir de aluviones finos, medios y gruesos; superficiales a profundos, bien y pobremente drenados, de texturas variables, inundables y fertilidad baja a alta; conforman la unidad los suelos Endoaquerts (30%), Haplusterts (30%) e inclusiones de los Fluvaquents (15%), Endoaquepts (10%), Haplustepts (10%) y Ustifluvents (5%) (IGAC, 2009).

diferente granulometría; son profundos a superficiales, bien a moderadamente drenados, texturas finas a medias y fertilidad baja a alta. Integran esta unidad los suelos Haplustepts (50%), Ustifluvents (20%) y el 30% restante por los suelos Plintustults, Natrustalfs, Haplustolls y Haplusterts (IGAC, 2009).

UNIDAD RWG: Suelos de planicie aluvial. Suelos de clima cálido seco, ubicados en la posición de planos de inundación, relieve plano; desarrollados a partir de aluviones; superficiales a muy superficiales, texturas medias a gruesas, pobre a imperfectamente drenados, fuertemente ácidos a moderadamente alcalinos, saturación de bases alta y fertilidad natural moderada a muy baja. Conforman esta unidad los suelos Aeric Fluvaquents (30%), Fluventic Haplustepts (30%), Typic Psammaquents (20%) y Typic Ustipsamments (20%) (IGAC, 2009).

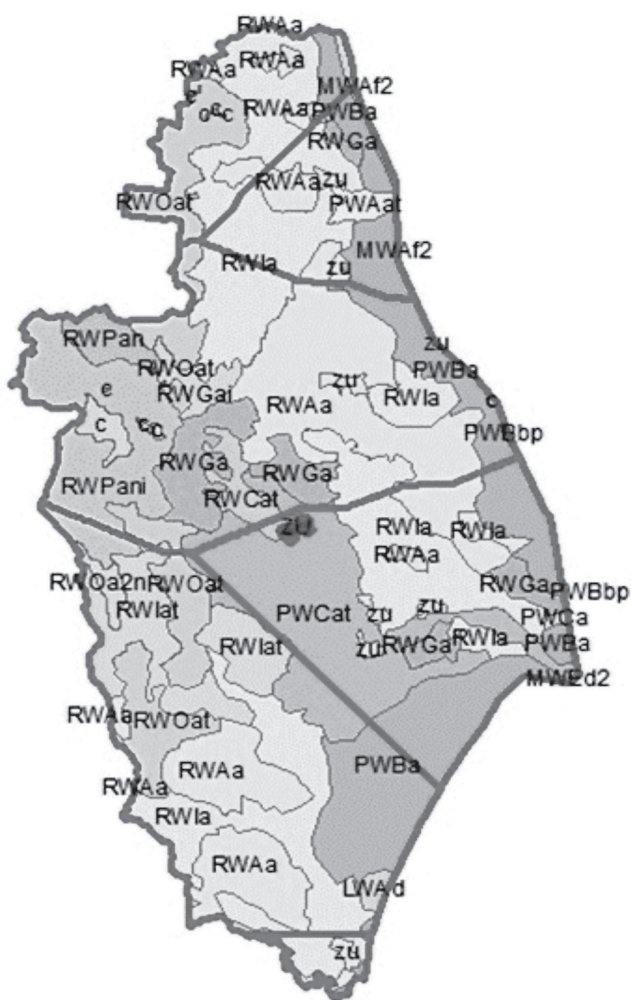


Figura 2. Unidades de suelos identificadas en la zona de estudio.

UNIDAD RWB: Suelos De Planicie. Suelos de clima cálido seco, ubicados en la posición de terrazas subrecientes y antiguas, relieve plano a ligeramente ondulado; desarrollados de aluviones de

Evaluación de sanidad

A partir de la evaluación de la incidencia y severidad de Sigatoka negra, por la metodología de Stover, modificada por Gauhl durante 2011, se determinó zonas con alta, media y baja incidencia (29%, 24,9% y 19% respectivamente), (figura 3).

