



## MANEJO DE LAS ENFERMEDADES DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN COLOMBIA, CON ÉNFASIS EN MONILIA (*Moniliophthora roreri*)





## UNIÓN TEMPORAL DE CACAO - COLOMBIA DOS

# MANEJO DE LAS ENFERMEDADES DEL CACAO (*Theobroma cacao L*) EN COLOMBIA, CON ÉNFASIS EN MONILIA (*Moniliophthora roreri*)

## AUTORES

YEIRME JAIMES SUÁREZ<sup>1</sup>  
FABIO ARANZAZU HERNÁNDEZ<sup>2</sup>

2010

---

1. Microbióloga M.Sc. Investigadora Corpoica, E.E. La Suiza.

2. I.A. M.Sc. Director Programa de Investigación. Federación Nacional de Cacaoteros.

Jaimes Suárez, Yeirme; Aranzazu Hernández, Fabio / Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Colombia. Corpoica. 2010. 90 p.

Palabras clave: CONTROL, MANEJO INTEGRADO, MAZORCA NEGRA, ESCOBA DE BRUJA, MONILIASIS.



#### Convenio de Cooperación Técnico-científica Nº 035/04.

Entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Corpoica-, la Federación Nacional de Cacaoteros –Fedecacao- y el equipo de investigadores de la Unión Temporal de Cacao - Colombia Dos, con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el IICA, para la ejecución del “Programa Nacional de Investigación que busca incrementar la Sostenibilidad y la Competitividad de la Cacaocultura en Colombia”.



© Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA  
E.E. La Suiza

ISBN: 978-958-740-034-2  
CA: PR07100074  
CUI: 1174  
Primera edición: Septiembre de 2010  
Tiraje: 700 ejemplares  
Edición: Luz María Calle Hoyos

Línea de atención al cliente: 018000121515  
atencionalcliente@corpoica.org.co  
[www.corpoica.org.co](http://www.corpoica.org.co)

Producción editorial:  
Diagramación, impresión y encuadernación

produmedios  
Producción de Medios de Comunicación  
[www.produmedios.org](http://www.produmedios.org)

Diseño: Dannhille

Impreso en Colombia  
Printed in Colombia

**ANDRÉS FERNÁNDEZ ACOSTA**  
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

**JOSÉ LEONIDAS TOBÓN TORREGLOZA**  
Director Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria, MADR

**ARTURO ENRIQUE VEGA VARÓN**  
Director Ejecutivo Corpoica

**JOSÉ OMAR PINZÓN USECHE**  
Presidente Ejecutivo Fedecacao

#### Contacto institucional

**ÁLVARO URIBE CALAD**  
Corpoica

**JACOB ROJAS ARDILA**  
Fedecacao

### PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN PARA INCREMENTAR LA SOSTENIBILIDAD Y COMPETITIVIDAD DE LA CACAOCULTURA EN COLOMBIA

#### Proyectos:

**“EVALUACIÓN DE BIOCONTROLADORES Y PRODUCTOS NO CONVENCIONALES  
PARA EL CONTROL DE MONILIASIS”**

**“EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA A MONILIASIS DE ALGUNOS CLONES UNIVERSALES  
Y REGIONALES DE CACAO”**

**Cofinanciador:  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR)**



# AGRADECIMIENTOS

**L**a Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica-, la Federación Nacional de Cacaoteros –Fedecacao- y el equipo de investigadores de la Unión Temporal de Cacao Colombia Dos agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y al IICA, por facilitar los recursos de cofinanciación para la ejecución del “Programa Nacional de Investigación que busca incrementar la Sostenibilidad y Competitividad de la Cacaocultura en Colombia”, mediante el Convenio de Cooperación Técnico-científica Nº 035/04.

Un especial reconocimiento a los doctores Álvaro Uribe Calad y Jacob Rojas Ardila por su labor interinstitucional; al doctor Jairo Osorio por su asesoría técnico-científica; a la doctora Eleonora Rodríguez P., como gestora y líder inicial de los proyectos, a Juan Clímaco Hío por su apoyo logístico desde el laboratorio de Fitopatología del C.I. Tibaitatá – Corpoica; a José Manuel Duarte, técnico de laboratorio y campo de la E.E. La Suiza – Corpoica; al ingeniero agrónomo Roberto Coronado S., encargado de liderar temporalmente los proyectos y al doctor Jairo Rojas quien participó activamente con aportes en la elaboración de este documento.

También se agradece a los técnicos de campo del programa de Investigación de Fedecacao, señores David Olarte, Gilberto Gómez y Edith Moreno; de igual manera al pasante Diego Rincón por su apoyo en bioestadística. A las Universidades Francisco de Paula Santander (Cúcuta) y Universidad de Santander –UDES- por la dedicación y aportes de los tesis, pasantes y de la docente doctora Beatriz Helena Guerra.



# PRESENTACIÓN

**E**l cacao es un cultivo de gran relevancia económica, social y ambiental para Colombia, constituyéndose en una especie primordial del sistema agroforestal campesino de muchas regiones. Sin embargo, existen varios factores que afectan la calidad y producción de los granos de cacao, siendo las enfermedades la principal limitante. Entre estas se destaca la moniliasis, causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, como la enfermedad más severa para los países hispanohablantes de Latino América. En Colombia, esta enfermedad puede causar pérdidas que oscilan entre el 40% y 100% de la producción, lo cual depende de la severidad del ataque del patógeno, las condiciones medio ambientales y las condiciones de manejo del cultivo.

Con el propósito de hacer frente a este problema fitosanitario, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA y la Federación Nacional de Cacaoteros – Fedecacao, unieron esfuerzos para participar en la primera convocatoria nacional para la cofinanciación de programas y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el sector agropecuario por cadenas productivas - 2004, con el “Programa de manejo integrado de plagas y enfermedades y en la campaña fitosanitaria para el mejoramiento de la sostenibilidad y competitividad del sistema de cacao en Colombia”. En esta convocatoria, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR financió los proyectos titulados “Evaluación de biocontroladores y productos no convencionales para el control de la Moniliasis” y “Evaluación de la respuesta a Moniliasis de algunos clones universales y regionales de Cacao”.

La presente publicación contiene los resultados obtenidos en estos proyectos ejecutados por la Unión Temporal Cacao de Colombia Dos, entre CORPOICA y Fedecacao; además, consolida la información disponible sobre las principales enfermedades del cultivo, con referencia específica a la Moniliasis, con el fin de direccionar y avanzar en la investigación sobre *Moniliophthora roreri* y su control.

y disponer de una herramienta de consulta, útil para investigadores y técnicos vinculados al cultivo en distintas regiones del país. La incorporación de labores para prevención de las enfermedades al manejo del cultivo, permite elaborar planes acordes con los avances de investigación obtenidos hasta la fecha, que conlleven a disminuir el impacto económico negativo de las enfermedades del cultivo, y aumentar la producción de grano seco a nivel nacional.

Jairo Osorio Cardona  
Subdirector de Investigación, CORPOICA  
2007 – 2010

Yeirme Jaimes Suárez  
Investigadora Máster - CORPOICA

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	11
<b>ASPECTOS GENERALES Y COMERCIALES DEL CACAO .....</b>	13
INTRODUCCIÓN	13
HISTORIA	13
TENDENCIA MUNDIAL DE LA COMERCIALIZACIÓN DEL CACAO	14
Producción	15
PRODUCCIÓN DE CACAO ESPECIAL	18
• De origen y fino aroma	18
• Producción orgánica y precio justo	18
CONSUMO	20
PREFERENCIAS DEL MERCADO SEGÚN LAS REGIONES CONSUMIDORAS	21
TENDENCIAS EN PRECIOS DEL CACAO	22
<b>PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL CACAO .....</b>	25
INTRODUCCIÓN	25
LA MAZORCA NEGRA ( <i>Phytophthora sp.</i> )	26
Origen de la enfermedad	26
Distribución geográfica	26
Etiología	27
Taxonomía	28
Morfología	28
Ciclo de vida	30
Sintomatología	31
Epidemiología	32
ESCOBA DE BRUJA	
( <i>Moniliophthora perniciosa</i> (Stahel) Aime y Phillips-Mora)	35
Origen de la enfermedad	35
Distribución geográfica	35
Etiología	35
Taxonomía	36
Morfología	36
Ciclo de vida	36
Sintomatología	38
Epidemiología	41
LA MONILIASIS ( <i>Moniliophthora roreri</i> )	42
Origen de la enfermedad	42
Distribución geográfica	42
Etiología	44
Taxonomía	44
Morfología	44
Ciclo de vida del patógeno	45
Sintomatología	47
Epidemiología	49
Rango de hospederos	50



<b>MANEJO DE ENFERMEDADES DEL CACAO EN COLOMBIA .....</b>	53
INTRODUCCIÓN .....	53
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRESENCIA DE ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE CACAO .....	53
Material genético .....	53
Precipitación y humedad relativa .....	54
Temperatura .....	54
Altitud .....	54
Suelo .....	54
Densidad de la plantación .....	55
Sombrío .....	55
Arveses .....	55
Nutrición .....	55
Cosecha .....	56
MÉTODOS DE CONTROL DE LAS ENFERMEDADES .....	56
MANEJO DE LA MAZORCA NEGRA ( <i>Phytophthora sp.</i> ) .....	57
Labores necesarias para el manejo de <i>Phytophthora sp.</i> .....	58
MANEJO DE ESCOBA DE BRUJA ( <i>Moniliophthora perniciosa</i> ) .....	59
Labores para el manejo de escoba de bruja ( <i>M. perniciosa</i> ) .....	60
<b>ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LA MONILIASIS (<i>Moniliophthora roreri</i>) .....</b>	63
INTRODUCCIÓN .....	63
COMPONENTES DE UN MANEJO INTEGRADO DE LA MONILIASIS .....	63
Control cultural .....	63
Control legal .....	66
Control biológico .....	67
AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN CONTROL BIOLÓGICO DE LA MONILIASIS DE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS EN COLOMBIA .....	69
Control químico .....	71
Control genético .....	72
AVANCES Y RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA .....	73
Control químico no convencional de la moniliasis .....	73
Control genético de la moniliasis del cacao .....	75
Labores para el manejo integrado de la moniliasis ( <i>Moniliophthora roreri</i> ) .....	79
<b>GLOSARIO .....</b>	81
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	85

# INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es uno de los cultivos tropicales de mayor importancia, tanto en el ámbito nacional como internacional. En Colombia, intervienen de forma directa en su explotación más de 25 mil familias, de las cuales el 90% desarrolla su proceso productivo en condiciones de economía campesina. En el 2008, Santander participó en la producción nacional con el 50%, equivalente a 19 mil toneladas de grano.

La mayor parte de la producción actual del país la consume la industria de chocolate como materia prima y en sus procesos se generan gran cantidad de empleos, al igual que para la comercialización de los productos elaborados. El chocolate de mesa producido por la industria nacional, se destaca como un componente importante de la canasta familiar colombiana; también otros productos de confitería que originan divisas para el país a través de la exportación.

El cacao es una especie primordial en el sistema agroforestal campesino, es considerada una planta reforestadora porque convive en equilibrio con una amplia diversidad de flora y fauna. En general, la planta de cacao se caracteriza por su amigabilidad con el medio ambiente, razón por la cual es necesario conservar.

El factor que más limita la producción de cacao en el país es la presencia de enfermedades, entre las cuales se destacan la monilia (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Phytophthora sp.*) entre otras. Alrededor de 40% de la producción se ve afectada por monilia; sin embargo, algunas condiciones que se relacionan con la zona agroecológica donde se encuentre el cultivo, la severidad del inóculo y el inadecuado manejo hacen que las pérdidas lleguen hasta 100%; razón por la cual esta enfermedad en Colombia es considerada como la más prevalente y severa.

Con el fin de avanzar en la solución de esta problemática, la E.E. La Suiza de CORPOICA en alianza con Fedecacao concursaron en la 1<sup>a</sup> Convocatoria Nacional (2004), para la Cofinanciación de Proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico e Innovación para el Sector Agropecuario por Cadenas Productivas, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural -MADR-. Los proyectos aprobados y cofinanciados fueron: “Evaluación de biocontroladores y productos no convencionales para el control de moniliasis” y “Evaluación de la respuesta a moniliasis de algunos clones universales y regionales de cacao”.

Desde tiempo atrás se han adelantado en el país investigaciones sobre aspectos biológicos, epidemiológicos y de manejo de la monilia; sin embargo, fue necesario validar la información o explorar otras alternativas, especialmente aquellas que tenían que ver con el control biológico, control químico con productos no convencionales y la resistencia genética.



# ASPECTOS GENERALES Y COMERCIALES DEL CACAO

## INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol perenne nativo del trópico americano; fue domesticado hace más de 2000 años por poblaciones mesoamericanas, quienes cultivaron una variedad de cacao de alta calidad aromática denominado Criollo, probablemente originario de la parte norte de Suramérica (Motamayor *et al.*, 2002). Despues de la colonización de los españoles, para satisfacer el incremento de la demanda europea, la producción de la variedad Criollo se dispersó por Suramérica y regiones del Caribe (Marcano *et al.*, 2007).

En el siglo XVIII, luego de un desastre natural en Trinidad y Tobago, a la isla introdujeron una nueva variedad domesticada denominada Forastero, originario de la Cuenca Amazónica baja. Allí se llevaron a cabo polinizaciones abiertas entre Criollos y Forasteros, originándose una nueva variedad denominada Trinitarios. Años más tarde, debido al vigor que presentaron los Trinitarios, esta nueva variedad se introdujo a Suramérica para reemplazar gradualmente las plantaciones de Criollos, esta situación condujo a nuevos cruces entre Trinitarios y Criollos. Muchas de las actuales variedades de Criollos, seleccionados por características de calidad, resultaron de la combinación entre Criollos ancestrales y Trinitarios (Motamayor *et al.*, 2002; Marcano *et al.*, 2007).

Recientemente, se ha demostrado que al menos 80% de los árboles Trinitarios se originaron de una base genética muy estrecha, representada en su mayoría por la variedad Criollo, y en menor número por la variedad Forastero interrelacionada. La primera combinación entre las dos formas ancestrales ocurrió hace 250 años. Desde entonces, no han ocurrido más de 6 a 7 generaciones de recombinaciones. Las modernas variedades Criollo/Trinitarios constituyen actualmente la base genética de al menos 70% de los cultivos de cacao establecidos en el mundo (Marcano *et al.*, 2007).

Aunque la morfología de los granos permite hacer la distinción entre cacaos Criollos ancestrales y otras variedades, características adicionales como el hábito de crecimiento, la pigmentación de las diferentes estructuras de las plantas, el potencial productivo y la resistencia a enfermedades diferencian a los cultivares ancestrales de Forasteros y Criollos (Marcano *et al.*, 2007).

## HISTORIA

Aunque existen muchas hipótesis sobre el origen del cacao, en el 2002, Motamayor *et al.* (2002) encontraron que el cacao se originó en la cuenca alta del río Amazonas (entre las riveras de los ríos Napo, Caquetá y Putumayo), luego fue introducido por el hombre a Centroamérica, aunque éste sea considerado el primer centro de domesticación y cultivo.

Cuando llegaron los primeros colonizadores a América, el cacao era cultivado por los indígenas, principalmente por los aztecas y mayas en Centroamérica. Según los

historiadores, este árbol, denominado por los indígenas **cacahuatl**, se consideraba sagrado. En México, los aztecas creían que el cacao era de origen divino, donde el profeta **Quatzalcault** fue quien enseñó a la gente a cultivarlo tanto como alimento como para embellecer los jardines de la ciudad de **Talzitapéc**.

Ya en el siglo XVI, en la era poscolombina, el cacao se dispersó a otros continentes, cuando Hernando Cortés reportó el hallazgo de una bebida amarga usada por los aztecas y envió las semillas y recetas a Europa (Bhattacharjee y Kumar, 2007). Durante el siglo XIX, las recetas originales se refinaron, y se desarrollaron las tecnologías que facilitaron el tostado y molienda de los granos de cacao, con lo cual se originó el desarrollo de la industria del chocolate y se popularizó su consumo en el mundo.

El cultivo de *T. cacao* en otros continentes se inició durante la era colonial entre los siglos XVIII y XIX, y en 1900, el 80% de la producción se daba en el continente americano. Ya en el siglo XXI, América se convierte en el continente con la menor producción, contrastando con el continente africano, donde se encuentra 78% de la producción mundial (Ploetz, 2007). En la actualidad, el cacao es cultivado en la franja geográfica tropical húmeda (figura 1) ubicada desde los 18° norte hasta los 20° sur de la línea ecuatorial (De Almeida y Valle, 2007).

## TENDENCIA MUNDIAL DE LA COMERCIALIZACIÓN DEL CACAO

En los últimos años, el mercado mundial del cacao ha ido en incremento como respuesta a los cambios estructurales de la demanda, principalmente en Europa y Norteamérica. Estos cambios generalmente van ligados a la salud, la conservación del medio ambiente y el bienestar de los productores. Adicional a estas tendencias convencionales, han ido emergiendo segmentos del mercado relacionados con los granos de sabores finos y únicos, los cultivos orgánicos y la comercialización del grano a un precio justo. Estos segmentos especializados son los de mayor crecimiento en la industria del cacao (Donovan, 2006).

