**CAPÍTULO I**

1. **SÍNTESIS DEL HONGO *MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS*.**

**Introducción**

En el presente capítulo se explica sobre el principal problema fitopatológico que tienen los cultivos de banano, el hongo *Mycosphaerella f.* causante de la enfermedad Sigatoka Negra, enfermedad que ataca el follaje de la hoja durante su ciclo de vida provocando un deterioro sobre ella, produciendo una serie de etapas de destrucción sobre la planta, retrasando de esta forma la producción y exportación del banano. Los síntomas de la enfermedad en la hoja de banano, sus causas y efectos en el banano, además se explica sobre el control químico por medio de fungicidas que se utilizan para la minimización del ataque hasta su eliminación, los tipos y cómo estos actúan,

Posteriormente, el comportamiento del hongo a los fungicidas, causado por la creación de resistencias, por condiciones climáticas favorables para la enfermedad o un método no adecuado de aplicación de los productos químicos; también se realiza una breve síntesis del impacto económico que ha tenido el ataque del hongo sobre los cultivos de banano y la producción bananera; las formas de evaluar la sensibilidad en el hongo; finalmente se describen las herramientas informáticas actualmente utilizadas en el análisis estadístico.

* 1. **Biología del hongo *Mycosphaerella fijiensis***.

Entre los principales problemas fitopatológicos que tienen los cultivos de banano, es el hongo causante de la enfermedad de la Raya Negra de la Hoja, *Mycosphaerella f.* (anamorfología Paracercospora fijiensis), el cual pertenece a la clase heterothallic ascomycetes, sub clase Loculoascomycetidae, orden Donthideales, familia Dophideaceae.[[1]](#footnote-1)

En la etapa inicial de la enfermedad, se producen los estromas[[2]](#footnote-2) y células conidiógenas, que brotan a la superficie inferior de la hoja (envés de la hoja), produciendo las primeras rayas o manchas de color café, durante esta etapa aparecen los primeros conidióforos[[3]](#footnote-3), los mismos que continúan produciéndose hasta que se vuelve de color negro el centro de la mancha.

Los conidióforos emergen de los estomas[[4]](#footnote-4)de la hoja, solos o en pequeños grupos de 2 a 6, dentro de los límites de la raya o mancha, estos están conformados por **conidios**[[5]](#footnote-5), los conidios (células conidiógenas) se forman individualmente en el ápice del conidióforo, más de 4 conidios maduros forman un solo conidióforo, que al momento de desprenderse deja cicatriz visible en la célula conidiógena y otra en la base del conidio.

Durante la etapa sexual del hongo *Mycosphaerella f.*, se producen un gran número de ascosporas[[6]](#footnote-6) y conidios, durante la etapa de engrosamiento de la raya esta se transforma en una mancha, dando paso al desarrollo de un gran número de espermogonias[[7]](#footnote-7) en la superficie inferior de la hoja, las que son asociadas con los conidióforos.

El peritecio[[8]](#footnote-8) es una estructura que se encuentra inmersa en el tejido de la hoja, y se encuentra en gran abundancia en la parte superior de la hoja, las paredes del peritecio contienen capas en forma de celdas poligonales, con una apertura denominada ostíolo[[9]](#footnote-9), los que son encontrados en ambas superficies de la hoja, dentro del peritecio se encuentran las ascas o sacos llenas de ascósporas y conidios, las que emergen al romperse el peritecio propagándose localmente por medio del aire e infectando otras hojas.

* 1. **Ciclo de vida del hongo *Mycosphaerella fijiensis***.

El ciclo de vida del patógeno se divide en varias etapas, que se muestran a continuación.[[10]](#footnote-10)

***Ciclo de Infección***, en este ciclo las primeras esporas brotan después de 2 a 3 horas de haberse depositado en la superficie húmeda de la hoja, denominada la etapa de la germinación, durante la germinación se desarrollan los primeros cimientos de conidias y ascosporas, emitiendo un tubo germinativo[[11]](#footnote-11) que penetran por el estoma, después de 48-72 horas con una temperatura superior a los 200 C.

El desarrollo de la infección por medio de ascosporas se produce con mayor frecuencia cuando la superficie de la hoja contiene capas de agua, mientras que la infección por conidias se produce por niveles elevados de humedad, en donde las hojas más jóvenes son más propensas a infectarse.