Teniendo en cuenta la similitud entre los resultados de sanidad (zona de baja, media y alta incidencia) con las áreas de estaciones meteorológicas de Padelma, Orihueca y Aguja, (figuras 2 y 3), se evaluó y contrastó las diferencias en las características físicas y químicas del suelo para determinar posibles parámetros que se pudieran relacionar con la incidencia del patógeno.

Una vez obtenido los mapas de suelos y las características del clima documentadas en el SIG, se superpuso con las áreas de incidencia de la enfermedad (media alta y baja). De esta forma, se sobreponen todos los datos hasta obtener, finalmente, un sistema de las imágenes y datos finales que ilustran áreas y características específicas de la zona.



Figura 3. Distribución e incidencia de la enfermedad en la zona de estudio. Área productora de banano en el Municipio Zona Bananera. Incidencia: **A:** Alta; **M:** Media; **B:** Baja.

La zona con mayor índice de severidad (Padelma con 29%), presentó con diferencias significativas, los valores más altos para contenido de humedad a saturación (40,24%), humedad a 3 bar (19,75%), humedad a 5 bar (14,29%), arcilla (24,67%), CICE (21,93), Mg^{2+} (6,41), Microporosidad (38,72%) y Temperatura máxima (34,33 °C).

Padelma obtuvo, aunque sin diferencias, los mayores valores en densidad aparente (1,6), humedad a 15 bar (9,02%), macroporosidad (17,95%), pH (7,33), CO (0,532%), MO (1,02%), SB (90,41%), Ca^{2+} (9,88), K^+ (0,27) y Na^{2+} (5,34%).

La zona con menor incidencia (Aguja), presentó diferencias ($P < 0,05$) respecto con las otras, caracterizándose por mostrar los más altos valores para Temperatura media (27,81 °C); por otro lado, presentó significativamente los menores valores para microporosidad (24,4%), Humedad a saturación (29,72%), Humedad a 3 bar (10,8%), Humedad a 5 bar (6,8%), contenido de arcilla (10,12%), CICE (11,14 $cmol(+).kg^{-1}$), BT (11,14 $cmol(+).kg^{-1}$), Mg^{2+} (2,65 $cmol(+).kg^{-1}$), precipitación media (18,67 mm/semana), Tmax (32,5°C) y Evaporación (35,95 mm/semana).

Al realizar el análisis de correlación (Tabla 1) para determinar el grado de asociación entre las diferentes variables, se determinó que la microporosidad ($r=0,56$ $P < 0,05$), el contenido de arcilla ($r=0,53$ $P < 0,05$), los contenidos de Magnesio intercambiable ($r=0,45$ $P < 0,05$) y la precipitación ($r=0,50$ $P < 0,05$), se encuentran asociados a la Incidencia de la enfermedad.

La relación existente entre precipitación, evaporación y temperatura ha sido ampliamente documentada (Mourichon y Zapater, 1990; Pérez y Mauri, 1992; Pérez *et al.* 1993; Gauhl, 1994; Fouré, 1994), siendo los factores que prevalecen en la epidemiología de la Sigatoka negra. Además se observó cómo la zona más cercana al mar se corresponde con la tasa más alta de la enfermedad, tal como lo denota Burt *et al.* (1997).

Los parámetros de evaporación y temperatura media asociados en esta investigación en forma directa con la incidencia, son concordantes con lo enunciado por Jácome y Schuh (1992), Pérez y Mauri (1992) y Singh *et al.* (2006), quienes indican que temperaturas entre 20-35 °C contribuyen a la germinación de conidios y ascosporas del hongo, ocurriendo máxima germinación si existe en rango de 25-28 °C y humedad relativa alta, situación que se evidencia en todas las zonas estudiadas.

Tabla 1. Correlación de Spearman entre variables medidas con el Índice de severidad ocasionado por *M. fijiensis* en Banano. Arriba: Índice de correlación; Abajo: Nivel de significancia ($P < 0,05$).