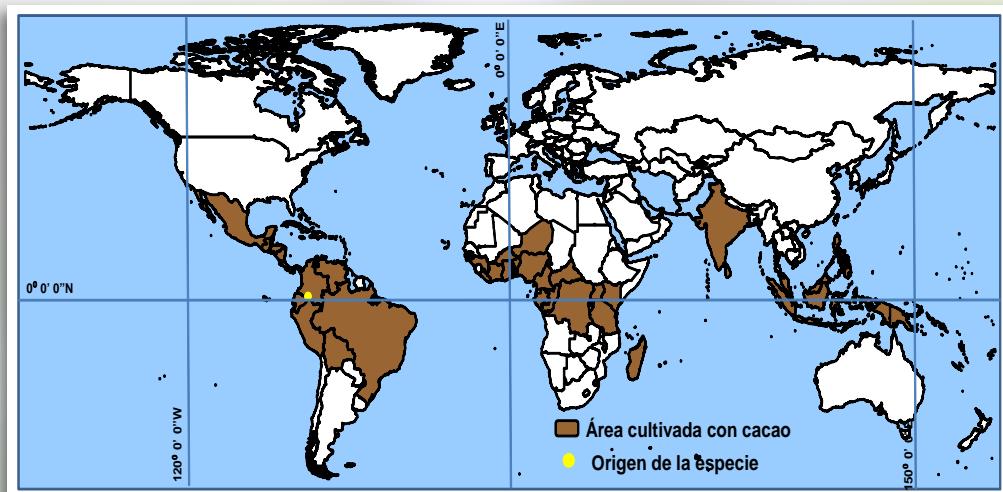


Figura 1. Distribución mundial del cultivo de cacao.

## PRODUCCIÓN

El cacao se encuentra dentro de los principales artículos básicos de los países productores y productos exportados por países consumidores, con un valor total mundial de US\$2,5 billones en los últimos años. Casi desde el comienzo de la comercialización del cultivo, África ha sido considerado el mayor productor de cacao, seguido por Asia y Latinoamérica (tabla 1). África del este abastece 72% de la producción mundial y es considerada la región productora de cacao de mayor importancia en término de volúmenes (Donovan, 2006).

**Tabla 1.** Producción mundial de cacao, 2002 a 2007.

REGIÓN	PRODUCCIÓN (1.000 T)					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
África	2.140 (65,1%)	2.445 (68,3%)	2.794 (69,7%)	2.835 (70,1%)	2.896 (67,6%)	2.818 (67,7%)
Latinoamérica y el Caribe	463 (14,1%)	457 (12,8%)	478 (11,9%)	469 (11,6%)	513 (12,0%)	501 (12,0%)
Asia	634 (19,3%)	625 (17,5%)	692 (17,3%)	688 (17,0%)	818 (19,1%)	787 (18,9%)
Otras regiones	48 (1,5%)	49 (1,4%)	45 (1,1%)	54 (1,3%)	58 (1,4%)	54 (1,3%)
Total producción mundial	3.285	3.576	4.009	4.046	4.285	4.160

Fuente: FAO, 2009.

Los principales países productores de cacao son los del este de África: Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún. Estos países aportan cerca de las dos terceras partes de la producción mundial y tres cuartos de las exportaciones mundiales de granos de cacao. Para países como Costa de Marfil y Ghana, las exportaciones de cacao representan 30% y 25% de los ingresos totales de exportación, respectivamente. Entre los países productores de otras regiones con significativas producciones de granos de cacao se encuentran Indonesia, Malasia, Brasil, Colombia, Ecuador y República Dominicana (figura 2) (Donovan, 2006).

La organización de la producción de cacao y el mercadeo difiere marcadamente entre los países productores y las regiones. En el este de África al igual que en Colombia, los encargados de la producción son los pequeños agricultores, con plantaciones de 1 a 2 ha; mientras que en Brasil, los encargados de la producción son grandes agricultores con extensiones de tierra entre 10 a 100 ha. En Malasia e Indonesia se presentan las dos situaciones (Donovan, 2006).

**PRODUCCIÓN EN ÁFRICA:** en el 2007, el total de la producción en este continente alcanzó 2.818.890 toneladas. El principal y primer productor mundial es Costa de Marfil, con 34,5% de la producción mundial y 49,5% de la producción de África. Ghana es el segundo productor, con cerca de 15,3% de la producción del continente (FAO, 2009) (tabla 2). Esta producción es de gran significancia en términos económicos para los países africanos, dado que la demanda local es débil, de ahí que la mayoría o el total de la producción sea para exportación (Donovan, 2006).

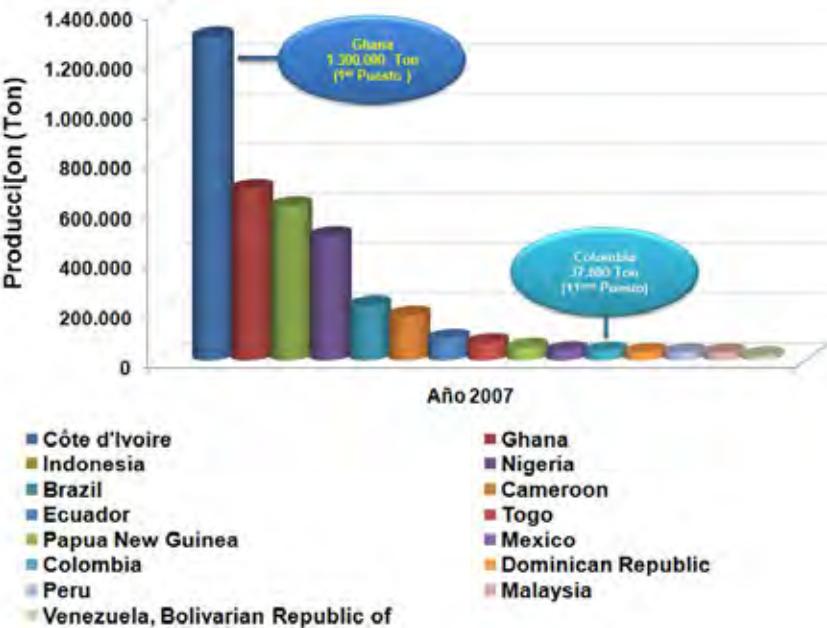


Figura 2. Principales productores de granos de cacao a escala mundial.

Tabla 2. Producción de cacao en África, 2004 a 2007.

PAÍS	PRODUCCIÓN (1.000 T)			
	2004	2005	2006	2007
Costa de Marfil	1.407	1.360	1.407	1.384
Ghana	737	740	734	615
Nigeria	412	441	485	500
Camerún	166	178	164	179
Otros*	71	115	106	140
Total producción en África	2794	2.834	2.896	2.818

\*Países que individualmente producen menos de 10.000 t/año.

Fuente: FAO, 2009.

**PRODUCCIÓN EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE:** a pesar de que el cacao es originario de América Latina, su producción ha disminuido en los últimos años debido a la presencia de enfermedades, principalmente fúngicas y en particular a la moniliasis (*cuyo agente causal es Moniliophthora roreri*), que ocasiona pérdidas en promedio de 30%. Como se observa en la tabla 3, la producción en la región está dominada por Brasil y Ecuador. En el 2007, Brasil aportó 4,8% a la producción mundial y 40,2% a la de la región. Ecuador, segundo productor de América, participó con 2,1% y 17,1% de la producción mundial y regional, respectivamente. Otro país

productor como Colombia aportó en el 2007 1,5% y 12,4% a la producción mundial y regional, respectivamente. En cuanto a la participación de República Dominicana en la producción mundial y regional en el mismo año fue de 1,0% y 8,4%, respectivamente (FAO, 2009).

**Tabla 3.** Producción de cacao en América Latina y el Caribe, 2004 a 2007.

PAÍS	PRODUCCIÓN (1.000 T)			
	2004	2005	2006	2007
Brasil	196	208	212	201
Ecuador	89	93	87	85
Colombia	36	37	52	62
República Dominicana	47	31	45	42
Otros*	108	98	115	109
Total producción en América Latina	476	467	511	499

\*Países que individualmente producen menos de 40.000 t/año.

Fuente: FAO, 2009.

Los niveles de producción son muy vulnerables a los cambios climáticos y a la incidencia y severidad de plagas y enfermedades que dañan el fruto (Donovan, 2006).

**PRODUCCIÓN EN ASIA:** a comienzos de la década de 1980, Malasia emergió como uno de los principales productores de cacao con 450.000 hectáreas en producción (tabla 4). Sin embargo, Indonesia durante la de 1990, sobrepasó la producción de Malasia con 17% de la producción mundial (Donovan, 2006). En el 2007, Indonesia participó con 16% y 92,7% de la producción mundial y regional, respectivamente. Para el mismo año, Malasia aportó 0,7% y 3,8% de la producción mundial y regional, respectivamente. Malasia ha perseguido una política de diversificación de la agricultura, mientras que Indonesia ha intensificado la producción de cacao. Al igual que Brasil, la mayoría de los países Asiáticos producen en grandes granjas industrializadas (Donovan, 2006).

**Tabla 4.** Producción de cacao en Asia en las décadas de 1980, 1990 y 2004 a 2007.

PAÍS	PRODUCCIÓN (1.000 T)					
	1980**	1990***	2004	2005	2006	2007
Indonesia	39	281	642	643	769	740
Malasia	117	161	33	28	32	35
India	6	6	9	9	10	10
Filipinas	6	8	6	6	5	5
Otros*	3	4	2	2	2	2
Total producción en Asia	172	460	692	688	819	793

\*Países que individualmente producen menos de 4.000 t/año; \*\*Promedio de la producción entre 1980 y 1989; \*\*\*Promedio de la producción entre 1990 y 1999.

Fuente: FAO, 2009.

## PRODUCCIÓN DE CACAO ESPECIAL

### De origen y fino aroma

Según los expertos, el mercado actual brinda prometedoras oportunidades a los productos con valor agregado como los cacaos de sabores finos y de origen. Existe escasa información de la producción de estos cacaos, sin embargo, para el año cacaotero 1998/1999, la producción mundial se estimó en 90.000 toneladas; cerca de 60% de la producción se originó en Suramérica, principalmente en Ecuador y Venezuela; el 40% restante en países de Asia y el Pacífico (Nueva Padua, Guinea, Indonesia y Sri Lanka), África (Madagascar y Santo Tomás) y Centroamérica (República Dominicana, Trinidad y Tobago, Jamaica, Granada, Costa Rica y Panamá) (tabla 5).

Los compradores de cacaos puros por origen y fino sabor requieren materiales seleccionados por tipo de grano e identificados por su perfil único de sabor (ejemplo: no se admiten mezclas de granos de diferente origen), para la elaboración de chocolates cuyo contenido de cacao es de 70%. Sin embargo, en una barra típica de chocolate gourmet, se mezclan granos de cacao de dos o más orígenes para crear un sabor complejo (Donovan, 2006).

La principal limitante desde la perspectiva de los compradores de la industria del chocolate gourmet es garantizar la calidad cuando el grano proviene de empresas pequeñas que producen poca cantidad y en general, en condiciones de baja productividad, atribuida a la moniliasis y a inapropiadas técnicas de fermentación y almacenamiento de los granos de cacao. Los fabricantes y comercializadores que incorporan un cacao de origen a su gama de productos, corren el riesgo de incumplir con la entrega del producto, debido a la baja disponibilidad de grano de un solo origen. De otra parte, para los pequeños agricultores es una carga demostrar su capacidad para entregar cacao de alta calidad y en cantidades consistentes durante varias temporadas (Donovan, 2006).

### Producción orgánica y precio justo

Al igual que el mercado del cacao de origen y fino de aroma, existe poca o escasa información sobre la producción orgánica y precio justo: ésta se estimó a partir de la reunión de los países productores, importadores, certificadores, consultores y de la información de artículos de revistas y diversas fuentes en internet, en cerca de 12.000 toneladas de cacao orgánico para el año cacaotero 1999/2000.

Según la tabla 5, Centroamérica y el Caribe dominan el suministro de cacao orgánico y precio justo, con una producción cercana a 42% del volumen total de cacao a precio justo en el 2001. Los productores claves de este cacao se encuentran asociados a Conacado en República Dominicana, con más de 15.000 miembros y con casi toda la producción de la región.

El este de África suministra una pequeña porción del cacao orgánico o granos de cacao gourmet; tienen problemas de calidad y carecen de los vínculos comerciales con los compradores en Europa y Estados Unidos. Cerca de 50% de los granos exportados en términos de comercio justo, también poseen certificado de cacao orgánico. Esto sugiere que los problemas de calidad que enfrenta la producción ecológica también afectan a los productores del comercio justo (Donovan, 2004).

**Tabla 5.** Producción de cacao especial (fino sabor, orgánico y de comercio justo).

PAÍS	CACAO FINO SABOR (1998/1999)		CACAO ORGÁNICO CERTIFICADO (1999/2000)		EXPORT. PRECIO JUSTO (2001) (%)
	(1.000 t)	(%)	(t/año)	(%)	
África	6.000	6,6	2.800	24,0	28,0
Camerún					*
Ghana					*
Madagascar	3.200	3,5	1.200	10,3	
Santo Tomás	2.800	3,1			
Tanzania			1.000	8,6	
Uganda			600	5,1	
México/ Centroamérica /Caribe	8.400	9,3	7.330	62,8	42,0
Belice			30	0,3	*
Costa Rica	1.000	1,1	200	1,7	*
Dominica	2.000	2,2			
República Dominicana			6.000	51,4	*
Granada	1.100	1,2			
Jamaica	1.500	1,7			
México			300	2,6	
Nicaragua			300	2,6	*
Panamá	1.000	1,1	500	4,3	
Trinidad y Tobago	1.800	2,0			
Suramérica	51.400	56,9	700	6,0	30,0
Bolivia			600	5,1	*
Ecuador	49.800	55,1			*
Perú			100	0,9	
Venezuela	1.600	1,8			
Asia y Oceanía	9.900	11,0	550	4,7	0,0
Fiji			50**	0,4	
Indonesia	2.000	2,2			
Papua Nueva Guinea	6.300	7,0			
Sri Lanka	1.600	1,8			
Vanuatu			500**	4,3	
Total	90.300+	100,0	11.680**	100,0	100,0

+ Incluye 200.000 t de diversos países no listados.

\* País exportador de comercio justo no listado para proteger la confidencialidad de las cooperativas de comercialización.

\*\* Valor estimado

Fuente: Petchers, 2003; Tomado de Dovonan, 2006.

Definitivamente, se requiere incrementar la inversión en el sector con el fin de suministrar cacao orgánico y de precio justo a los mercados internacionales, ya que

existen quejas por la calidad de los granos de cacao orgánico, por parte de algunas industrias exportadoras. Otro aspecto que afecta la calidad es el daño causado por la moniliaisis, con la dificultad de que la única manera viable de manejo en las granjas orgánicas es a través del control biológico y la poda oportuna (Dovonan, 2006).

## CONSUMO

Mundialmente, el consumo de cacao se mide en términos de granos de cacao molidos o molida. En el año productivo 1994/1995 éste se incrementó aproximadamente 25%, pasó de 2,5 millones de toneladas a 3,1 millones de toneladas en el año 2004/2005 (ICCO, 2006). Entre 2001/2002 y 2004/2005, la molida de cacao aumentó en promedio 6% por año.

Tradicionalmente, los países productores de cacao lo exportan en forma de granos secos. Los importadores, principalmente los países europeos y Estados Unidos, procesan el grano y lo transforman en materia prima, productos semiterminados o terminados como manteca, licor o cacao en polvo, entre otros (Donovan, 2006).

Europa es considerada la principal región encargada de procesar el cacao, aunque se han presentado pequeños declives en la cantidad de grano molido, en el año cacaotero 1999/2000 desde 45% a 43% en el 2003/2004 (tabla 6). En Norte y Suramérica los declives van desde 29% en el año cacaotero 1999/2000 a 26% en 2003/2004. En lo que respecta a las molierdas en Asia y Oceanía en los mismos periodos, mostraron incrementos records de 13% a 17% y África muestra un incremento moderado, de 12% al 14% (Donovan, 2006).

**Tabla 6. Consumo de cacao expresado como grano seco molido entre los años cacaoteros 1999/2000, 2001/2002 y 2003/2004.**

PAÍS	1999/2000		2001/2002		2003/2004	
	(t)	%	(t)	%	(t)	%
<b>EUROPA</b>	1.336	45,1	1.282	44,6	1.360	42,8
Holanda	436		418		445	
Alemania	215		195		225	
Otros	685		669		690	
<b>ÁFRICA</b>	368	12,4	422	14,7	445	14,3
Costa de Marfil	235		290		305	
Otros	133		132		150	
<b>AMÉRICA</b>	852	28,8	758	26,3	822	25,9
Estados Unidos	448		403		410	
Brasil	202		173		202	
Otros	202		182		210	
<b>ASIA</b>	404	13,7	413	14,4	540	17,0
Total mundial	2.960		2.875			

Fuente: Donovan, 2006.

La principal forma de consumir el cacao es en chocolate, este segmento de mercado lo constituye aproximadamente el 90% del mercado total del cacao y está

representado en golosinas de barra, que a su vez constituyen  $\frac{1}{4}$  de la venta de golosinas de chocolate. El otro 10% del cacao es usado en la producción de sabores, bebidas y cosméticos. Estos productos incluyen cacao cocido, mezclas de cacao caliente, mezclas cocidas, alimentos empacados, mantequilla de cacao envasada, productos con fines cosmetológicos y para el cuidado del cuerpo.