***Ciclo de Incubación***, durante este ciclo emergen del estoma un gran número de células conidiógenas, las que se desarrollan luego en conidióforos, crecen de manera paralela a las venas de la hoja con una distancia mayor a 3mm, luego infectan el estoma adjunto, estas forman pequeñas ramificaciones sobre el estoma. Este comportamiento ocasionará una incubación en cadena, a manera de red formado las colonias[[12]](#footnote-12), en donde se tendrá como resultado el desarrollo de la raya negra en la totalidad de la hoja, la cual es denominada también como “la invasión inicial sobre el tejido de la hoja”.

El período de incubación aparece entre la etapa de infección y la aparición de la primera mancha en la hoja, entre 10-14 días en condiciones ideales para el desarrollo de la enfermedad, la cual es producida por el tipo de campo de los cultivos de banano o por las condiciones climáticas.

***Ciclo de Evolución de los Síntomas,*** este ciclo se desarrolla entre la aparición del primer síntoma y la aparición de la primera mancha madura con su centro seco y de color gris, entre los 11 y 139 días, causando la dispersión de los conidios por medio del aire o agua, haciendo más severa la invasión sobre el tejido de las hojas, debido a la susceptibilidad del cultivo y las condiciones climáticas, o sea con altos niveles de humedad, temperatura y el desarrollo de resistencias en el hongo. A esta etapa se la denomina también como Ciclo de Transición.

***Desarrollo de la Enfermedad***, este ciclo se desarrolla entre el período de infección y la formación de manchas maduras, y es la etapa en donde se puede establecer y medir el desarrollo de la enfermedad.

Durante esta etapa se produce la liberación de una gran cantidad de ascosporas desarrolladas en hojas secas o húmedas, las que dependen de los altos niveles de susceptibilidad de los cultivos, severidad de la infección y las condiciones climáticas, a esta etapa se la denomina también como la etapa de reproducción sexual de la enfermedad.

* 1. **Síntomas de la Sigatoka Negra**.

El primer síntoma que presenta la hoja afectada a causa de la enfermedad de la Sigatoka negra[[13]](#footnote-13), es la aparición de varias rayas en el envés de la hoja, alargadas y ligeramente anchas, con dimensiones menores a 0.25 mm de largo y de un color marrón-pálido, creciendo de manera paralela a las venas de la hoja y no son muy visibles a la luz, no existen síntomas en la parte superior.

En el segundo síntoma, las rayas miden de 2 a 3 mm de longitud, con un color café en la parte inferior y amarillo en la parte superior de la hoja, para luego cambiar a color café y después a color negro, manteniendo el color café en el envés de la hoja durante esta etapa, las que son más visibles a distancias de 1 a 2 m.

En el tercer síntoma, las dimensiones de la raya aumentan a 20-30 mm de longitud y 2 mm de ancho, presentando un cambio de color de marrón a negro, resultando más visible en el haz de la hoja (parte superior de la hoja). En condiciones favorables para la enfermedad, en donde los niveles de inoculación[[14]](#footnote-14) son elevados y existe un gran número de rayas muy pegadas, estas producen una necrosis[[15]](#footnote-15) en la hoja, causando automáticamente la muerte de la hoja en esta etapa.

En el cuarto síntoma, una sola raya no tiende a formar una necrosis, esta aumenta su grosor formando una mancha de color café en el envés y negro en el haz de la hoja y con borde lagrimoso, la misma que será más visible durante una lluvia o rocío.

En el quinto síntoma, la mancha se extiende en forma elíptica o fusiforme, de color negro en ambas superficies de la hoja, el área central de la mancha se vuelve ligeramente aplanada y hundida, por lo que el contorno de la mancha es más pronunciado y angosto de color amarillo.

En el sexto y último síntoma, el centro de la mancha se seca, se marchitan los tejidos, y obtiene un color gris brillante, cada mancha tiene un borde bien definido de color café oscuro o negro y un cerco de color amarillo brillante, como resultado en esta etapa se presenta un deterioro en los tejidos, produciendo la muerte en la hoja de 3 a 4 semanas y persisten los colores brillantes de la mancha.



FIGURA 1.1 HOJA INFECTADA CON SIGATOKA NEGRA EN SU CUARTA FASE.

FUENTE: GUILLERMO AROSEMENA – EL COMERCIO (2007)

* 1. **Causas y efectos en el banano**.