Densidad Aparente	0,20508	Materia Orgánica	0,11637
	0,3725		0,6154
Densidad Real	-0,1424	P	-0,21834
	0,5381		0,3417
Humedad a Saturación	0,3337	Fertilidad	0,25812
	0,1393		0,2586
Humedad a 1 bar	0,24673	CICA	0,36295
	0,281		0,1059
Humedad a 3 bar	0,39186	CICE	0,30568
	0,079		0,1778
Humedad a 5 bar	0,39186	Bases Totales	0,30568
	0,079		0,1778
Humedad a 15 bar	0,18861	Ca ²⁺	0,21777
	0,4129		0,343
% Humedad aprovechable	-0,02905	Mg ²⁺	0,45006
	0,9005		0,0406
Macroporosidad	0,40879	K ⁺	0,13101
	0,0658		0,5714
Microporosidad	0,56583	Na ⁺	0,33391
	0,0075		0,1391
Porosidad Total	-0,15959	Saturación de Bases	0,29809
	0,4896		0,1894
Arena	-0,24681	Precipitación	0,5
	0,2808		0,021
Limo	-0,07259	pH	0,17508
	0,7545		0,4478
Arcilla	0,53717	Carbono Orgánico	0,11637
	0,012		0,6154

En cuanto a los parámetros edáficos, Amézquita (1994) y Brady and Weil (2008), afirman que suelos con textura arcillosa poseen pobres condiciones de labranza, baja permeabilidad, alta retención de humedad y con susceptibilidad a la erosión hídrica. Esta condición le confiere al suelo tendencia a la compactación, no recomendable para el cultivo de banano al impedir el normal crecimiento del sistema radical. Así mismo, El alto porcentaje de arcilla en los suelos puede afectar significativamente las propiedades hidrológicas, la susceptibilidad a la compactación, la tendencia al encostramiento y el efecto sobre la raíz de la planta. Al no ser correctamente distribuida el agua causa encharcamiento y el suelo se adhiere a las herramientas de trabajo, características que podrían limitar la disponibilidad y absorción de nutrientes.

La porosidad refleja las condiciones del suelo para retener, transmitir agua y permitir el movimiento de aire dentro de este. En los lotes estudiados, los valores encontrados están por debajo de 50%, siendo dominada por microporos, rompiendo la continuidad porosa del perfil. Esta discontinuidad afecta el movimiento del agua y del aire, la capacidad productiva y las posibilidades de mejor servicio ambiental, porque impide que el agua se redistribuya adecuadamente dentro del perfil (Amézquita *et al.*, 2003).

En otras palabras, no hay continuidad porosa en el suelo y este se satura superficialmente. Cuando llueve se producen encharcamientos y condiciones reductoras, con efectos nocivos para el cultivo por falta de aire y, posiblemente, se incrementa la disponibilidad de nutrientes como Fe²⁺ y Mn²⁺, que pueden llegar a niveles perjudiciales para las plantas. Lo expuesto coincide con Agrios (1997), quien enuncia que contenidos elevados de humedad en el suelo, pueden favorecer la incidencia de patógenos.

La microporosidad existente afecta directamente la densidad aparente relacionada con la posibilidad de crecimiento, expansión de raíces y contenido de materia orgánica (Amézquita y Londoño, 1997).

Cuando la D_a es alta ($\geq 1,4 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), hay dificultad para crecimiento; por el contrario, con bajos valores de D_a , las raíces pueden crecer libremente (Amézquita, 1994, Amézquita *et al.*, 2000 y Galvis, 2005). Para este estudio, los valores encontrados superan el límite superior, por lo que evidencia condiciones que favorecen la compactación del suelo, el incremento de la microporosidad y con ella de humedad retenida crea condiciones para el encharcamiento por déficit en la distribución del agua en el perfil.

La zona Bananera (con mayor incidencia de la enfermedad 29%), presentó los mayores valores en densidad aparente con $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, situación que puede asociarse a los contenidos de arcilla y que, por causa del manejo, el suelo ha perdido la estructura.