## PREFERENCIAS DEL MERCADO SEGÚN LAS REGIONES CONSUMIDORAS

- **EUROPA:** los más grandes consumidores de cacao y de chocolate son los europeos, cada país tiene sus propias preferencias por los diferentes productos. En promedio, el consumo per cápita de chocolate para los suizos es de 10,55 kg/año. En Gran Bretaña se consume aproximadamente 500.000 toneladas de chocolate/año; el promedio del consumo en Francia es de 6,8 kg de chocolate/persona/año. Por tal motivo, a los países de Europa del este se les considera un importante mercado emergente, con un futuro por predecir (Donovan, 2006).
- **ESTADOS UNIDOS:** según un estudio realizado en ese país, 52% de los norteamericanos considera el chocolate como el sabor preferido en dulces y postres. Históricamente, los consumidores en Estados Unidos han demostrado una clara preferencia por chocolates de leche, aunque existe una tendencia a incrementar la preferencia por el chocolate oscuro (tabla 7). Esto se debe a que recientes estudios nutricionales sobre el chocolate oscuro han resaltado sus beneficios para la salud. Además, el futuro del chocolate ha sido comparado con el del vino y el café, donde la gente prefiere productos de alta calidad (en general, el chocolate oscuro es considerado de alta calidad) con atributos específicos (Donovan, 2006).

**Tabla 7.** Ventas de productos de chocolate al detal en dólares 1996-2000.

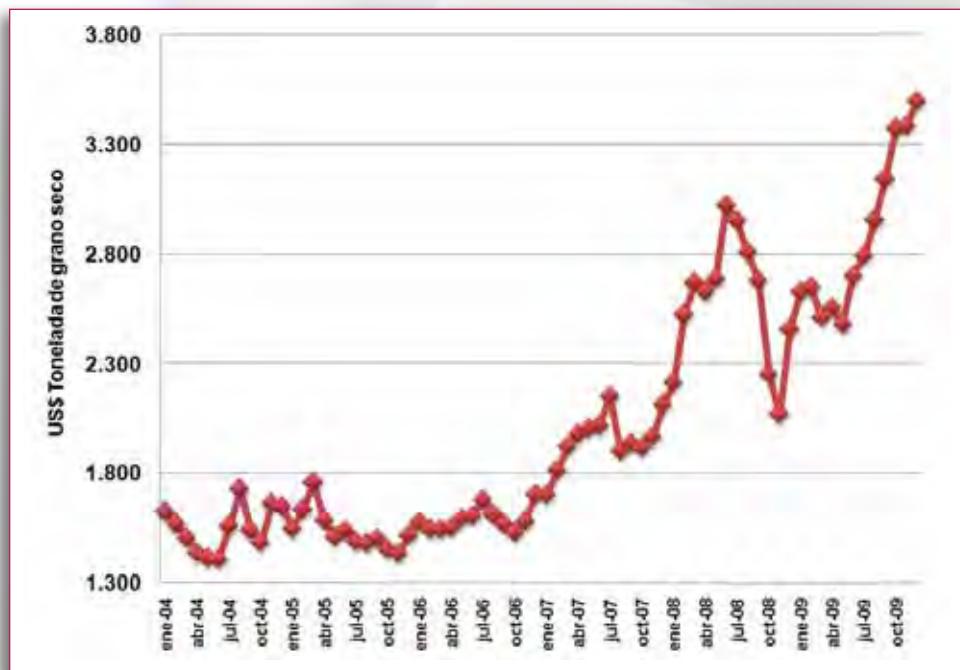
	VENTAS 1996 (MILLONES DE US\$)	VENTAS 2000 (MILLONES DE US\$)	TASA PROMEDIO DE CRECIMIENTO ANUAL (%)
Chocolate total	11.500	13.700	5,3
Bombones de chocolate	10.500	12.500	4,8
Chips de chocolate / chocolate para horneado	399	444	2,8
Jarabe o almíbar de chocolate / cubiertas para postres	227	262	3,9

Fuente: Petchers, 2003 (tomado de Donovan 2006).

- **JAPÓN:** este país ha experimentado un significativo incremento en el consumo de cacao durante las últimas décadas, lo importa principalmente como granos (64.000 t en 2003), pero también en forma de manteca (cerca de 11.000 t en 2002). Japón además de producir, importa productos de chocolate (por ejemplo en 2002 importó 138.000 t y produjo 213.000). Las importaciones alcanzaron sus picos máximos en 1991 y 1996 con 50.000 t y en 2003 llegaron a 64.000 t (Donovan, 2006).

## TENDENCIAS EN PRECIOS DEL CACAO

Los precios del cacao están controlados en gran medida por la bolsa de valores de London (LIFFE) y Nueva York (NYBOT). Las corporaciones internacionales han usado ampliamente estas bolsas de valores para la compra y venta de los granos de cacao, en condiciones de precios volátiles. Lo anterior se debe al difícil incremento en el suministro de cacao en tiempos de escasez y los reducidos periodos de abundancia, razón por la cual los precios del cacao muestran sus conocidos picos agudos y largos fondos planos (figura 3).



Fuente: ICCO, 2010.

**Figura 3. Comportamiento mensual del precio internacional del grano de cacao en los últimos 9 años (2004-2009).**

El mercado ofrece mejor precio a los productos elaborados con cacaos especiales; el segmento de cacao fino de aroma/origen y cacaos orgánicos sostiene precios por encima del cacao convencional además de las primas que lo respaldan (tabla 8) (Donovan, 2006). Esta diferencia de precio representa la disposición del consumidor de pagar más por un producto con el sello ecológico. Adicional a esto, alrededor de 10% del grano de cacao orgánico certificado también cuenta con la certificación de “precio justo” y el cacao orgánico certificado por la FLO (Organización de Etiquetado de Comercio Justo) cuenta con una prima fija de US\$200 por tonelada (ICCO, 2006).

**Tabla 8.** Comparación entre los precios del cacao convencional, orgánico y de precio justo 2000–2005.

AÑO	PRECIO DE CACAO CONVENCIONAL			PRECIO DE CACAO ORGÁNICO			
	CONVENCIONAL (US\$/t)	COMERCIO JUSTO (US\$/t)	PRIMA (%)	ORGÁNICO (US\$/t)	PRIMA (%)	COMERCIO JUSTO (US\$/t)	PRIMA (%)
2000	886	1.750	98	1.510	70	1.950	120
2001	1.086	1.750	61	1.449	33	1.950	79
2002	1.753	1.903	8	1.924	9	1.950	11
2003	1.755	1.905	9	1.900	8	1.950	11
2004	1.549	1.750	13	1.875	21	1.950	26
2005	1.538	1.750	14	d.n.	d.n.	d.n.	d.n.

Tomado: Donovan, 2006.

d.n.= datos no disponibles.



# PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL CACAO

## INTRODUCCIÓN

Las enfermedades impactan negativamente la producción mundial de cacao, causando pérdidas considerables que pueden llegar a ser 30% o más del potencial productivo. Un ejemplo de esto es el impacto devastador de la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), enfermedad que ocasionó en un periodo de 10 años la reducción de 70% de la producción de cacao en Brasil. Otra enfermedad con igual efecto devastador es la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao, la cual afecta las plantaciones de Centro y Sur América.

En el oriente de África, la producción de cacao está amenazada por el patógeno *Phytophthora megakarya*, agente causal de la mazorca negra. La introducción de cualquiera de estos patógenos a países productores donde aún no se han presentado es considerada una gran amenaza que podría desequilibrar la economía del cultivo (Hebbar, 2007).

En la actualidad, las enfermedades del cacao con mayor potencial de daño son las causadas por hongos basidiomicetos del género *Moniliophthora*. Estos son *Moniliophthora roreri* (moniliasis) y *Moniliophthora perniciosa* (escoba de bruja). La moniliasis es la enfermedad que genera mayor preocupación, ya que es una gran amenaza para la producción mundial; su posible entrada a África del este, sería desastrosa, ya que aproximadamente 70% (2.700 toneladas métricas) de la producción mundial de cacao viene de esa región.

Otra enfermedad que amenaza la economía mundial del cacao, después de la moniliasis, es la escoba de bruja; al igual que la moniliasis posee un rango geográfico limitado en cuanto a su distribución, y está presente en 10 países productores de Latinoamérica.

Históricamente, desde el inicio de las primeras plantaciones comerciales en los años de 1800, la moniliasis ha sido considerada la enfermedad más grave para el cacao (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007). Con el tiempo y la expansión de las plantaciones comerciales, la enfermedad se ha diseminado.

En la década de 1950, Ecuador y Colombia iniciaron las primeras investigaciones serias para el control de *M. roreri*, basadas en prácticas culturales como las podas y el manejo de la humedad relativa. En Colombia, desde los años de 1970 se iniciaron investigaciones más puntuales sobre la biología, epidemiología y control químico de la enfermedad y del ciclo productivo del árbol de cacao.

Las pérdidas de cacao con mayor importancia en el mercado mundial son las ocasionadas por especies patógenas del género *Phytophthora*, dentro del cual la especie con mayor severidad es *P. megakarya*, que tiene incidencia en países de África. Éstas especies causan pérdidas cercanas a 10% (450 TM) de la producción mundial (Ploetz, 2007).

Aunque en los años recientes se han generado y publicado los resultados de investigaciones sobre las enfermedades en mención, aún se carece de estrategias de manejo sostenible y económico para los pequeños cacaocultores de los países productores.

A menudo el cultivo del cacao es descrito como un “cultivo huérfano”, debido a que su explotación no está respaldada con adecuados soportes técnico-científicos. En efecto, en las regiones productoras de cacao en el mundo, existen debilidades en la financiación de un buen servicio de extensión y en disponer de materiales o clones tolerantes a las enfermedades y con alto potencial productivo y de calidad, pilares para afrontar la modernización de este sistema de producción. En los países menos desarrollados se maneja la problemática fitosanitaria con labores culturales como única herramienta de control, aplicada en forma empírica sin épocas y frecuencias definidas. Los fungicidas de síntesis química son usados de forma esporádica, en etapas tardías o con métodos, frecuencia y equipos inadecuados. Además, el manejo fitosanitario se torna más difícil, debido a que los productores poco emplean las prácticas de poda y en consecuencia se encuentran árboles muy altos, de 5 m y más de altura.

Se resalta entonces que el manejo de los problemas sanitarios continúa siendo un gran desafío; por ende hasta que no se disponga de materiales resistentes a las enfermedades, se mejore el manejo agronómico y se realice una difusión de conocimientos prácticos, con un enfoque de manejo integrado de plagas y enfermedades, el actual sistema agrícola del cultivo de cacao seguirá siendo catalogado como obsoleto (Hebbar, 2007).

A continuación se presenta una descripción de las tres enfermedades más importantes para la producción de cacao, con énfasis en *M. roreri*, ya que sin duda alguna representa una de las grandes amenazas para la sostenibilidad del cultivo de cacao en el mundo y es la causante de las mayores pérdidas en la producción nacional.

## LA MAZORCA NEGRA (*Phytophthora* SP.)

### Origen de la enfermedad

Estudios moleculares indican que el centro de origen de este microorganismo se encuentra en África, y sugieren que la especialización de esta especie por el cacao se originó al momento de la introducción de las primeras plantas a este continente (Brasier y Hansen, 1992).

### Distribución geográfica

El género *Phytophthora* se encuentra distribuido en todo el mundo; predominan diferentes especies de acuerdo con la zona geográfica y el hospedero. En cacao se han reportado siete especies patógenas: *P. palmivora*, *P. megakarya*, *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. nicotianae* var. *Parasitica*, *P. megasperma* y *P. arecae*.

Las especies patógenas del género *Phytophthora* que afectan el cultivo de cacao se encuentran distribuidas geográficamente así:

- *P. palmivora* se encuentra ampliamente distribuida en las regiones tropicales con climas cálidos y de alta pluviosidad (Stamps, 1998).
- *P. capsici* se encuentra distribuida en Europa (Bulgaria, Francia, Italia, Grecia, España, Unión Soviética), Asia (China, India, Irán, Israel, Japón, Corea, Líbano, Malasia, Arabia Saudita, Turquía), América del Norte (Canadá, Estados Unidos y México), Centro y Suramérica y las Antillas (Stamps, 1998).
- *P. megakarya* se encuentra distribuida en el este y centro de África (Stamps, 1998).
- *P. citrophthora* se encuentra distribuida en África (Argelia, Angola, Congo, Egipto, Mauricio, Marruecos, Mozambique, Rodesia del Norte, Sudáfrica, Rodesia del Sur, Túnez); Asia (China, India, Irak, Israel, Japón, Malasia, Filipinas, Tailandia, Turquía); Australia (Australia, Islas Cook, Hawái, Nueva Caledonia, Nueva Zelanda); Europa (Chipre, Francia, Italia, España); América Central (Cuba, El Salvador, Jamaica, Puerto Rico); América del Norte (México, Estados Unidos); Suramérica (Argentina, Brasil, Chile, Perú, Surinam, Uruguay) (Stamps, 1998).
- *P. nicotianae var. parasitica* se encuentra distribuida en África (Etiopía, Malí, Madagascar, Mauricio, Marruecos, Nigeria, Sierra Leona, Rodesia del Sur, Tanganyika); Asia (Birmania, Ceilán, China, Formosa, India, Israel, Japón, Java, Malasia, Filipinas); Australia y Oceanía (Australia, Hawái, Tasmania); Europa (Chipre, Francia, Alemania, Gran Bretaña, Holanda, Irlanda, Italia, Polonia, Portugal, Unión Soviética); América del Norte (Bermuda, Canadá, México, Estados Unidos); Centro América y Antillas (Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Jamaica, Montserrat, Puerto Rico, Trinidad); Suramérica (Argentina, Brasil, Guyana Británica, Colombia, Paraguay, Perú, Venezuela) (Stamps, 1998).
- *P. megasperma* se ha reportado que afecta al cacao en Venezuela y Cuba.
- *P. arecae* se encuentra distribuida en Asia (India, Sri Lanka) (Stamps, 1998).

## Etiología

La mazorca negra es causada por varias especies del género *Phytophthora*. Este género alberga varios agentes causales de enfermedades, en un amplio rango de plantas hospederas. Los microorganismos que integran este género se encuentran clasificados dentro del reino Stramenopila, filum Oomycota.

Durante la mayor parte de su ciclo de vida, las especies de *Phytophthora* tienen una fase haploide y la pared celular está compuesta por celulosa; esta característica las diferencia de los hongos, que en vez de celulosa contienen quitina. Otra característica diferencial entre *Phytophthora* sp. y los hongos es la motilidad, la cual juega un papel importante en los patrones de dispersión de la enfermedad.

La especie considerada más agresiva es *P. megakarya*, que causa pérdidas cercanas a 80% de la producción de grano en Nigeria, Camerún y parte de Ghana (Pokou *et al.*, 2008). Según los patrones de avance del patógeno, se estima que en los próximos 10 a 15 años *P. megakarya* se habrá diseminado a todas las regiones productoras de Ghana y Costa de Marfil. Cuando esto ocurra, se pronostican pérdidas en la producción mundial de grano entre 20% y 40%, lo que ocasionaría un gran impacto negativo sobre la economía global del cacao (Tahi *et al.*, 2006).

A pesar de la gran importancia de *P. megakarya*, en el ámbito mundial existen otras especies como agentes causales de la mazorca negra. La especie con mayor incidencia y más ampliamente diseminada en el mundo es *P. palmivora* responsable de 20% a 30% de pérdidas anuales de la producción mundial de grano y aproximadamente 10% de muerte de árboles (Guest, 2007). Otra especie del mismo género es *P. parasitica*, que incide tanto en el continente Africano como en Latinoamérica. Además, en Latinoamérica existen otras especies de *Phytophthora* que causan la enfermedad de la mazorca negra, tales como *P. citrophthora* y *P. capsici* y otras especies sin identificar (Hebbar, 2007).

Las pérdidas generadas por especies de *Phytophthora* han sido ampliamente reportadas desde 1921. Actualmente, la mazorca negra es considerada como la enfermedad más común e incidente en el mundo, siendo los países productores del África los más afectados. De ahí su importancia, ya que estos países producen aproximadamente 72% del grano.

## Taxonomía

Las especies causantes de la enfermedad mazorca negra del cacao pertenece al dominio Eukaryota, reino Chromalveolata, filum Heterokontophyta, clase Oomycetes, Orden Pythiales, familia Pythiaceae, género *Phytophthora*.

Las especies del género *Phytophthora* y pertenecientes a la clase Oomycetes difieren de los hongos en características especiales, tales como el contenido de celulosa en la pared celular; la fase vegetativa diploide, el flagelo heteroconte, y las cristas mitocondriales tubulares. Aún más, los Oomycetes poseen rutas metabólicas únicas que los diferencian de sus homólogos los hongos superiores (Griffith *et al* 1992).