El hongo *Mycosphaerella f.* es el causante principal de la defoliación, muerte de las hojas de banano y gran pérdida de los cultivos, esto se debe a factores climáticos y a la susceptibilidad de los cultivos, que dan como resultado un ataque más severo e incontrolable.[[16]](#footnote-16)

Las condiciones climáticas favorables para el hongo serán los niveles de temperatura superiores a 270 C, que contribuyen a la germinación acelerada de conidios y ascosporas, acompañada de altos niveles de humedad, la que es originada durante la época de lluvias en donde se produce la mayor liberación de ascosporas; y de conidios a través del viento, diseminándose hacia las demás hojas, declarándose la etapa óptima para la infección.

La susceptibilidad de los cultivos también beneficia al desarrollo de la enfermedad a una etapa prematura, provocada por el mal mantenimiento que se le da a los cultivos, mantenimientos que implican una regulación de la población de plantas, sobre el control de las malezas, limpieza de los canales de riego y drenaje, sobre el control de los desechos y de las inapropiadas prácticas de deshije[[17]](#footnote-17) y deshoje[[18]](#footnote-18).

Estos factores aumentan la severidad del ataque, afectando al crecimiento normal de la planta, esto produce un retraso en la floración del fruto, alterando su proceso normal de maduración, originando una pérdida de peso, vigor y tamaño de los racimos, perdiéndose los cultivos y la producción de banano.

* 1. **Control Químico[[19]](#footnote-19)**.
     1. **Fungicidas**.

Una de las prácticas más utilizadas para el control del ataque de la Sigatoka negra es la aplicación de fungicidas, que ayudan a la reducción de los niveles de contaminación en las plantaciones de banano. Los fungicidas son aplicados de manera aérea sobre grandes cultivos o plantaciones exportadoras y por medio terrestre con mochilas fumigadoras, comúnmente usados sobre pequeños cultivos para satisfacer los mercados locales.

Los tipos de fungicidas utilizados para combatir el ataque de la enfermedad son los Protectantes, Sistémicos y De Contacto.

* + - 1. **Fungicidas Protectantes.**

Los fungicidas protectantes tienen el efecto de permanecer en la superficie de la hoja, sin penetrar en los tejidos, creando una barrera contra las esporas evitando la germinación, tiene un gran alcance de actividad exterminadora y es de mayor duración, el que ejerce un ataque sobre el organismo del patógeno en múltiples partes, por lo general el fungicida es aplicado antes de la etapa de infección. Los de mayor utilidad para el control del hongo son el Ditiocarbamatos y Clorotalonil, que son sustancias solubles en agua o aceite, dependiendo de la sustancia y contra-indicaciones, estos reducirán los niveles de toxicidad del patógeno.

* + - 1. **Fungicidas Sistémicos.**

Los fungicidas sistémicos a diferencia de los protectantes estos penetran el tejido de la hoja, mejorando la protección de los cultivos, debido a que ejerce sobre el patógeno un efecto de inmunidad, a pesar de haber infectado los tejidos, sin embargo este tipo de aplicación no da protección permanente, debido a los cambios estructurales que sufren los cultivos, que afectan la composición del fungicida, inhabilitando su ataque. Existen diferentes tipos de fungicidas sistémicos, el Benzimidazole, Tridemorph, Propiconazole, etc. que son sustancias solubles en aceite y aceite con agua.

* + - 1. **Fungicidas de Contacto.**

Los fungicidas de contacto tienen un efecto parecido a los fungicidas protectantes, este permanece en la superficie de la hoja, sin penetrar en los tejidos, desarrollando una capa o defensa contra las esporas, la diferencia con respecto a los protectantes se encuentra en el modo de ataque del fungicida, el cual no tiene una permanencia continua y gran alcance de actividad exterminadora, ejerciendo un ataque a una sola parte del organismo del patógeno. Los de mayor utilidad para el control del hongo son el mancozeb y propineb, que son sustancias solubles en agua o aceite.