El proceso mediante el cual las plantas adquieren los elementos necesarios para su producción, se denomina nutrición y los elementos involucrados en el mismo, se denominan nutrientes, los cuales son exclusivamente de naturaleza inorgánica. Estos minerales nutritivos que toma la planta del suelo, son determinantes en las funciones de crecimiento y desarrollo vegetal (Aguirre y Piraneque, 2005), es necesario conocer la evolución de su contenido en el suelo y, con ello, mejorar la toma de decisiones para evitar deficiencias, porque una vez se manifiestan visualmente, se ha perdido un porcentaje en la producción potencial del cultivo.

Se ha determinado la relación de los elementos nutrientes con la resistencia o tolerancia a enfermedades. La nutrición mineral de las plantas, considerada como un factor exógeno, puede modificarse y constituye un punto fundamental adicional para enfrentar las enfermedades. Los nutrimentos influyen en el crecimiento y la supervivencia de los patógenos, en la predisposición, tolerancia y resistencia de las plantas dependiendo del nutriente, del estado nutricional de las mismas, la especie hospedera y el tipo de patógeno. Sin embargo, las plantas enfermas acompañadas de una nutrición

balanceada pueden resistir más el efecto de los patógenos, lo que se traduce en mejor desarrollo y rendimiento (Aguirre *et al.*, 2006; Marschner, 2003; Agrios, 1997; Chaboussou, 1987; Huber, 1981; Huber y Arny, 1985).

Desde el punto de vista anterior y de la dinámica de nutrientes, la absorción de agua y de iones conlleva a periodos de suficiencia e insuficiencia, lo que está íntimamente relacionado con el estado de las propiedades físicas de los suelos, lo cual puede incidir sobre la predisposición a la infección, lo que afecta el vigor, las características anatómicas, histológicas, fisiología y eficiencia en el uso de agua.

A pesar de la escasa literatura sobre la relación de la concentración foliar de magnesio con la susceptibilidad a enfermedades, la posible explicación de una relación directa entre este elemento y el porcentaje de daño producido por *M. fijiensis* puede atribuirse a mayor producción de fotosintatos. Estos intensificarían los compuestos orgánicos importantes en la defensa bioquímica como disuasores, inhibidores y controladores de patógenos, pero también atrayentes de plagas y enfermedades específicas del género, entre los que se encuentra *M. fijiensis*, patógeno muy adaptado al hospedero capaz de emplear sus compuestos como señales de localización, activando la germinación de esporas y, con ello, incrementa el porcentaje de daño.

Los valores reportados para este elemento, son de medios (en Aguja) a altos (Zona Bananera y Orihueca); no obstante, las cantidades presentes de otros iones como el Ca^{+2} y el Na^{+} , pueden afectar su disponibilidad. Es necesario enfatizar en las relaciones entre Mg^{+2} y K^{+} , toda vez que este estudio estableció que en todas las zonas existe deficiencia inducida de K^{+} por exceso de Mg^{+2} , siendo considerablemente más acentuada en la Zona Bananera, lo cual puede predisponer a la planta a los efectos del patógeno, tal como lo indican Huber y Arny, 1985; Marschner, 2003 y Yamada, 2005.

Finalmente, el efecto del tipo y la intensidad de labranza, unidos al monocultivo, causa cambios drásticos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Gálvis, 2005), lo que puede verse reflejado en la presente investigación; sin embargo, es necesario aumentar la escala de trabajo con el fin de obtener resultados más verídicos y confiables.

Conclusiones

Al encontrarse correlación positiva entre la incidencia de la enfermedad con precipitación, magnesio intercambiable Mg^{+2} , microporosidad, contenido de arcilla y la evaporación, se evidencia que existen condiciones edáficas que inciden en la presencia de la enfermedad, variables por tener en cuenta en el manejo del cultivo.

El estudio permitió identificar áreas donde el patógeno encuentra las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo, lo que disminuye el potencial de rendimiento de la especie cultivada y si bien, se constata la prevalencia de las condiciones climáticas en su desarrollo, es necesario incorporar al análisis las variables edáficas y de tejido *in situ*, que asocie los contenidos de nutrientes en suelo y absorbidos por la planta en diferentes edades con la incidencia de la enfermedad.