## Morfología

Las especies que afectan al cultivo comercial difieren en su morfología, lo cual es una característica que permite hacer su diferenciación. A continuación se describe brevemente la morfología de cada especie:

- ***P. palmivora*:** las hifas de esta especie son completamente uniformes, pocas veces sobrepasan los 5 µm de diámetro. A menudo, esta especie produce clamidiosporas con diámetro entre 30 - 35 µm en abundancia y en las primeras fases de desarrollo. Los esporangioforos son estrechos, simpoidales simples y con paredes muy bien definidas. Los esporangios se forman fácilmente sobre medio de cultivo, estos son elipsoides u ovoides con un tamaño de 35 – 60 µm x 20 – 40 µm y puede llegar hasta 90 x 45 µm. No se encuentran normalmente oogonios en cultivos puros, pero abundan cuando son aislados de compatibilidad opuesta (A1 y A2) y se aparean. Presenta anteridios anfígenos, esféricas u ovales con un tamaño de 14 x 15 µm. Las oosporas casi llenan el oogonio, tienen una pared de 2 µm. Los cultivos *in vitro* son uniformes, ligeramente radiados con escaso micelio aéreo. La temperatura de crecimiento mínima es de 11° C, la óptima está entre 27° y 32° C, y la máxima es de 35° C o menos (Stamps, 1998).
- ***P. capsici*:** las hifas de esta especie son uniformemente gruesas con 5 – 7 µm de ancho. Tiene esporangios estrechos, algunas veces son ligeramente anchos en la base del esporangio y ramificados irregularmente. Las clamidiosporas son raras

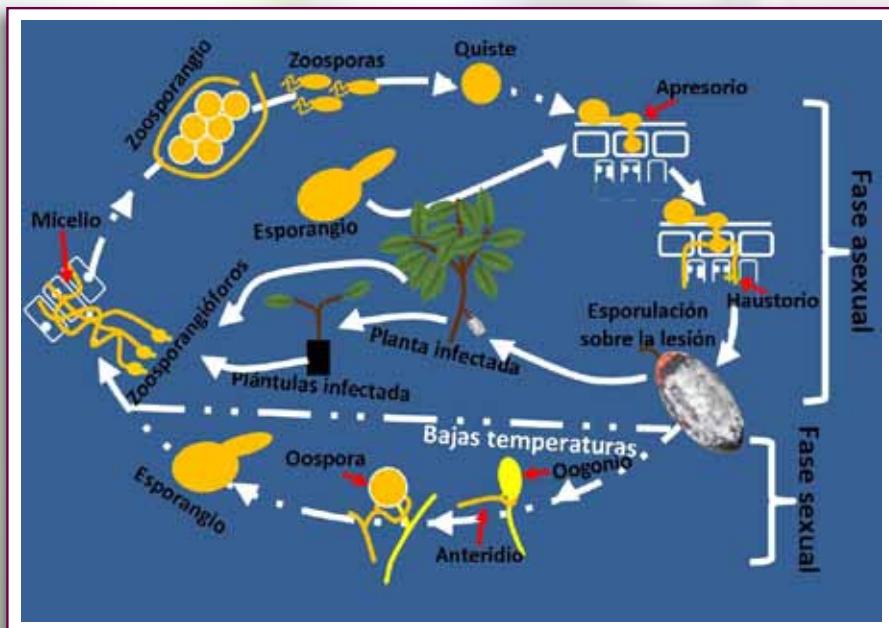
o ausentes. Los esporangios son a menudo irregulares, casi esféricos, ovoides o alargados, que pueden medir 30-100 x 25-35  $\mu\text{m}$ , a menudo distorsionados y con más de un apéndice, papila, pedicelo de 10  $\mu\text{m}$  o más de largo. El oogonio se puede encontrar en cultivos puros de algunos aislados con 30  $\mu\text{m}$  de diámetro (máximo 39) y una pared de color pardo amarillento. Tiene anteridio anfígeno de 15 x 17  $\mu\text{m}$ . Las oosporas casi llenan el oogonio, éstas son de pared delgada. Los cultivos *in vitro* son finamente radiados, con temperaturas de crecimiento: mínima de 10° C, óptima de 28° C y máxima de 37° C (Stamps, 1998).

- ***P. megakarya***: las hifas de esta especie son completamente uniformes con un diámetro de 2,5 – 5  $\mu\text{m}$ . Los esporangioforos tienen desarrollo simpoidal y sólo se producen sobre medio de cultivo *in vitro*, ovoide (20 – 60 x 13 – 41  $\mu\text{m}$ ), pedicelado (10 – 30  $\mu\text{m}$ ), estrecho, no ocluido y con papila prominente. Los oogonios se forman en cultivos de tipos A1 y A2 compatibles y con tamaño de 19 – 37  $\mu\text{m}$  de diámetro. Los cultivos *in vitro* se caracterizan por el micelio aéreo abundante y bordes de la colonia difusos. Las temperaturas de crecimiento son: mínima de 10° – 11° C, óptima de 24° – 26° C y máxima de 29° – 30° C (Stamps, 1998).
- ***P. citrophthora***: las hifas de esta especie son de hasta 6 ó 7  $\mu\text{m}$  de ancho. Tiene esporangioforos de 1 – 2  $\mu\text{m}$  de ancho, con pequeña ampliación en la base, ramificaciones irregulares con una ligera hinchazón en las bifurcaciones. Los esporangios son más bien escasos en medios de cultivo, en agua son muy variables en su tamaño y forma, a menudo con dos vértices muy divergentes con medidas de 40 – 45 x 27  $\mu\text{m}$  ó 50 – 55 x 30  $\mu\text{m}$ , y pueden llegar a tener hasta 90 x 60  $\mu\text{m}$ , las papilas son casi hemiesféricas. Esta especie puede no presentar clamidiosporas o son escasas con 28  $\mu\text{m}$  de diámetro y con un grosor de pared de 1,5 – 2  $\mu\text{m}$ . No se le conoce oogonio ni anteridio. Los cultivos *in vitro* tienen una apariencia finamente radiada, en algunas ocasiones similar a una llama. Las temperaturas de crecimiento son: mínima de 5° C, óptima de 24° – 28° C y máxima de 32° C (Stamps, 1998).
- ***P. nicotiana var. Parasitica***: las hifas de esta especie son gruesas, de hasta 9  $\mu\text{m}$  de ancho, irregulares en anchura pero sin la hinchazón típica en la base de la hifa. Los esporangióforos son más delgados que las hifas, ramificados irregularmente y simpoidales. Tiene esporangios ampliamente ovoides a esféricos, sin reducción notable del apéndice con un tamaño de 30 x 38  $\mu\text{m}$  (máximo 40 x 50  $\mu\text{m}$ ). La especie tiene clamidiosporas de hasta 60  $\mu\text{m}$  de ancho, de formación tardía (entre 1 y 2 semana) con un grosor de pared de 3 – 4  $\mu\text{m}$  y con la edad se tornan de color pardo amarillento. El oogonio se produce en cultivo puro tras varias semanas de crecimiento con un tamaño de 24 – 31  $\mu\text{m}$ ; con la edad la pared de estas estructuras se torna parda amarillenta. El anteridio es esférico u oval con 10 – 16  $\mu\text{m}$  de diámetro. Tiene esporas apleróticas de 18 – 20  $\mu\text{m}$  con una pared gruesa de 2  $\mu\text{m}$ . Los cultivos *in vitro* son variables, pero normalmente son irregulares, suaves con un patrón irregular de roseta. Las temperaturas de crecimiento son: mínima de 10° C, óptima de 30° – 32° C y máxima de 37° C o más (Stamps, 1998).
- ***P. megasperma***: las hifas de esta especie tienen 3  $\mu\text{m}$  de ancho; raras veces las hifas presentan hinchazones en medio de cultivo, pero aparecen con gran frecuencia en soluciones acuosas como inflamaciones esferoidales o elipsoidales.

Los esporangióforos son delgados entre 2 – 2,5 µm de ancho y pueden llegar a ser de hasta 5 µm en la base del esporangio. Los esporangios no se producen sobre medio de cultivo, pero son regularmente ovoides, usualmente de 35 – 50 µm x 2 – 35 µm; no presentan papila, pero sí, un engrosamiento apical ligero. Los órganos de reproducción sexual abundan en medio de cultivo. Los oogonios son esféricos con diámetro de 40 – 50 µm en promedio, con paredes hialinas o ligeramente amarillentas, lisas de hasta 1,5 µm de espesor. Las oosporas son apleróticas.

## Ciclo de vida

El ciclo de vida de *Phytophthora* sp. involucra tanto el estado asexual como el sexual, que se presentan dependiendo de las condiciones ambientales. Predomina el estado asexual, el cual inicia cuando la estructura vegetativa o esporangio germina, y en condiciones óptimas de humedad (agua libre) y temperatura (15° – 38° C) libera las zoosporas (figura 4). Éstas son estructuras (esporas) móviles, de vida corta y poseen dos flagelos, uno anterior y otro posterior. El anterior es el responsable de movilizar la zoospora a través del agua (hasta 1,5 cm), mientras que el flagelo posterior actúa como una hélice que le da la dirección a la célula (Judelson y Blanco, 2005; Walker y Van West, 2007). Las zoosporas cumplen dos papeles fundamentales para el ciclo de vida del patógeno: 1) transmisión del patógeno de un hospedero a otro y 2) dar la orientación del patógeno hacia el sitio de infección (hospedero) (Walker y Van West, 2007).



**Figura 4.** Ciclo de vida de *Phytophthora* sp. en *Theobroma cacao*.

## Sintomatología

### Pudrición de la mazorca

La mazorca negra, causada por especies de *Phytophthora*, inicia sobre la superficie de la mazorca con una mancha descolorida, sobre la que posteriormente se desarrolla una lesión chocolate o negra con límites bien definidos (figura 5 A y B). En dos semanas, ésta se empieza a dispersar hasta alcanzar toda la superficie de la mazorca. Sobre mazorcas mayores a tres meses de edad, las infecciones inician principalmente en la punta (figura 5B) o al final del pedúnculo que une a la mazorca (McMahon y Purwantara, 2004). Los granos o almendras de las mazorcas enfermas permanecen sin daño por varios días, después de iniciar la infección en la cáscara. Esto significa que la cosecha frecuente puede prevenir muchas pérdidas de la producción.

Las infecciones ecuatoriales están usualmente asociadas con el daño por heridas de la superficie de la mazorca; en ella se involucra la pudrición total del tejido carnoso como también la pulpa y las semillas (figura 5C) (McMahon y Purwantara, 2004). Los frutos cercanos a la madurez fisiológica, con semillas no muy grandes y sin contacto cercano con la cáscara no presentan infección de semillas y pueden ser cosechados y fermentados.

El patógeno aparece sobre la superficie de la mazorca como una pelusa blanquecina (figura 5D), sobre la que se forma la masa de esporangios. La mazorca finalmente se ennegrece y marchita, y es colonizada por hongos secundarios. *P. palmivora* puede causar marchitez en mazorcas inmaduras o cerezas, pero es necesario distinguirla de la marchitez fisiológica relacionada con estrés por un excesivo número de frutos en el árbol (McMahon y Purwantara, 2004).



**Figura 5.** Síntomas de mazorca negra: (A) y (B) mancha chocolate; (C) pudrición del tejido interno y (D) pelusa blanquecina.

## Cánceres

El cáncer en el tallo se caracteriza por el desarrollo de un área necrótica marrón en la corteza (figura 6A), alrededor del tronco. Cuando se raspa la superficie de la corteza afectada, el tejido expuesto se torna de acuoso a pegajoso y de un color opaco gris parduzco a un color rojizo claro (figura 6B). La necrosis no se extiende más allá de la capa del cadmio. En el caso de un cáncer grande, éste puede rodear en círculo el tronco, causando la muerte súbita del árbol (McMahon y Purwantara, 2004).

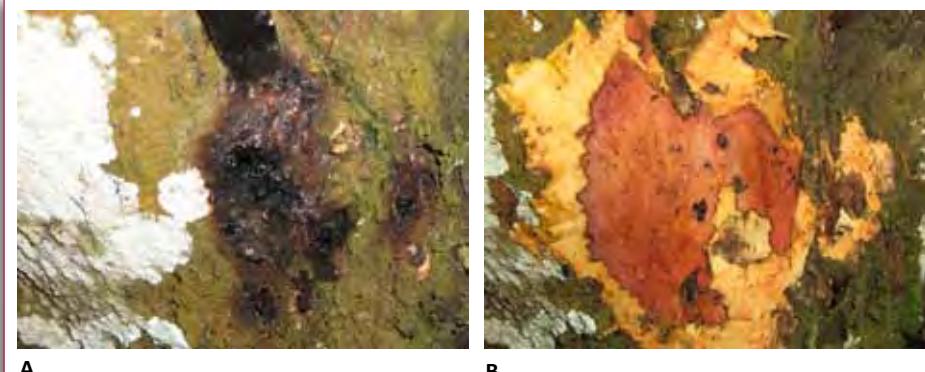
Además, el uso de herramientas contaminadas en la poda se convierte en el vehículo de transmisión de la enfermedad a nuevos brotes. Los cánceres en cojines florales resultan de la contaminación con cuchillos de cosecha o por la visita de insectos vectores (McMahon y Purwantara, 2004).

El patógeno ataca naturalmente tanto hojas muertas endurecidas como tejidos de tallos verdes jóvenes. A menudo *Phytophthora* sp. también afecta hojas maduras, aunque esto no se suele considerar como un problema serio. Las infecciones de las hojas y tallos fluorescentes puede conducir a la muerte del punto de crecimiento o de toda la planta en el caso de plántulas, ocasionando cánceres en la corteza cuando el patógeno se dispersa hacia un chupón. Dado que las plántulas de cacao crecen muy rápido durante los primeros meses, las hojas jóvenes son muy susceptibles al ataque del patógeno (McMahon y Purwantara, 2004).

## Epidemiología

El inicio del proceso de infección depende en gran medida de las condiciones ambientales, la humedad relativa alta y las bajas temperaturas, características de la época de lluvias, son favorables para la liberación de las zoosporas del esporangio y su dispersión (figura 4).

Los vehículos de dispersión de la enfermedad son: la salpicadura de la lluvia, que aprovecha el inóculo presente en el suelo para afectar a las mazorcas más cercanas; la escorrentía, que transporta en la corriente del agua las zoosporas y permite la



**Figura 6.** Síntomas de cáncer en árboles de *Theobroma cacao* causados por *Phytophthora* sp. (A) daño sobre la corteza y (B) daño de tejidos internos del tronco.

dispersión del patógeno hasta 2 metros y también el viento moviliza las zoosporas atrapadas en microgotas de agua, las cuales pueden ser transportadas hasta 12 metros de distancia (Efombagn *et al.*, 2004).

Después de su liberación, las zoosporas responden a estímulos generados por el hospedero y a los 20 y 30 minutos se enquistan en el material vegetal. El proceso de infección inicia después de esta etapa, la zoospora pierde los flagelos y germina. La germinación se da como respuesta a las señales generadas por la planta, que dependen de los iones de  $\text{Ca}^{2+}$ , dando lugar a la formación de la hifa infectiva, la cual penetra directamente al tejido e invade los espacios intercelulares. Existen evidencias de que la penetración tiene lugar a través de los estomas (Iwaro *et al.*, 1999). En condiciones ambientales favorables, esta etapa tiene una duración aproximada de 48 horas (Attard *et al.*, 2008).

El desarrollo de la enfermedad está determinado por varios factores que tienen que ver con las características morfogenéticas, las cargas iónicas de la planta, los factores ambientales, también la frecuencia y tamaño de los estomas, ya que se cree que el patógeno penetra a través de éstos (Iwaro *et al.*, 1999). La duración del ciclo de fructificación de cada material puede contribuir o no a la susceptibilidad (Berry y Cilas, 1994; Efombagn *et al.*, 2004). Otra característica de gran importancia es la edad del fruto, siendo más susceptibles a mayor edad (figura 5A-D).

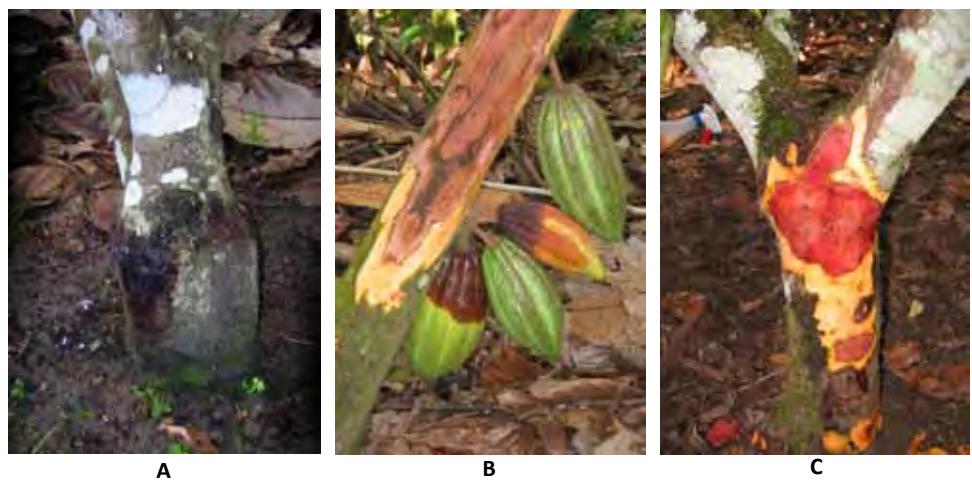
Durante la infección del fruto de cacao, la concentración de azúcares en los tejidos disminuye, sobre todo en clones altamente susceptibles. Esta disminución se encuentra relacionada con la rápida evolución del área necrótica en el tejido (figura 5A), donde *Phytophthora* sp. presenta un alto consumo de los azúcares simples y dobles, predominando en la pared celular la glucosa, fructosa y sacarosa. Por lo tanto, *Phytophthora* sp. no le permite a la planta hospedera la síntesis de componentes relacionados con la patogénesis, similares a los fenoles.