* 1. **Comportamiento de *Mycosphaerella fijiensis* a los fungicidas**

La eficacia de los químicos utilizados para combatir el hongo *Mycosphaerella f.* se halla en la disminución de los niveles de toxicidad de la enfermedad, hasta su eliminación, pero el uso constante de estos productos químicos, sin la aplicación de otros métodos de defensa sobre los cultivos, resultan innecesarios, debido a ciertas resistencias que el hongo adquiere hacia los químicos, causando un descontrol sobre la producción de conidias y ascosporas, aumentando los niveles de infección y germinación en las plantaciones, además de alargar el tiempo de vida y mejorar su sistema inmunológico.[[20]](#footnote-20)

Algunos productores o distribuidores de fungicidas químicos indican que limitando el uso de fungicidas de una misma categoría y realizando combinaciones entre los tipos de fungicidas, se evitará que el hongo adquiera suficientes niveles de resistencias, desarrollando un combate más efectivo contra la enfermedad.[[21]](#footnote-21)

* 1. **Impacto Económico de la Sigatoka negra en la producción bananera del Ecuador.**

Dentro de las enfermedades que más han afectado a la producción bananera ecuatoriana desde los años 50 fue la Sigatoka negra *(Núñez R. 1989)*, el cual ha ocasionado pérdidas entre 50% y 100% de las plantaciones y entre 10% y 30% de la cosecha, obteniendo un rendimiento por debajo de los 500 racimos por hectárea al año, afectando más a las pequeñas plantaciones de agricultores. Esto hace más complejo el control de la enfermedad, realizando grandes cambios en los métodos de manejo de los cultivos, junto con los programas de riego y el aumento de los ciclos de fumigación aérea y terrestre, de 17 a 24 aplicaciones por año de los diferentes tipos de fungicidas, control químico que representa el 45% de los costos de producción, además de afectar la salud de los agricultores.

* 1. **Formas de evaluar la sensibilidad en *Mycosphaerella fijiensis*.**

Uno de los principales métodos para combatir el hongo *Mycosphaerella f.* han sido los fungicidas, que por muchos años han protegido a los cultivos de diferentes especies, a través del tiempo el uso repetitivo o el uso de otros fungicidas químicamente relacionados dan la oportunidad al patógeno a crear ciertas resistencias, que es la capacidad de sobrevivir en la naturaleza, estas resistencias de no ser reconocidas a una etapa temprana conllevaría al fracaso del control de la enfermedad y consecuentemente pérdidas de las cosechas.

Desde el año 1969 se detectó el primer caso de resistencias en ciertos cultivos, de 1976 a 1980 en los cultivos de mango, lo cual conlleva a proponer maneras de evaluar los diferentes tipos de resistencias, donde DuPont en 1980 evaluó la resistencia cuando el hongo *Mycosphaerella f.* sobrevive a cierto nivel de dosificación, indicando que a un 5% de germinación de ascosporas en 10 ppm de benomil es suficiente para detener el uso del producto.[[22]](#footnote-22)

En 1983 se evaluó la resistencia al medir el tubo germinativo después que el hongo ha infectado las hojas con *Mycosphaerella f.*, a diferentes concentraciones de fungicidas. Otra forma de evaluación es medir el diámetro de la colonia de igual manera a diferentes dosis de fungicidas determinado por *Romero en 1995*, ambos métodos son fáciles de realizar y se obtienen resultados relativamente rápidos.[[23]](#footnote-23)

Con el fin de evitar problemas fitosanitarios y un aporte ecológico en 1994 se planteó utilizar extractos vegetales con efectos fungicidas, por ejemplo ajo, cola de caballo, ortiga, manzanilla, lo cual estas segregan sustancias tóxicas por sus raíces y hojas causando un efecto de inhibición.[[24]](#footnote-24)

En el 2001 la [evaluación](http://www.monografias.com/trabajos11/conce/conce.shtml) de nuevos productos de fungicidas con pocos efectos nocivos al [ambiente](http://www.monografias.com/trabajos15/medio-ambiente-venezuela/medio-ambiente-venezuela.shtml) y salud humana son prioritarios para la búsqueda de nuevas alternativas de manejo de Sigatoka negra, dentro de esta nueva tendencia se encuentra la Azoxistrobina, fungicida utilizado en las muestras para estudio del presente proyecto.

El caso del hongo *Mycosphaerella f.* es el más complejo debido a su tipo de reproducción que puede ser sexual y asexual, lo cual conlleva a cambiar la metodología de evaluación de sus resistencias, el uso de tecnologías a disminuido los factores de riesgo, pero en el campo todavía existe la inadecuada fertilización, las prácticas de sanidad mal realizadas que incrementan el desarrollo de la enfermedad. Para esto se han tomado medidas en la cual se recolectan un número de hojas infectadas, en las que se mide el crecimiento del hongo según el tubo germinativo, para luego procesar dicha información, mediante el uso de técnicas estadísticas e informáticas.