Agradecimientos

Héctor Jaime López Salgado. Agrologó M.Sc.
 A la Asociación de Bananeros de Colombia
 AUGURA.

Literatura citada

1. Agrios, G. (1997). *Plant pathology*. Florida: Department of plant pathology, Florida University.
2. Aguirre, M. & Castaño, Z. (2005). Epidemiología de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y *M. musicola* Leach. En *Siete genotipos de Musáceas*. *Fitopatología Colombiana* 29 (1), 7-11.
3. Aguirre, S., Piraneque, N. & Menjivar, J. (2006). Influencia de la nutrición y absorción diferencial de nutrientes sobre la severidad del hongo (*Sclerotium cepivorum*) en cebolla de bulbo en Tibasosa Boyacá. *Acta Agronómica*, 55(4), 21-28.
4. Aguirre, S. & Piraneque, N. (2005). Influencia del ambiente y la nutrición sobre las enfermedades vegetales. *Revista de Investigaciones UNAD*, 4 (2), 23-35.
5. Amézquita, E., Chávez, L., Molina, D., Hoyos, P. & Galvis, J. (2003). Susceptibility to compaction of improved soils (Oxisols). En *the Eastern Plains of Colombia. International Soil Tillage Research Organization Conference, Proceedings of ISTRO-16 "Soil Management for Sustainability"*. Brisbane, Australia, 13-18 Julio 2003, 29-35.
6. Amézquita, E., Ruiz, H., Legarda, B. & Peña, J. (2000). Efecto de cuatro sistemas de labranza sobre las condiciones físicas de un suelo Vertisol degradado. *Revista de Ciencias Agrícolas* 27: 1, 282-293.
7. Amézquita, E. & H. Londoño. (1997). La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 27, 163-168.
8. Amézquita, E. (1994). Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Silva, F. (ed.). *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control* (p.137-154). Santa Fé de Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
9. Arias R. & Luz E. (2004). La Sigatoka del banano, alternativas para su control. *La Impronta* - Medellín, Antioquia. Recuperado de <http://www.premioreportaje.org/article>.
10. Balint-Kurti, P., May, G. & Churchill, A. (2001). Development of a transformation system for *Mycosphaerella* pathogens of banana: a tool for the study of host/pathogen interactions. *FEMS. Microbiology Letters*, 195, 9-15.
11. Belalcázar, S., Merchán, V. & Mayorga, M. (1991). Plagas y enfermedades del plátano. 7-61. En: *ICA. Boletín de sanidad vegetal*, 4. Bogotá: Produmedios.
12. Bornacelly H. & Bolaño J. (2003). *Efecto de diferentes labores de manejo sobre el desarrollo de la Sigatoka Negra del banano en el distrito de Sevilla, zona bananera del Magdalena*. Tesis de Maestría, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
13. Brady, N. & Weil R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14. Upper Saddle River NY: Ed. Prentice Hall,
14. Burt P., Rutter, J. y Gonzales, H. (1997). Short-distance windborne dispersal of the fungal as pathogens causing Sigatoka diseases in banana and plantain. *Plant Pathology* 46, 451-458.
15. Castro, W. & Campos, L. (1995). Análisis in vitro de la sensibilidad de *Mycosphaerella fijiensis* a los fungicidas fenoximol, tridemorph y propiconazole. *Phytopathology* 85, p. 382.
16. Chaboussou, F. (1987) *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (A teoria da Trofobiose)*. Porto Alegre: Ed. L. y PM., p. 256.