De igual manera, durante el proceso de infección se presenta una disminución de aminoácidos, esto se debe a que durante la interacción patógeno-planta hospedera, se activa la ruta del fenilpropanoide (Omokolo *et al.*, 2002) y al final, se colapsan los tejidos vegetales. En este tiempo de avance de la enfermedad, aparecen los síntomas sobre las mazorcas, que en genotipos susceptibles aparecen en cualquier parte del fruto y se manifiestan como pequeñas manchas oscuras que crecen rápidamente, entre una a dos semanas, hasta cubrir la superficie total del fruto (figuras 5 C y D).

De manera ocasional los tejidos, incluidos los granos, se marchitan para dar lugar a las mazorcas momificadas, las cuales son un reservorio del inóculo y pueden proveerlo, al menos durante los tres años siguientes (Dennis y Konam, 1994; Flood y Murphy, 2004). En condiciones de humedad, se pueden producir alrededor de 4 millones de esporangios sobre una mazorca. Estos son diseminados por el viento, la lluvia, los insectos, los restos vegetales de la cosecha, las herramientas contaminadas de la poda y el suelo; de esta forma se inicia un nuevo ciclo de la enfermedad (Flood y Murphy, 2004).

*P. palmivora* y *P. Megakarya* infectan chupones y troncos causando cáncer (figuras 7 y 8). Cuando el cáncer se encuentra sobre la base del tronco (figura 7 A), la infección llega hasta las raíces. A menudo no se puede observar el patógeno por el color del tronco (figura 7 C), sólo se puede identificar por la producción de un exudado color rojizo (figura 7 A). Se afectan cojines y flores a partir de los frutos enfermos, y los tejidos afectados mueren (figura 8).

En contraste con la atención dada a la enfermedad de la mazorca negra, el cáncer causado por las especies de *Phytophthora* ha sido subestimado durante los últimos



**Figura 7.** Cáncer en troncos y ramas de *Theobroma cacao* causados por *Phytophthora* sp. (A) Cáncer en la base del tallo; (B) Cáncer en ramas y cojines florales; (C) Cáncer ascendente desde la base del tronco hasta ramas principales.



**Figura 8.** Infección por contacto de (A y B) fruto a fruto y (C) de fruto a cojín floral.

años. Es importante destacar que esta afección reduce el vigor y la productividad del árbol. Los cánceres están asociados frecuentemente con la presencia de barrenadores de tallo y corteza. Las especies de *Phytophthora* causan la muerte súbita de hasta 10% de los árboles cada año, reducción y pérdidas de la producción e impone un costo extra por las resiembras (Flood y Murphy, 2004).

La fase sexual de *Phytophthora* sp., es bastante escasa en condiciones naturales, debido a que las especies fitopatógenas de ésta en cacao son heterotálicas. Por este motivo, se requiere de un anteridio y un oogonio de hifas compatibles, pero de diferente grupo o cepas, para dar lugar a la formación de las oosporas. Las oosporas son importantes por su capacidad de sobrevivir en el suelo o en restos de tejido vegetal durante muchos años, ya que resisten a condiciones ambientales adversas tales como el frío, la degradación microbiana o los fungicidas químicos.

En otros patosistemas localizados en áreas donde se presentan las cuatro estaciones climáticas, las oosporas germinan al inicio de la primavera, así éstas estructuras en reposo representan el inóculo primario para el inicio de nuevas epidemias. La importancia que tiene la fase sexual es la generación de nuevos genotipos recombinantes, que pueden resultar en cepas o individuos más agresivos o resistentes a los fungicidas químicos (Prakob y Judelson, 2007).

La variabilidad en las poblaciones del patógeno está determinada por la frecuencia o número de veces que se lleva a cabo la fase sexual, esto hace más difícil el control de las especies de *Phytophthora*. Además, las oosporas también son estructuras o propágulos de resistencia que le permiten a este patógeno sobrevivir por largo tiempo, en condiciones ambientales adversas, con lo cual se dificulta, aún más, su erradicación (Kellman y Zentmyer, 1986).

## ESCOBA DE BRUJA

(*Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime y Phillips-Mora)

### Origen de la enfermedad

*Moniliophthora perniciosa* es endémico de las especies nativas del género *Theobroma* en los sistemas de los ríos Amazonas y Orinoco (Holliday, 1998).

### Distribución geográfica

El agente causal de la escoba de bruja, *Moniliophthora perniciosa*, se encuentra confinado a las zonas productoras de cacao en Suramérica, Trinidad y Tobago, y Granada (Holliday, 1998).

### Etiología

*Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime y Phillips-Mora es el agente causal de una de las tres principales enfermedades del cultivo de cacao en Latinoamérica, denominada escoba. Este hongo fue inicialmente descrito como *Marasmus perniciosus* Stahel, pero en 1942 Singer lo reclasificó en el género *Crinipellis*, especie *C. perniciosa* (Stahel) Singer. Éste se conoció bajo el nombre de *C. perniciosa* hasta el 2005, cuando Aime y Phillips-Mora (2005) demostraron, mediante el uso de la secuenciación de ADN,

que este hongo se encuentra muy relacionado con *Moniliophthora roreri*, agente causal de la moniliasis. Estas dos especies forman actualmente un linaje separado de Marasmiaceae que incluye varios miembros de *Crinipellis* sección *lopodinae*, la cual compromete formalmente individuos con pigmentación rosa/púrpura de los miembros del género *Crinipellis* (Meinhardt *et al.*, 2008).

Se cree que *Moniliophthora perniciosa* tiene su origen y ha coevolucionado con plantas hospederas en la cuenca alta del río Amazonas, del lado este de los Andes (Purdy y Schmidt, 1996). Este es patógeno de cinco familias de dicotiledóneas, incluyendo miembros de las familias Malvaceae, Solanaceae, Bignoniacae, Bixacea y Malpighiaceae (Evans, 1980; Purdy y Schmidt, 1996; Griffith *et al.*, 2003; Do Rio *et al.*, 2008).

## Taxonomía

*Moniliophthora perniciosa* es un organismo del dominio Eukaryota, reino Fungi, filum Basidiomycota, clase Basidiomycetes, subclase Agaricomycetidae, orden Agaricales, familia Tricholomataceae, género *Moniliophthora* y especie *M. perniciosa*.

## Morfología

### *M. perniciosa* presenta:

- Píleos color carmesí, generalmente débiles, que se tornan pálidos con la edad y presentan una mancha en el centro de color rojo a negro. Estos se encuentran dispuestos de forma radial y del mismo color, acanalados y acampanados, los cuales se expanden con una margen cóncava o convexa aplanada con un centro deprimido. Los píleos presentan diámetro que va desde 2 hasta 25 mm, su promedio está entre 5 y 15 mm (Holliday, 1998).
- Subpileopellis: de pared gruesa, con hifas no amilodes, con escasez de pelos, numerosos en el centro, con una pared roja cuando son frescos, los cuales se tornan hialinos con la edad y en la medida que se secan. Estas estructuras tienen un tamaño de 80-150 x 4-12 µm (Holliday, 1998).
- Lamelas blanquecinas, muy gruesas (0,2 mm), medianamente gruesas o muy anchas (1-2 mm), distantes (8 – 20 lamelas), con ranuras que corresponden a los pileus (Holliday, 1998).
- Cheilocistidias muy regulares, en forma de botella con un tamaño de 35-50 x 9-14 µm.
- Pleurocistidias ausente.
- Estipe blanco, excepto en la base sub-bulbosa engrosada, la cual es ligeramente verde o amarilla. El estipe mide entre 5-10 mm de largo x 0,5–0,7 mm de ancho y la base mide 0,7 x 1,1 mm (Holliday, 1998).
- Hifas con conexiones de gancho (Holliday, 1998).
- Basidios con un tamaño de 31–32 µm de largo x 7–9 µm de ancho con 4 esporas (Holliday, 1998).
- Basidiosporas hialinas con un tamaño de 7–11 µm de largo x 4–5 µm de ancho (Holliday, 1998).

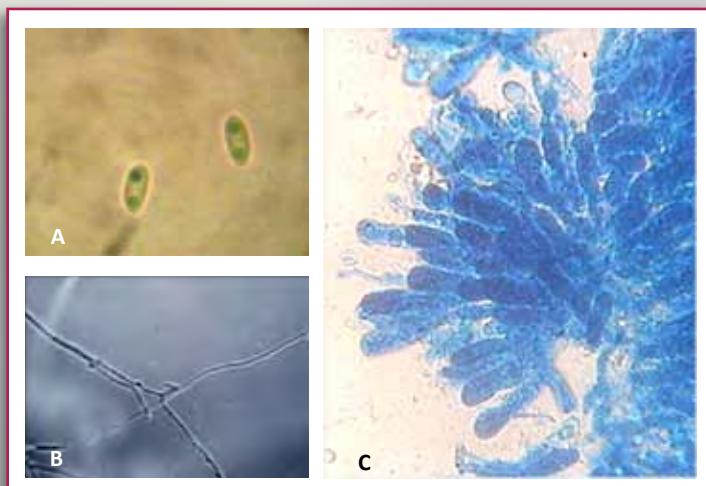
## Ciclo de vida

*M. perniciosa* tiene un ciclo de vida paralelo con los síntomas de la enfermedad en la planta (figura 9). El ciclo inicia con las basidiosporas, consideradas como los únicos



**Figura 9.** Ciclo de vida de *Moniliophthora perniciosa*.

propágulos del hongo capaces de infectar los tejidos meristemáticos de cacao (Evans, 1980; Scarpari *et al.*, 2005). Las basidiosporas son estructuras hialinas, ovales, con un tamaño de 12 µm x 6 µm (figura 10 A). A partir de ellas se forma el micelio biotrófico monocariótico (figura 10 B), sin conexiones de gancho. Este micelio infecta los cojines florales, los frutos en desarrollo y los brotes vegetativos (Evans, 1980; Evans y Bastos, 1980; Do Rio *et al.*, 2008).



**Figura 10.** Estructuras microscópicas de *M. perniciosa*.  
 (A) Basidiosporas; (B) Micelio biotrofo; (C) Estroma.

Avanzada la infección, *M. perniciosa* causa hipertrofia, hiperplasia y la pérdida de dominancia apical de los tejidos, con proliferación de los brotes auxiliares y la formación de tallos anormales; estas estructuras son similares a una escoba, de ahí su denominación (Meinhart *et al.*, 2008).

## Sintomatología

La sintomatología de la escoba de bruja es bastante variada; ha sido descrita en detalle por Holliday (1952), Baker y Holliday (1957), Evans (1981) y Rugard y Butler (1987). Cuando el hongo infecta ramas y brotes vegetativos, provoca hinchazón en la parte afectada, acompañada de la proliferación de pequeños brotamientos próximos a los otros, donde se forman las hojas con apariencia de una escoba de bruja (figura 11 C).

La infección de los cojines florales se manifiesta con la formación de escobas, con la presencia o no de pequeños frutos partenocápicos (frutos chirimoya) (figuras 11 A y 12 D). También, *M. perniciosa* causa la pudrición de los frutos de cacao (figura 12), los cuales son susceptibles durante todo su desarrollo.

Cuando el patógeno infecta los frutos durante las primeras semanas de edad, se detiene su crecimiento causando la muerte o marchitez prematura. En frutos enfermos de 1 a 4 meses de edad, se presentan deformaciones, hinchazón (figura 12 A y B) y se forma un área necrótica (figura 12 C) más oscura que la ocasionada por la pudrición por monilia, la cual termina en una pudrición acuosa y en la pérdida total de las semillas. En infecciones tardías, es decir, en frutos mayores de 4 meses, la infección causa una pérdida parcial de las semillas de cacao (Meinhardt *et al.*, 2008).

Extraordinariamente, después de estos síntomas, la hifa biotrófica de *M. perniciosa* se encuentra en bajas densidades y no produce haustorio; sólo se limita a ocupar el espacio apoplástico y presenta un crecimiento lento. Se ha demostrado que el micelio biotrófico se puede mantener viable en condiciones *in vitro*, si se ponen a crecer las esporas en un medio carente de nutrientes, pero con glicerol como única fuente de carbono.



A

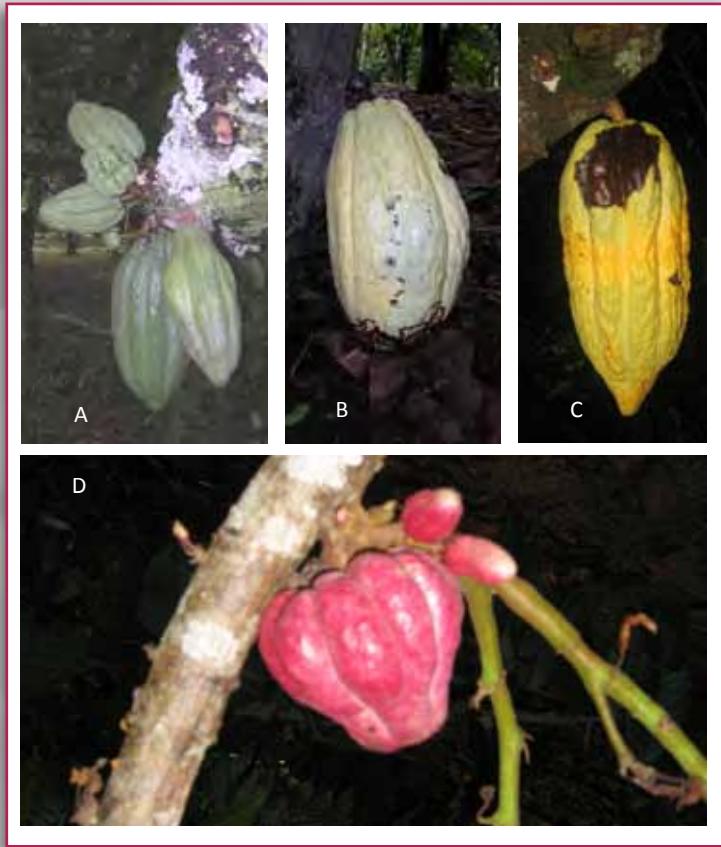


B



C

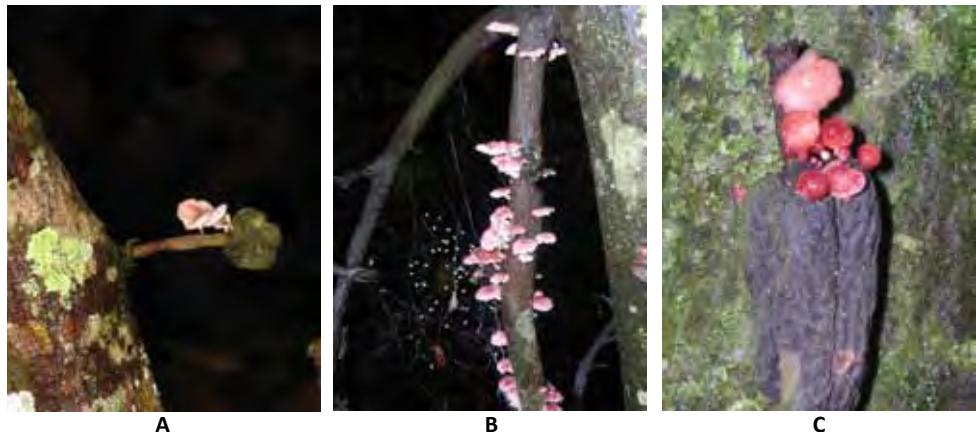
**Figura 11.** Síntoma de escoba verde en (A) cojines florales (B) ramas y (C) brotes terminales afectados por *M. perniciosa*.



**Figura 12.** Síntomas en frutos causados por *M. perniciosa* (A) y (B) protuberancias; (C) mancha chocolate; (D) fruto chirimoya.

A partir de estas observaciones, se cree que la baja concentración de nutrientes en el apoplasto puede ser la clave para la fase biotrófica de este patógeno (Do Rio *et al.*, 2008). Más aún, durante esta fase, parece ser que el tejido infectado se somete a un intenso estrés oxidativo, que se evidencia por un incremento de la peroxidación de lípidos (Scarpari *et al.*, 2005; Do Rio *et al.*, 2008). Este evento oxidativo se debe a la producción de peróxido de hidrógeno por la degradación enzimática de cristales de oxalato de calcio, los cuales se han producido y almacenado durante el progreso de la enfermedad y están presentes en el tejido infectado (Do Rio *et al.*, 2008).