* 1. **Herramientas informáticas para análisis estadísticos.**

Las herramientas informáticas ó software utilizados para el análisis estadístico se han aplicado a una serie de situaciones que van desde el almacenamiento de los resultados hasta el análisis y toma de decisiones en las empresas.

Hoy en día existe una gran variedad de herramientas en el mercado, que ayudan al estudiante, profesor y a las empresas a resolver incógnitas o encontrar características en una población. Podemos mencionar algunas de las más utilizadas: SPSS, MATLAB, PROJECT-R entre otras, que ayudan a resolver incógnitas y encontrar características en una población. Sin embargo no existe una herramienta informática que ayude con el almacenamiento del histórico de los ensayos, requerimientos del cliente y análisis estadísticos que ofrezca información relevante o de interés específico para el investigador.

Los programas antes mencionados, tienen la capacidad de procesar una gran cantidad de información en poco tiempo, además cuenta con una diversidad de opciones en el campo de la estadística y cálculos matemáticos. Por esta diversidad de opciones resulta altamente costosa su adquisición por asuntos de licencias y la interpretación de los resultados requieren de un investigador especializado en el área, por eso las empresas se están dedicando a desarrollar sus propias herramientas con la misma capacidad y confiabilidad.

1. Véase en bibliografía [16]. [↑](#footnote-ref-1)
2. Estroma.- Capa gelatinoso o coriáceo que cubre la superficie del medio y que lleva las esporas en conidióforos muy cortos o enclavados en los peritecios o picinidios. [↑](#footnote-ref-2)
3. Conidióforo.- Hongos rectos o geniculados, con cicatrices en la punta, un poco delgados en el ápice, con una base de 8um. de diámetro, 0-5 septos de 16.5-62.5 um x 4-7 um, ligeramente estrechos y extenso en la punta. De color marrón en el centro, tornándose pálidos en la punta. [↑](#footnote-ref-3)
4. Estoma.- Poros de la hoja localizados en la superficie. [↑](#footnote-ref-4)
5. Conidio.- Tipo de esporas de forma obclavada o cilindro-obclavada, rectos o curvados de color verde pálido u oliváceos, con un numero de septos de 1-10 con un hilo basal distintivo (cicatriz), entre 30-132 um x 2.5-5 um. [↑](#footnote-ref-5)
6. Ascosporas.- Son hialinas fusiformes obclavadas, con dos [células](http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml) y ligeramente constrictivas en el septo, estas miden de 12.5-16.5um de largo y 2.5-3.8um de ancho. [↑](#footnote-ref-6)
7. Espermogonia.- Son ovalados y en forma de globo, miden 55-88um de largo y 35-50um de ancho. [↑](#footnote-ref-7)
8. Peritecio.- Estructura en forma de globo y de color café oscuro, con un diámetro de 47-58um. [↑](#footnote-ref-8)
9. Ostíolo.- Es una espemata madura, en forma de vara y mide 2.5-5.0um de largo y 1.0-2.5um de ancho. [↑](#footnote-ref-9)
10. Véase en bibliografía [16]. [↑](#footnote-ref-10)
11. Tubo germinativo.- Son elementos filamentosos cilíndricos característicos de la mayoría de los [hongos](http://es.wikipedia.org/wiki/Hongos). [↑](#footnote-ref-11)
12. Colonias.- Están constituidos por una fila de células alargadas envueltas por la pared celular. [↑](#footnote-ref-12)
13. Véase en bibliografía [16]. [↑](#footnote-ref-13)
14. Inoculación.- Transmisión de una enfermedad contagiosa. [↑](#footnote-ref-14)
15. Necrosis.- Gangrena de los tejidos. [↑](#footnote-ref-15)
16. Véase en bibliografía [16]. [↑](#footnote-ref-16)
17. Deshije.- Quitar los brotes o retoños de la planta madre a su alrededor. [↑](#footnote-ref-17)
18. Deshoje.- Arrancar las hojas de las plantas, quitar las hojas infectadas. [↑](#footnote-ref-18)
19. Véase en bibliografía [16]. [↑](#footnote-ref-19)
20. Véase en bibliografía [16]. [↑](#footnote-ref-20)
21. Véase en bibliografía [19]. [↑](#footnote-ref-21)
22. Véase en bibliografía [14]. [↑](#footnote-ref-22)
23. Véase en bibliografía [22]. [↑](#footnote-ref-23)
24. Véase en bibliografía [29]. [↑](#footnote-ref-24)