17. Chica, R., Montoya, J., Patiño, L., Rodríguez, P. & Ruiz, L. (2004). Impacto y manejo de la sigatoka negra en el cultivo de banano de exportación en Colombia. En: Congreso de la asociación para la cooperación en investigaciones de bananos en el Caribe y América tropical (2004: Oaxaca). *Memorias del XVI congreso ACORBAT*. Oaxaca, México. 53-62.
18. Chin, K.M., Wirz, M. & Lair, D. (2001). Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* form banana to trifloxystrobin. *Plant Dis*, 85(12), 1264-1270.
19. Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw-Hill, 583.
20. CORBANA. (2004). El combate de la sigatoka negra. Boletín No 4. Departamento de investigaciones, 22.
21. Douglas M & Ronald. R (1992). El combate de la sigatoka negra. Boletín No 4. Departamento de investigaciones. CORBANA, 22.
22. FAO. (2005). Proyecciones para el Banano. Comité de Productos Básicos. Grupo intergubernamental sobre el Banano y Frutas Tropicales. Tercera Reunión. Puerto de la Cruz, España.
23. FAO. (2008). Organización para la Alimentación y la Agricultura. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://faostat.fao.org/>
24. Fernández, F. (1995). Manual de Climatología Aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Editorial Síntesis S. A., Madrid, España. 285. Recuperado de <http://www.finagro.com.co/html/>
25. Fouré, E. (1994). Leaf spot disease of banana and plantain cause by *Mycosphaerella fijiensis* and *mycosphaerella musicola* (37-46) (D. Jones, ed.). In: *the improvement and testing of musa: A global partnership. Proceedings of the first global conference of the international musa testing*. Montpellier, France: Programme INIBAP.
26. Galvis, J. (2005). Evaluación del efecto de la intensidad de labranza en la formación del sellamiento superficial en un Oxisol de sabana en los Llanos Orientales de Colombia. Tesis MSc. Ciencias agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 114.
27. Gauhl, F. (1989). Untersuchunge zurepidemiologie un okoloigie de Schuwargen sigatoka krankheit (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) an kockbonanen (*musa sp*) in Costa Rica. Thesis. Univ. Gottingen (west germany), 128p.
28. Gauhl, F. (1994). Epidemiology and ecology of black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) on plantain and banana in Costa Rica, Central América, Ph.D, thesis originally presented in German. INIBAP, Montpellier, Francia. 120.
29. Huber. (1981). The use of fertilizers and organic amendments in the control of plant disease. 357-394. En D. Pimentel (ed.). *CRC Handbook of pest management in agriculture*. Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Fl.
30. Huber, D. & Arny, D. (1985). Interaction of potassium with plant disease. En R.D. Munson (Ed.), *Potassium in Agriculture* (467-488). Madison,WI.
31. IGAC. Instituto Colombiano Agustín Codazzi. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Magdalena. Escala 1:100000. Bogotá.
32. Jácome, L. & Shuh, W. (1992). Effects of leaf weness duration and temperature on development of black sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis* var. Difformis. *Phytopathology* 82 (5), 515-520.
33. Linsley, R., Kohler, M. & Paulhus, J. (1988). *Hidrología para Ingenieros*. 2ª Ed. D. F. México Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana, 386.
34. Llamas, J. (1993). *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*. Bilbao, España: Editorial Universitaria del País Vasco, 635.
35. Lynch, S. & Schulze, R. (1997). *Techniques for estimating areal daily rainfall*. Department of Agricultural Engineering, University of Natal South Africa. Recuperado de <http://gis.esri.com/library/userconf/proc95/to250/p241.html>.
36. Manzo, G., Guzmán S., Rodríguez, C., James, A. y Orozco, M. (2005). Biología de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y su interacción con *Musa spp*. *Revista Mexicana de fitopatología*, 23, 87-96.
37. Marín, D., Romero, R., Guzmán, M. & Sutton, T. (2003). Black sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant Dis*, 87, 208-222.
38. Marschner, H. (2003). Mineral nutrition of higher plants. Third edition. London: Academic Press, pp. 313 – 434.
39. Mayorga, M. (1994). Control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en zonas bananeras colombianas. *Fitopatología Colombiana*. 18 (1): 1–8.
40. Merchán, V.M. (1996). *Prevención y manejo de la sigatoka negra*. Manizales: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 30.
41. Ministerio de Obras Públicas MOP, Dirección General de Aguas, Chile. (1988). *Balance Hídrico de Chile - 1987 Dirección General de Aguas*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas, 24.
42. Mourichon, X., & Zapater, M. (1990). Obtention in vitro du stade *Mycosphaerella fijiensis*, forme parfaite de *Cercospora fijiensis*. *Fruits* 45, 553-557.
43. Orozco-Santos M., Farías L., Manzo, J., Sánchez. G. & Guzmán, S. (2001). La sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in México. *La revista internacional sobre banano et plátano*, Infomusa 10 (1), 33p.
44. Patiño, L. (2003). La resistencia a fungicidas, una continúa amenaza al control de la Sigatoka Negra. En *Boletín Técnico Cenibanano*, 4, 9-12.
45. Pérez, L. (2000). Prácticas culturales para aumentar la productividad del banano. En: *Informe anual de CORBANA*, (1999). San José, Costa Rica.
46. Pérez. L & F. Mauri, (1992). Efecto de la temperatura sobre la velocidad del crecimiento de (*Mycosphaerella fijiensis*) “ in vitro”. Determinación de la temperatura cardinal para el crecimiento y desarrollo del patógeno. 24-25. En *IV seminario científico del INIVIT*, Cuba.