Después de 1 ó 2 meses de presentarse las alteraciones, los tejidos enfermos se necrosan y mueren, dando lugar a la formación de una estructura denominada escoba seca (figura 13 B) (Meinhart *et al.*, 2008). En esta fase necrótica, el hongo adquiere unas características distintivas, tales como: un micelio dicariótico saprofítico/necrótico, en el cual se observan las conexiones de gancho. A diferencia de la fase biotrófica, el micelio saprofítico (diámetro de 1 – 3  $\mu\text{m}$ ) crece vigorosamente, colonizando rápidamente el material vegetal infectado. Durante esta fase, después de alternar períodos húmedos y secos, tiene lugar la formación de los basidiocarpos



**Figura 13.** Formación de basidiocarpos sobre tejido necrosado (A) fruto necrosado “en forma de fresa o chirimoya”; (B) tejido necrosado de rama; (C) tejido necrosado de fruto.

sobre el tejido vegetal necrosado (figura 13) (Rocha y Wheeler, 1985; Almeida *et al.*, 1997; Scarpari *et al.*, 2005). Esta fase tiene una duración aproximada entre 17 a 25 semanas (Holliday, 1952; Meirelles, 2002).

Durante la fase saprofítica, el hongo sobrevive en un estado dormante sobre las escobas secas o frutos momificados hasta el inicio de la época de lluvias (Evans y Bastos, 1979; Meirelles, 2002).

La condición ambiental requerida para la liberación de las basidiosporas es la humedad relativa próxima a la saturación (es decir cercana al 100%), la oscuridad y las temperaturas entre 20° a 30° C (Rocha y Wheeler, 1985). La liberación nocturna garantiza la supervivencia de estos propágulos por más tiempo.

En condiciones de campo, en Trinidad y en Ecuador, la mayor liberación de basidiosporas ocurre entre 10 p.m. y 4 a.m., con una humedad relativa mayor al 95% y temperaturas entre 20° a 24° C (Evans y Solórzano, 1982). Una vez liberadas, las basidiosporas tienen un periodo de viabilidad corto, debido a su sensibilidad a la luz y al secamiento (Evans, 1980; Flood y Murphy, 2004).

La dispersión natural de las basidiosporas se da principalmente por el viento y la lluvia, a partir de fuentes de inóculo como escobas necrosadas y frutos enfermos (figuras 9 y 13). La infección tiene lugar cuando las esporas son depositadas sobre las yemas vegetativas, cojines florales o frutos en desarrollo. La infección de yemas dormantes se convierte en infecciones latentes, ya que forman pequeños puntos necróticos que se activan cuando inicia el periodo de brotación (Bastos, 1994; Meirelles, 2002).

Sin duda alguna, el principal mecanismo de dispersión del patógeno es el hombre, por el transporte de material vegetal de un lugar a otro. Por tal motivo, en Panamá se ha mantenido un cordón fitosanitario, con el fin de evitar el avance de la escoba de bruja a Centroamérica.

La variación genética de *M. perniciosa* es evidente, dada por la adaptación de este patógeno a otras especies vegetales. Se han definido cuatro biotipos de *M.*

*perniciosa*, a saber: el biotipo S que afecta a solanáceas, el biotipo B que afecta a *Bixa orellana* (familia Bixaceae) o achiote, el biotipo L que afecta a *Arrabidaea verrucosa* (familia Bignoniaceae) y el biotipo C que afecta a especies del género *Theobroma*. Los biotipos B, C y S son homotálicos, lo cual indica la alta variabilidad genética de sus poblaciones (Purdy y Schmidt, 1996).

De acuerdo con lo anterior, la posible formación de heterocariones puede ocurrir sobre los tejidos infectados aún verdes, mediante basidiosporas diferentes genéticamente antes del desarrollo del micelio binucleado necrótico, en las escobas secas. Griffith (1989) reportó la presencia de numerosos grupos de compatibilidad somática (GCS) entre los aislados del biotipo C de la provincia de Napo (Ecuador), en contraste con los de la costa de Ecuador donde sólo se identificó un GCS.

## Epidemiología

El patosistema Cacao - *M. perniciosa* es dependiente y limitado por la humedad atmosférica (lluvia, niebla, rocío y humedad relativa). La presencia o ausencia de cualquiera de las condiciones ambientales afecta la fenología del hospedero, la producción de basidiocarpos, la liberación de basidiosporas, la dispersión, infección y la sincronía entre estos eventos.

La temperatura regula la tasa de desarrollo de la enfermedad, pero rara vez es un factor limitante de su desarrollo; ésta juega un papel importante en: (1) el secado de las escobas, por ende promueve la producción de basidiocarpos; (2) la evapotranspiración, la cual induce estrés por humedad y asfixia de los tejidos del hospedero, por ende incrementa el número y sincronía de los sitios de infección; y (3) la formación de rocío sobre hospederos susceptibles proveen la humedad requerida para la germinación de las basidiosporas y la subsecuente infección (Purdy y Schmidt, 1996).

Los basidiocarpos se forman sobre tejido necrótico del dosel y tronco del cacao. La fuente más importante de estas estructuras son las escobas vegetativas necróticas en el dosel del árbol, escobas podadas o caídas descubiertas por el lecho o mulch sobre el suelo, escobas sobre cojines florales y mazorcas enfermas en el árbol o el suelo. Mientras que las escobas del dosel son la fuente más importante de basidiocarpos, otras fuentes pueden tener significancia epidemiológica dependiendo de la edad del árbol, los factores climáticos y las prácticas fitosanitarias (Purdy y Scmidt, 1996).

Los basidiocarpos son producidos por *M. perniciosa* en respuesta tanto a la humedad como a la sequía. Durante períodos secos prolongados los basidiocarpos son pocos, mientras que en períodos con amplia presencia de lluvias, se presentan durante todo el año. En campo, los basidiocarpos aparecen sobre las escobas a las 4-8 semanas de lluvia continua, pero también pueden aparecer antes dependiendo de la edad, la localización de la escoba y el clima (Purdy y Schmidt, 1996).

Las escobas vegetativas pueden producir docenas o cientos de basidiocarpos, y cada uno de ellos puede producir desde cientos a miles de basidiosporas durante su periodo de viabilidad, las que dispersa el viento y la lluvia. Las basidiosporas son liberadas en abundancia entre las 8 p.m. y 7 a.m., cuando la humedad es alta y la temperatura baja. La temperatura óptima para la liberación de las esporas es de 20° a 25° C, pero los basidiocarpos liberan esporas entre 10° y 30° C entre 2 y 8 días. Cuando las escobas son abundantes, el inóculo no es un factor limitante de la epidemia, excepto durante períodos secos prolongados (Purdy y Schmidt, 1996).

## LA MONILIASIS (*Moniliophthora roreri*)

La moniliasis, causada por *Moniliophthora roreri*, es una enfermedad fúngica severa que hasta ahora se encuentra en 11 países de América Latina. El daño causado por esta enfermedad varía desde 25% hasta la pérdida total de la producción.

### Origen de la enfermedad

Durante años, Ecuador fue considerado como el centro de origen de la enfermedad, debido a que en 1917 se realizó el primer reporte oficial del patógeno, cuando el fitopatólogo J. B. Rorer llegó de Trinidad a Ecuador para identificar el agente causal de la reducción de la producción de cacao. Las muestras recolectadas por Rorer fueron enviadas a R. E. Smith en la Universidad de California, allí se identificó el hongo como *Monilia* sp.

Phillips-Mora (2003) señaló que la moniliasis del cacao pudo aparecer por primera vez en Colombia en el departamento de Norte de Santander en 1817 y en 1851 en el departamento de Antioquia. Además, Phillips-Mora y Wilkinson (2007) encontraron reportes de la enfermedad en 1832, 1850 y 1956 para Norte de Santander y en 1881, 1916 y 1949 para Antioquia.

Según resultados de estudios moleculares, mediante el polimorfismo de la longitud de fragmentos amplificados (AFLP), perfiles ISSR y datos de secuencias ITS, indican que existe gran diversidad genética de *M. roreri* en Colombia; también evidencian que es allí donde se pudo originar la enfermedad, en vez de Ecuador (Phillips-Mora et al., 2007; Phillips y Wilkinson, 2007).

Phillips-Mora et al. (2007) encontraron que existen cinco grupos genéticos de *M. roreri* (figura 14), de los cuales en Colombia se encuentran los grupos Co-East y Co-Central, localizados en la región del Magdalena Medio (figura 14) como los de mayor variabilidad genética y endémicos en la región.

### Distribución geográfica

Las elevadas pérdidas por la enfermedad fueron reportadas en el suroeste de Ecuador en 1909 (Evans, 1981). Sin embargo, existen reportes de 1817 en Colombia, sobre



Fuente: Phillips-Mora et al (2007).

**Figura 14. Distribución de grupos genéticos de *Moniliophthora roreri* en los países hispanohablantes productores de cacao.**

la aparición de la enfermedad en el oriente y centro del país (Anónimo, 1832; Ancízar, 1956; Arenas, 1993; citados por Phillips *et al.*, 2007).

Van Hall visitó Ecuador en 1914, durante los años de bonanza del cacao y describió los síntomas que presentaban varias mazorcas enfermas. Los dos tipos de síntomas fueron denominados con nombres locales: “mancha”, lesión con pudrición de toda la mazorca probablemente causada por un hongo y “helada”, crecimiento anormal de las mazorcas y los granos.

En la actualidad, la enfermedad afecta la mayor parte de las áreas productoras de cacao en Colombia y Ecuador.

En Venezuela, la enfermedad se reportó oficialmente por primera vez en la región del río Catatumbo, estado Zulia en 1941 (Muller, 1941; Phillips y Wilkinson, 2007) y sigue restringida a esta región del occidente de Venezuela, separada geográficamente de las principales áreas productoras del oriente y Barlovento.

Mc Laughlin (1950) reportó la enfermedad en los departamentos de Cajamarca, Huanuco y Cuzco de Perú; este reporte fue controversial hasta cuando Hernández *et al.* (1990) reportaron la presencia del hongo en el departamento del Amazonas (Perú). Para 1999, cerca del total de plantaciones de cacao en el Perú, estaban afectadas por *M. roreri* (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007).

En 1956, la presencia de *M. roreri* en Panamá marcó una expansión significativa del hongo a través de Mesoamérica (Orellana, 1956; Phillips-Mora y Wilkinson, 2007) (figura 15). De hecho, durante los últimos 50 años, *M. roreri* se ha dispersado a lo



Figura 15. Mapa de dispersión de *Moniliophthora roreri*.

largo de 2.500 km por las principales áreas productoras de cacao de esta región: en Costa Rica se detectó en 1978 (Enríquez y Suárez, 1978), Nicaragua en 1980 (López y Enríquez, 1980), Honduras en 1997 (Porras y Enríquez, 1998), Guatemala en 2002 (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007), Belice en 2004 (Phillips *et al.*, 2006a) y México en el 2005 (Phillips-Mora *et al.*, 2006b). Con este último reporte, *M. roreri* alcanzó el límite norte de las zonas productoras en el continente de América (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007).

Teniendo en cuenta la gran susceptibilidad de la mayoría de los genotipos comerciales de cacao, la agresividad de este patógeno, su excepcional capacidad para sobrevivir en diferentes condiciones ambientales y su rápida dispersión natural y mediada por el hombre, se concluye que *M. roreri* representa una gran amenaza para los agricultores de cacao del mundo. Las pocas barreras naturales entre las áreas con presencia de la enfermedad y las que aún no existe, se consideran como la única forma de prevenir la dispersión de la moniliasis, especialmente a Brasil y Bolivia (Evans, 1986; Phillips-Mora y Wilkinson, 2007).

## Etiología

Se sabe que el centro de origen de este patógeno está en la región nororiental de Colombia, capaz de afectar especies de los géneros *Herrania* y *Theobroma*.

El agente causal de la moniliasis fue inicialmente llamado *Monilia roreri* por Ciferri, y Parodi (1933) y clasificado dentro del filum Ascomycota, describiéndolo como un hongo anamórfico debido a la aparente ausencia de un estado meiótico o de estructuras sexuales y sus similitudes morfológicas con otros fitopatógenos del género (Evans *et al.*, 2003). Sin embargo, Evans *et al.* (1978), mediante estudios de microscopía electrónica, encontraron la presencia de septo doliporo (característico de hongos homobasidiomicetos) (figura 16 A y B) y un evento único de esporogénesis basipetal, resultado que motivó la creación del nuevo género *Moniliophthora* (Evans *et al.*, 2003; Griffith *et al.*, 2003).

## Taxonomía

*Moniliophthora roreri* es un organismo del dominio Eukaryota, reino Fungi, filum Basidiomycota, clase Basidiomycetes, subclase Agaricomycetidae, orden Agaricales, familia Tricholomataceae, género *Moniliophthora* y especie *M. roreri*.

## Morfología

Evans *et al.* (2002) encontraron evidencias que la meiosis ocurre en las esporas de *M. roreri*, fenómeno consistente con su contenido nuclear variable. De ahí que es incorrecto referirse a estas estructuras como conidios (por definición estos provienen del proceso de mitosis). Parece que esto se debe a que el antepasado de *M. roreri* perdió la habilidad de formar un basidiocarpo, pero no la habilidad de llevar a cabo la división nuclear meiótica (Evans *et al.*, 2003). Lo anterior sugiere que los propágulos de monilia se deben llamar esporas y no conidios.

Las esporas provienen de un basidio modificado, con un seudoestroma denso y carnoso sobre el cual el hongo produce los vestigios del píleo. Las esporas son multifuncionales, sirven no sólo para el intercambio genético, sino también para la

dispersión, la infección y la supervivencia (Evans, 2007). Éstas pueden ser esféricas u ovaladas (Figura 16 C) y tienen dos formas de germinación a través del poro germinativo o directamente a través de su pared (Urquillas, 2004).

Las esporas viejas desarrollan paredes gruesas y se tornan oscuras, las cuales pueden marcar el inicio de la fase de dormancia (Evans, 2007). El tubo germinativo presenta en el extremo distal una estructura similar a un apresorio y la hifa infectiva. Éste es único y en raras ocasiones doble (Urquillas, 2004).

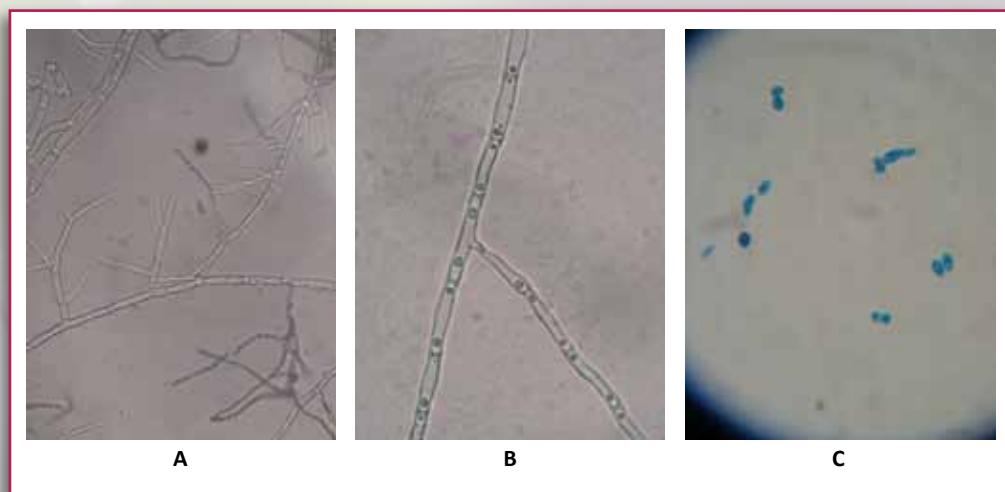
### Ciclo de vida del patógeno

Las condiciones climáticas y la cantidad de esporas libres son factores determinantes en el ciclo de vida de *M. roreri*. El ciclo comienza con la estación seca, época en la que se encuentran la mayor cantidad de esporas disponibles en el ambiente (figura 17). Sin embargo, para que inicie la infección es necesario que existan condiciones de humedad.

En Colombia, se presentan condiciones favorables para la infección y desarrollo de la monilia durante todo el año, debido a la distribución de las lluvias. Por tal motivo, es importante considerar el periodo entre cultivos, es decir, el periodo entre la cosecha y la próxima floración.

En Ecuador, el factor crítico en el ciclo de la enfermedad es la marcada estación seca y su importancia para determinar cómo *M. roreri* sobrevive entre cosechas y la disponibilidad de fuentes de inóculo al inicio de la estación húmeda (Evans, 1981).

En investigaciones adelantadas por el ICA entre 1960 y 1980 sobre etiología, epidemiología y control de la moniliasis, se resalta que los conidios sólo germinan en presencia de una película de agua, con mayor germinación cerca de los 24° C. En condiciones de laboratorio, las esporas que provienen de micelio esporulante, conservan la viabilidad y poder infectivo hasta 22 meses después de iniciar la



**Figura 16.** Estructuras microscópicas de *Moniliophthora roreri* (A) micelio con septo doliporo; (B) micelio dicariótico con septo doliporo; (C) meiosporas

esporulación. Estos propágulos almacenados y conservados en seco a 4,5° C mantienen la viabilidad superior al 50%, después de 10 meses (Merchán, 1981).

También se encontró que en condiciones de laboratorio la germinación de las esporas ocurre aproximadamente entre 6 y 8 h. La hifa infectiva del hongo penetra la epidermis del fruto, desde la cual se propaga inter e intracelularmente a los tejidos subepidermales y el exocarpo (figura 17). La infección continúa a los tejidos centrales, incluyendo las semillas, e inicia el desarrollo de la necrosis desde la parte interna hacia la epidermis.

Externamente, la infección aparece como puntos aceitosos muy pequeños y circulares (figura 18 B y D), los cuales se convierten en lesiones (manchas) irregulares de color amarillo y marrón (figura 18 C y E). El proceso desde la infección a la aparición de mancha tiene una duración aproximada de  $60 \pm 10$  días, dependiendo de la susceptibilidad del clon de cacao (figura 17). Entre 3 y 4 días, se desarrolla el micelio blanco sobre las lesiones y luego aparecen las esporas, las cuales confieren un color crema a marrón (figura 18 F).

En las condiciones de Santander, el ciclo de vida de *M. roreri* dura  $60 \pm 5$  días sobre clones susceptibles y,  $73 \pm 8$  días sobre clones con resistencia parcial (figura 17).

En Colombia (Granja Luker a 1.050 msnm), se demostró con la primera aproximación al ciclo de la enfermedad y evolución de síntomas y signos (figuras 18 y 20), que los primeros síntomas aparecen en promedio a los 22 días, después de la inoculación del patógeno, y 73 días para la esporulación (Merchán, 1981).

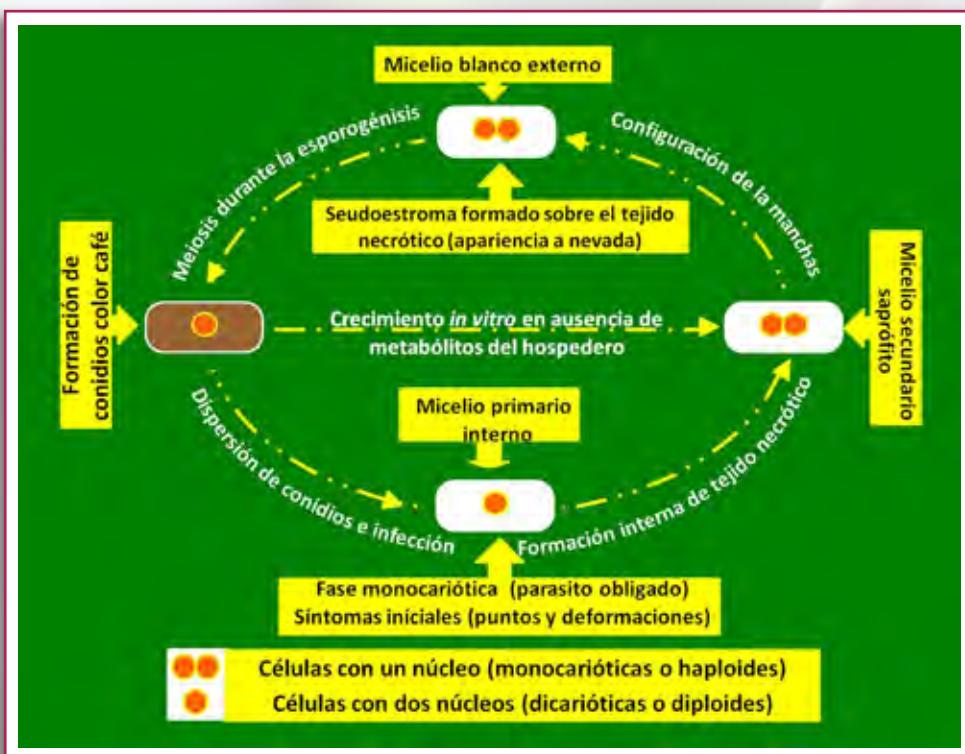


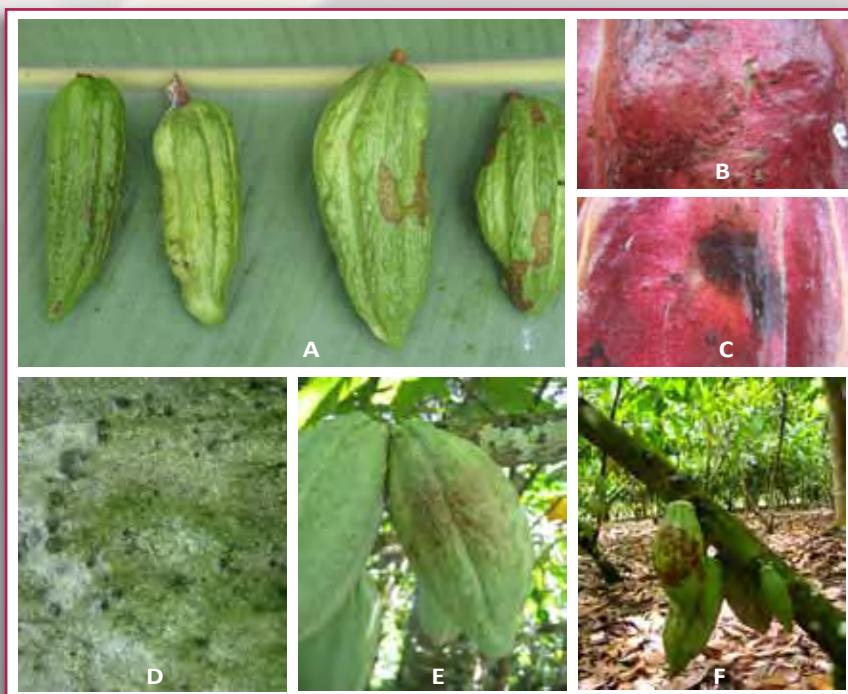
Figura 17. Ciclo de vida de *Moniliophthora roreri*.

## Sintomatología

En condiciones de campo, la enfermedad se ha encontrado sólo sobre frutos. Artificialmente se han logrado infecciones sobre plántulas y primeros estadios foliares (Evans, 2007). La penetración e infección puede ocurrir en cualquier fase de desarrollo del fruto, pero son más susceptibles durante los primeros estados. La susceptibilidad de los frutos es inversamente proporcional a su edad, es decir que a mayor edad menor susceptibilidad.

Después de penetrar el fruto, el hongo se desarrolla intercelularmente en las células del parénquima cortical, presentándose normalmente un largo periodo de incubación.

Los síntomas de monilia varían con la edad del fruto y con la severidad del ataque del patógeno (Merchán, 1981). Sobre frutos jóvenes se observan áreas de crecimiento anormal, formándose protuberancias pronunciadas sobre la superficie de los frutos (gibas) (figura 18 A). Los síntomas externos pueden estar completamente ausentes hasta la formación de lesiones entre 45 y 90 días después de la penetración del hongo (figura 18 B y E). Según Evans *et al.* (1978) esta fase se podría considerar como la fase biotrófica del hongo, en cuanto a que la necrótica puede ser precedida por la maduración irregular o prematura, la aparición de lesiones irregulares de color chocolate o castaño oscuro, que van creciendo gradualmente hasta cubrir con rapidez toda la superficie del fruto (figura 18 C, E y F).



**Figura 18.** Evolución de síntomas de la moniliásis (A) frutos jóvenes con protuberancias o gibas; (B) y (D) síntomas de puntos aceitosos; (C) y (E) configuración de mancha; (F) crecimiento del área necrosada o mancha.

En infecciones tardías, predominan las lesiones deprimidas de color castaño oscuro (figura 19). Después del inicio de la lesión, alrededor de los 3 a 7 días, se desarrolla un micelio blanco y crema sobre los frutos infectados, tornándose luego en una densa masa pulverulenta constituida por esporas del hongo (figura 20), que van cambiando gradualmente de ceniza a marrón (Evans, 1981).

En laboratorio, *M. roreri* crece tanto en medios naturales como artificiales. También, este patógeno es capaz de colonizar órganos vegetativos, previamente esterilizados, lo que lleva a pensar en este método como una alternativa para la evaluación de resistencia de materiales (Merchán, 1981).



**Figura 19.** Infección y avance de la moniliasis en frutos de cacao en edad avanzada.



**Figura 20.** Inoculación natural de *Moniliophthora roreri* sobre frutos de cacao.

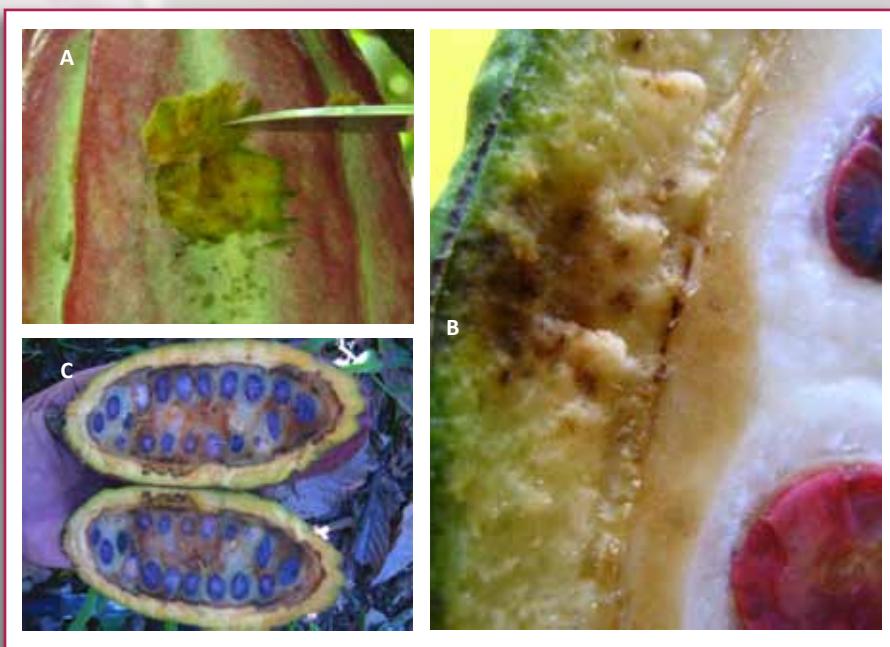
Los síntomas de la enfermedad pueden variar con la edad del fruto o tipo de material genético. Los tejidos internos de la mazorca pueden ser sustituidos por sustancias acuosas o gelatinosas (figura 21), razón por la cual esta enfermedad también es conocida y denominada de forma inadecuada como pudrición acuosa de los frutos. Con frecuencia, las almendras se presentan pegadas unas con otras de manera desorganizada, haciendo difícil su remoción.

Los frutos enfermos son normalmente más pesados que los frutos sanos. En algunos materiales o clones de cacao no se presenta esporulación sobre los frutos maduros infectados, lo cual no permite diferenciarlos de aquellos afectados por escoba de bruja (Evans, 1981; Lopes y Martins, 2005).

## Epidemiología

La esporulación del hongo sobre la superficie del fruto es tan intensa que las nubes de esporas son liberadas y transportadas por el viento, la lluvia y en menor proporción por insectos (Evans, 1986). Se estima que las densidades de esporulación del hongo sobre un fruto pueden alcanzar los 44 millones de esporas por  $\text{cm}^2$  de área.

Una mazorca esporulada ubicada a una altura aproximada de dos metros tiene un gradiente de dispersión, con capacidad de infección de 40%, de hasta una distancia de 20 m (Merchán, 1981). Existe una correlación significativa y positiva entre la población de conidios en el aire y la temperatura, y negativa con respecto a la humedad relativa (Porras V., 1983).



**Figura 21.** Síntomas internos de la moniliasis en mazorcas de cacao (A) y (B) puntos necróticos; (C) pudrición acuosa de la mazorca.

En tanto que tal nivel de esporulación sólo se observa durante pocas semanas después de su inicio, reduciéndose la cantidad de esporas producidas hasta aproximadamente diez semanas, cuando se torna casi insignificante. Las esporas pueden ser aisladas de los mismos frutos momificados, incluso después de un año de la infección, lo que es garantía de la oferta de inóculo durante ese tiempo (Evans, 1981). Al menos 90% de las esporas pueden germinar sobre medios artificiales, pero sólo 10% lo puede hacer sobre agua (Ram *et al.*, 2004).

Los frutos momificados y esporulados en la copa del árbol son considerados la principal fuente de inóculo para iniciar la epidemia, diseminando las esporas en sentido descendente (figura 20). La presencia de agua libre no sólo permite la germinación de las esporas, sino que remueve el inóculo desde estos frutos.

Se ha encontrado que la eliminación y disposición de los frutos con síntoma de mancha sobre el suelo no sólo permite la descomposición por parte de los microorganismos presentes en éste, sino que dejan de ser importantes en la diseminación de *M. roreri* (Aranzazu 1987; Cubillos 1981).

En Colombia, normalmente los frutos infectados entre los períodos de noviembre–enero y marzo–julio esporulan después de marzo–abril y septiembre–octubre, respectivamente. Estos últimos coinciden con los períodos de cosecha.

Existe una estrecha correlación entre la cantidad de lluvia, el periodo de floración y la formación de frutos con la ocurrencia de la enfermedad (Lopes y Martins, 2005). Se cree que la infección de los frutos ocurre durante la floración o durante la formación de los frutos, sin embargo las pruebas para comprobar este hecho son insuficientes.

Durante el año, una vez que se encuentran frutos enfermos o infectados, se cree que ocurren varias infecciones secundarias durante las épocas lluviosas. No es claro hasta qué punto pueden ser diseminadas las esporas a partir de las fuentes de inóculo, sin embargo ya se han sugerido distancias de hasta de 1 km (Evans, 1981; Lopes y Martins, 2005), mientras que otros autores más conservadores han limitado tal diseminación a distancias entre 30 y 375 m (Lopes y Martins, 2005).

En Colombia, el ciclo de la enfermedad de la moniliasis puede iniciar en cualquier época del año, debido a que la fuente de inóculo primario es de presencia constante, debido a la distribución de los ciclos de lluvia a lo largo del año, con una correlación positiva entre la incidencia de la moniliasis y la lluvia ocurrida dos meses atrás (Merchán, 1981). Sin embargo, las épocas críticas se presentan entre noviembre–enero y marzo–julio (figura 22), cuando inicia la floración y los frutos se encuentran en estados de mayor susceptibilidad.

## Rango de hospederos

*Moniliophthora roreri* ha sido reportado solamente en especies de los géneros *Theobroma* y *Herrania*. Rorer en 1918 reportó el ataque de frutos de *T. bicolor* y *H. balaensis* en Ecuador. Baker *et al.* (1954) reportaron infecciones en *T. gireli*. Además, Evans (1981) reportó infecciones de *M. roreri* en *T. mammosum*, *T. simiarum*, *T. sylvestre*, *T. angustifolium*, *H. nítida*, *H. pulcherrima*. Posteriormente, Enríquez y Soria (1981) identificaron el patógeno en *T. grandiflora* y *H. purpurea* (Cuhn, 2006).



**Figura 22.** Comportamiento de la moniliasis del cacao en Santander (Colombia) desde junio de 2005 hasta junio de 2008.



# MANEJO DE ENFERMEDADES DEL CACAO EN COLOMBIA

## INTRODUCCIÓN

Las enfermedades de las plantas son el resultado de su interacción con el ambiente, el hospedero y una variedad de organismos patogénicos, que en condiciones ambientales favorables potencializan su severidad. En el cacao, el cultivo se establece en climas caracterizados principalmente por tener una cantidad y distribución de lluvias variable durante todo el año, con presencia o ausencia de estaciones secas de diferente duración y/o magnitud.

En el caso específico de Colombia, la alternancia entre períodos secos y períodos húmedos, ya sean largos o cortos, intervienen en el ciclo vegetativo y productivo de la planta, que permanentemente están ofreciendo patios de infección a los principales patógenos que afectan el cultivo. Esta alternancia de procesos de desarrollo de la planta contribuye a mantener varios ciclos de los patógenos que pueden ser endémicos o epidémicos, llevando múltiples fuentes de inóculo, situación que hace del manejo de las enfermedades del cacao un verdadero desafío.

Se infiere entonces que el manejo de las enfermedades del cacao no debe ser afrontado con un solo método sino con un manejo integrado del cultivo, involucrando varias herramientas de control. El enfoque moderno de manejo de enfermedades debe tener una connotación más amplia, en el que se contemplen criterios de seguridad ambiental, sanidad biológica y viabilidad económica, enmarcado dentro del concepto de manejo integrado del cultivo.

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRESENCIA DE ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE CACAO

Los factores que favorecen la presencia de enfermedades en el cultivo de cacao se relacionan de forma directa con la susceptibilidad del material seleccionado y el manejo agronómico inadecuado a las condiciones agroecológicas de la región.

### Material genético

La modernización del cultivo de cacao en Colombia ha sido orientada hacia el establecimiento de materiales clonales de alta eficiencia productiva, la mayoría de ellos introducidos, tales como: ICS1, ICS95, ICS39 y TSH565. Sin embargo, para el caso de monilia y escoba de bruja, los materiales introducidos presentan desde mediana a alta susceptibilidad, con excepción de TSH 565, el cual es resistente a escoba de bruja.

Con el fin de aprovechar la alta calidad y la eficiencia productiva de los clones susceptibles, los resultados de investigación de la unión temporal Corpoica-Fedecacao

(2004–2009) recomiendan establecer las plantaciones a unas alturas superiores a los 800 msnm, donde la monilia y la escoba de bruja presentan menor incidencia y severidad.