47. Pérez L. A. Hernández. E. Abreu, F. Mauri & A Porras, (1993). Epidemiología de la sigatoka negra. *Informe final Instituto de investigaciones de Sanidad vegetal. Ministerio de la Agricultura, Cuba* 39.
48. Pérez, L.; Mauri, F., Hernández, A., Abreu, E., & Porras, A. (2000a). Epidemiología de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Cuba. Pronóstico bioclimático de los tratamientos en bananos (*Musa acuminata* AAA), *Revista Mexicana de Fitopatología*. 18 (1), 15-26.
49. Pérez, L., Hernández, A., & Porras, A. (2000 b). Epidemiología de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Cuba. Pronóstico bioclimático de los tratamientos en plátanos (*Musa spp.* AAB), *Revista Mexicana de Fitopatología* 18: 27-35, 2000b.
50. Pizarro, R., Ramirez, C. & Flores, J. (2003). Comparison analyses of five mean areal rainfall estimation methods in widely varying years. *Bosque* 24(3), 31-38.
51. Pizarro, R. (1993). *Elementos Técnicos de Hidrología III*. Proyecto Regional Mayor sobre Uso y Conservación de Recursos Hídricos en Áreas Rurales de América Latina y el Caribe. Universidad de Talca, Talca, Chile. 135.
52. Rodríguez, P. & Cayón, G. (2008). Efecto de *Mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banano. *Agronomía Colombiana*. 26 (2), 256-265.
53. Romero. R. & Sutton, T. (1997). Sensitivity of (*Mycosphaerella fijiensis*) causal agent of black sigatoka of banana, to propiconazole. *Phytopathology* 87, 96-100.
54. Romero R. (2003). *The spread, detention and impact of black leaf streak disease and other Mycosphaerella species in the 1990s*, 21–47.
55. Sierra, L. (2003). *El cultivo del banano: Producción y comercio*. 1 ed. Pereira-Colombia: Gráficas Olímpica, 680.
56. Sheng, T. (1992). Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas: Estudio y Planificación de Cuencas Hidrográficas. *Guía FAO: Conservación* 13/6. Roma, Italia. 185 .
57. Silva, J. (2001). *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro: Sermograf..
58. Singh, N., Arndt, P. & Petrov, D. (2006). Minor shift in background substitutional patterns in the *Drosophila* saltans and willistoni lineages is insufficient to explain GC content of coding sequences. *BMC Biol.* 4: 37.
59. Stover, (1972). *Banana, Plantain and Abaca Diseases*. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
60. Stover, R. (1980). Sigatoka Leaf Spots of Bananas and Plantains, *Plant Disease Reporter* 64, 750-756,
61. Stover, R. (1990). Sigatoka leaf spot: thirty years of changing control strategies; 1959-1989., 66-74p. En: *Sigatoka leaf spot diseases of banana: proceeding of an international workshop held at San José, Costa Rica*, March 28-april 1. 1989. Montpellier, France. INIBAP
62. Yamada, T. (2005). Simposio discute relações entre nutrição mineral de plantas e outros fatores abióticos e a incidência de doenças de plantas.