Además, es importante utilizar clones para patronaje con comprobada resistencia (caso específico de *Phytophthora* sp.), tales como: P 7, IMC 67, UF 613, Pa 46 y 150 (Nyassés *et al.*, 2007). En cultivos ubicados en lotes bajos y húmedos, el injerto se debe hacer entre 40 y 50 cm de altura, especialmente para CCN 51.

### Precipitación y humedad relativa

La franja óptima de precipitación anual para el cultivo de cacao está entre 1.500 a 2.500 mm. Si es superior a 2.500 mm existe mayor riesgo de incidencia de enfermedades criptogámicas. Si es inferior a 1.500 mm el peligro está referido al ataque de insectos, especialmente del complejo *Xileborus* sp. - *Ceratocystis fimbriata*. En estas condiciones, es muy riesgoso establecer plantaciones con clones de origen criollo, tal como el ICS 1 y el ICS 6. La humedad relativa debe ser mayor a 70%.

Los altos contenidos de humedad en el ambiente del cultivo, ya sea en forma de lluvia, rocío o humedad relativa > 90%, se convierte en un factor predisponente para el desarrollo de las enfermedades causadas por oomycetes (tal como *Phytophthora* sp.) y hongos (tales como *M. perniciosa* y *M. roreri*). La humedad no sólo promueve el crecimiento de tejido vegetal nuevo, sino también el incremento de la esporulación de los hongos, facilita la liberación de esporas y el movimiento de las zoosporas de los oomycetes. La presencia de altos niveles de humedad por tiempos prolongados conduce a epidemias y la presencia de vectores, los cuales ayudan a la diseminación de la enfermedad (Agrios, 2003).

### Temperatura

La temperatura media anual requerida para el cultivo de cacao está alrededor de 24° C, nunca debe exceder de 30° C. Es importante que el cambio brusco de temperatura entre el día y la noche no sea superior a 9° C. Las bajas temperaturas de la noche permiten la formación de rocío sobre el tejido vegetal, favoreciendo la germinación de las esporas de los patógenos entre 4 y 8 a.m., cuando las temperaturas son más altas. Las temperaturas inferiores a 17° C en épocas húmedas favorecen el desarrollo de *Phytophthora* sp., y el ataque a frutos en cultivares susceptibles, como el clon CCN 51. C

### Altitud

En Colombia, las plantaciones de cacao se encuentran desde 30 msnm hasta 1.300 msnm y en Santander la mayoría de ellas están en altitudes entre 800 y 1.200 msnm (García *et al.*, 2006). A partir de los 800 msnm la incidencia y severidad de escoba de bruja y moniliasis es menor, aunque existe una mayor susceptibilidad a *Phytophthora* sp., por el descenso de la temperatura en la noche.

### Suelo

La humedad del suelo es el mayor limitante, ya que suelos mal drenados favorecen la presencia de microorganismos patogénicos que ocasionan pudrición y muerte de las raíces.

Un adecuado suelo para el cultivo del cacao requiere: (1) valores de pH cercanos a 6,2; (2) sumas de bases alrededor de 12 cmol/100 g; (3) contenido de fósforo (P) de 20-25 mg/dm<sup>-3</sup>; (4) saturación de bases cercana a 60%; (5) materia orgánica por encima de 3,5%; (6) relación calcio:magnesio en la capa del suelo entre los primeros 0 a 15 cm aproximada a 4; (7) la relación Ca + Mg/K mayor a 25 y (8) ausencia de limitaciones físicas (Días, 2001).

Es importante resaltar que un suelo bien drenado reduce el número y la actividad de algunos patógenos oomycetos. Además, la apropiada fertilización o enmiendas del suelo de acuerdo con los valores recomendados para la planta pueden conducir a cambios del pH y disponibilidad de nutrientes para el hospedero, influenciando desfavorablemente el desarrollo de los patógenos.

## Densidad de la plantación

La alta densidad de plantas sumado a altos contenidos de nitrógeno y bajos contenidos de potasio en la planta, y una madurez prematura de híbridos hacen que las plantas sean más susceptibles a las enfermedades. En contraste, la balanceada fertilización de nitrógeno y potasio y baja densidad de plantas en el campo desfavorecen los patógenos, y dependiendo de la resistencia de los materiales vegetales sembrados facilitarán el control de patógenos.

## Sombrío

En la actualidad se recomienda el establecimiento de cultivos de cacao bajo sistemas agroforestales, mediante el uso de maderables en barreras. Al igual que el cultivo de cacao, se deben implementar podas que permitan regular la intensidad de luz que no interfieran en la aireación de la plantación. El cacao requiere sombra, su crecimiento en niveles normales de luz puede permitir que se presenten síntomas severos de las enfermedades. Sin embargo, poco o ningún nivel de luz también favorecen el desarrollo de las enfermedades, ya que el microclima que se presenta al interior del cultivo puede favorecer el desarrollo de los patógenos del cacao.

## Arvenses

El manejo técnico de las arvenses o mal llamadas malezas determina la diversidad de la entomofauna, necesaria en primera instancia para mantener un nicho para los insectos polinizadores y además, una población de insectos que contribuyan a la transformación de la cantidad de biomasa (hojarasca) que generan tanto los sombríos como el cacao.

Por lo tanto, se debe permitir la presencia de arvenses de hoja ancha y porte bajo; el adecuado manejo de las arvenses, también contribuye a evitar el salpique de las gotas de lluvia que pueden llevar suelo infestado con propágulos de *Phytophthora* sp.

## Nutrición

La nutrición correcta del cultivo es indispensable para afrontar de una mejor forma los factores adversos y desde el punto de vista de los rendimientos y la rentabilidad, es garantía de una población competitiva. Además, las plantas bien nutritas tienen mayor resistencia a las enfermedades.

## Cosecha

Una cosecha bien realizada y oportuna, evita el daño y pérdida de frutos, además contribuye a la reducción de fuentes de inóculo, con lo cual se mantiene la sanidad del cultivo. Para el caso específico de monilia, la cosecha en época de alta producción, se debe realizar con una frecuencia de 8 días.

## MÉTODOS DE CONTROL DE LAS ENFERMEDADES

Existen varios métodos o prácticas de control que buscan erradicar o reducir la cantidad de inóculo presente en un área, planta o parte de la planta (semilla o yemas vegetativas); estos métodos son:

- **Control cultural:** este método depende de acciones como la erradicación del hospedero, la rotación de cultivos, la creación de condiciones desfavorables para los patógenos (poda de mantenimiento, fertilización, remoción de frutos y tejido enfermo), coberturas con polietileno, riego, formación de la hojarasca, y en algunas ocasiones labranza mínima en la preparación del terreno.

Otros tratamientos a tener en cuenta en el control cultural son la esterilización del suelo, tratamiento con calor o frío de los órganos de la planta (termoterapia), refrigeración y radiaciones de rayos alfa, beta, gamma y X, algunos de estos dependientes de condiciones tales como el calor o frío (Agrios, 2003).

- **Control químico:** este método depende del uso o empleo de sustancias químicas para reducir la población del patógeno. Puede ir dirigido al tratamiento del suelo, mediante la fumigación del suelo y de las semillas (Agrios, 2003). También se pueden realizar aplicaciones foliares, tratamiento de frutos, tronco, ramas, y dosel del árbol. El tipo de sustancias químicas a emplear depende del nivel de daño del patógeno, por lo que en algunas ocasiones se usa como medida preventiva sustancias protectantes o terapia local con fungicidas sistémicos como medida curativa.

- **Control biológico:** este método implica el uso de organismos vivos para reducir el inóculo del patógeno. Un ejemplo de este método es el empleo de plantas trampa y el uso de organismos antagonistas. También implica el empleo de enmiendas que potencien los microorganismos nativos presentes en condiciones naturales. En el caso específico de los microorganismos antagonistas, estos actúan inhibiendo el crecimiento del patógeno ya sea mediante la producción de antibióticos o toxinas y mediante el parasitismo de las estructuras del patógeno directamente. Otra forma de actuar de estos microorganismos es la competencia por espacio o nutrientes, lo cual también limita el crecimiento del patógeno (Agrios, 2003).

- **Control genético:** este método implica la identificación y selección de materiales vegetales o plantas con cierto grado de resistencia a la enfermedad, ya sea que esta resistencia se haya adquirido por selección natural o mediante ingeniería genética.

La resistencia, al igual que otras características, puede ser cuantitativa o cualitativa. La selección de los materiales se debe realizar de acuerdo con la **resistencia cuantitativa (RC)**, definida como una resistencia que varía entre varios fenotipos de una población de plantas, la cual puede ir desde imperceptible (sólo una leve reducción del crecimiento del patógeno) a muy fuerte (poco crecimiento del patógeno). En otros términos, la RC puede ser parcial, residual o resistencia

en campo, que a menudo es mal definida como tolerancia. Esta resistencia es monogenética, incompleta, oligo o poligénica heredable. La evaluación de RC debe determinarse en campo, e incluir, en el caso de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, las mediciones de producción de esporas por unidad de área del hospedero y la frecuencia de las infecciones, trabajos que a menudo se tornan muy laboriosos (Ribeiro *et al.*, 2001).

Los métodos mencionados anteriormente constituyen las herramientas clásicas de manejo. Sin embargo, el éxito y manejo adecuado de las enfermedades se logran con la implementación de un programa de manejo integrado de plagas (MIP). El MIP debe integrar todas las técnicas y métodos disponibles, de tal manera que sean compatibles y permitan mantener las poblaciones del patógeno en niveles que no causen daño económico. Además, este MIP debe basarse en resultados de investigación previa a su implementación comercial, para lo cual se requiere especificar los tiempos y frecuencias de aplicación de cada técnica o método.

### MANEJO DE LA MAZORCA NEGRA (*Phytophthora* sp.)

En el país no se ha documentado el registro y el nivel de pérdidas por *Phytophthora* sp., tanto en parcelas comerciales como experimentales. Tampoco existen estudios puntuales que determinen las especies de *Phytophthora* que están atacando el cultivo de cacao, como cáncer en el tronco o daño al fruto. En la mayoría de los casos las pérdidas de frutos se relacionan en el grupo de otras causas, dando a entender que el nivel de pérdidas por esta causa es muy bajo.

Barros (1981) indica que la enfermedad ha tenido poca importancia en el país y que en ninguna de las áreas productoras se ha registrado una pérdida superior al 5%, aduce que esta resistencia moderada se debe al material genético, en este caso a los híbridos con base en SCA 6 y 12, IMC 67, P 7 y Pa.

La mazorca negra es de difícil control por la persistencia de las especies de *Phytophthora*, tanto en el suelo como en los residuos de cosecha (figura 23 A). Para



**Figura 23.** Disposición de residuos de material vegetal infectado o de cosecha en cacao (A) manejo inadecuado; (B) manejo adecuado.

alcanzar el éxito en el control de la enfermedad, la principal estrategia es la reducción de las fuentes de inóculo primario y secundario de *Phytophthora* sp., a través de la implantación del manejo integrado (Guest, 2007).

A continuación se describen los métodos para el manejo de la mazorca negra:

- El método más utilizado es el **control cultural**, que involucra labores para adecuar la sombra y el tamaño del dosel de los árboles de cacao, con lo cual se permite la entrada de luz y el flujo de aire dentro del cultivo. También, incluye el uso de distancias de siembra adecuadas, las podas en la época establecida para cada región, el control de arvenses y la oportuna cosecha. Algunas de estas prácticas son usadas por los agricultores para estimular la floración y favorecer el desarrollo de las mazorcas.
- Otras labores culturales que implica el control sanitario de esta enfermedad tienen que ver con la recolección frecuente y disposición adecuada de las mazorcas momificadas e infectadas y las cacotas (figura 24 B), con esta labor se reduce el nivel del inóculo y los vectores (insectos) del patógeno. Estos residuos se incorporan a la hojarasca con abonos orgánicos, tales como la gallinaza o con inorgánicos como la cal, con el fin de incrementar la acción de los microorganismos benéficos, que aceleran su descomposición.
- La remoción de hormigueros y de tejido afectado por *Phytophthora* sp., son prácticas sanitarias importantes, ya que evitan la dispersión del inóculo. De igual manera, la presencia de hojarasca y cobertura impide la diseminación de la enfermedad ya que amortiguan las salpicaduras de la lluvia y promueven la riqueza de poblaciones microbianas que favorecen la descomposición de los tejidos infectados por *Phytophthora* sp. (Guest, 2007).
- Otro método empleado para manejar la mazorca negra en las zonas cacaocultoras de África y Brasil es el **control químico**; éste usa sustancias protectantes a base de cobre, junto con fungicidas sistémicos a base de metalaxyl. Las inyecciones de sales de fosfato de potasio resultan ser una medida de control químico muy eficaz, especialmente para el control del cáncer ocasionado sobre troncos y ramas (Guest, 2007).
- En los últimos años se han adelantado investigaciones en **control biológico** con resultados promisorios in vitro, pues no existen productos comerciales. Los resultados sugieren que las poblaciones de hongos endófitos presentes en los tejidos del cacao pueden proteger al árbol cuando éstos son aislados, seleccionados y reintroducidos al sistema del cultivo en un tamaño de población más grande, la cual protege contra *Phytophthora* sp. (Guest, 2007); tal es el caso de especies de *Geniculosporium*, que fueron aisladas de hojas sanas de cacao en Camerún (Tondje et al., 2006).
- Otro método de control estudiado es el **manejo genético** aún sin resultados promisorios. En la actualidad se adelantan varios esfuerzos por seleccionar y desarrollar materiales resistentes.

### **Labores necesarias para el manejo de *Phytophthora* sp.**

- Haga énfasis en un correcto manejo de la humedad y podas de mantenimiento de la planta.
- Remueva los frutos enfermos en las mismas épocas y frecuencias establecidas para monilia.

- Evite heridas al tronco y ramas por el uso inadecuado de las herramientas.
- Al final de cada cosecha (cada 6 meses), revise con detalle las plantas con el fin de identificar los posibles cánceres en cuello, tronco y ramas primarias. En casos muy avanzados de cánceres o árboles muertos, se cortan y queman los residuos.
- Para tratar los cánceres de manera curativa, elimine los tejidos enfermos mediante cirugía y aplique con brocha fungicidas sistémicos a base de Metalaxil al 0,25% o inyecciones de sales de fosfato (figura 24).
- En casos extremos de infección, en cultivos empresariales o monocultivos del clon CNN 51 de reconocida susceptibilidad a la enfermedad, aplique productos a base de cobre.



Figura 24. Tratamiento de cáncer en tronco causado por *Phytophthora* sp. (A) cáncer (B) cirugía o eliminación de tejido necrosado (C) tejido color salmón afectado por el patógeno (D) aplicación de mascarilla o cobertura con fungicida

### **MANEJO DE ESCOBA DE BRUJA (*Moniliophthora perniciosa*)**

Esta enfermedad después de su detección, en las décadas de 1970 y 1980, empezó a invadir las principales zonas cacaoteras del país, afectando severamente todas las plantaciones antiguas, establecidas con semilla común. En esa época se pensaba que la escoba de bruja era más grave que la monilia. Sin embargo, con el transcurrir de los años, los materiales SCA 6 y 12, IMC 67 y P 7 cruzados con clones trinitarios, ofrecieron diferentes grados de resistencia, evitando la devastación de los cultivos.

Durante ese periodo, el ICA realizó una serie de investigaciones en el Urabá y eje cafetero y la Universidad Nacional en el piedemonte llanero (Meta), en aspectos básicos de epidemiología y biología de *M. perniciosa* que concluyeron en una serie de recomendaciones para el manejo de la enfermedad. Estas recomendaciones se basaron principalmente en prácticas culturales y control genético con híbridos que brindan algún nivel de resistencia.

El manejo de *M. perniciosa* en cacao ha recibido gran atención desde inicios del siglo XX. En general, se han definido cuatro estrategias principales, a saber: sanidad, el control químico, la resistencia genética y el control biológico. Con la remoción de 95% de tejido afectado se reduce la pérdida de mazorcas en 50%. Sin embargo, se considera una práctica tediosa y costosa (Rudgard y Butler, 1987; Meinhart *et al.*, 2008).

#### • **Control químico**

El empleo de fungicidas protectantes y sistémicos no es una práctica rutinaria en la producción de cacao, debido a los altos costos y a los riesgos asociados con la contaminación del grano, la salud de los trabajadores y la conservación del medio ambiente. Además, muchas de las investigaciones concernientes al empleo de fungicidas para el control de las enfermedades de cacao no han sido consistentes ni contundentes (Meinhart *et al.*, 2008).

#### • **Control genético**

Existe un número de accesiones tanto de cacaos silvestres como aquellos seleccionados por los agricultores según su resistencia a *M. perniciosa*. Entre los materiales considerados altamente resistentes se encuentran los scavina SCA 6 y SCA 12. La resistencia de los clones SCA parece ser de mayor durabilidad, según observaciones realizadas en Trinidad durante cincuenta años. Sin embargo, también existe un fuerte efecto de la localidad o zona sobre los clones SCA y la progenie derivada de éstos.

Se ha observado que los clones resistentes en Brasil y Trinidad son susceptibles en Ecuador (Bartley, 2001; Meinhart *et al.*, 2008), lo que sugiere que el mejoramiento de materiales de cacao se debe realizar teniendo en cuenta las variaciones geográficas entre los aislados del patógeno. Además se encontró que la resistencia del clon SCA 6 está dada por un gen mayor recesivo (Meinhart *et al.*, 2008).

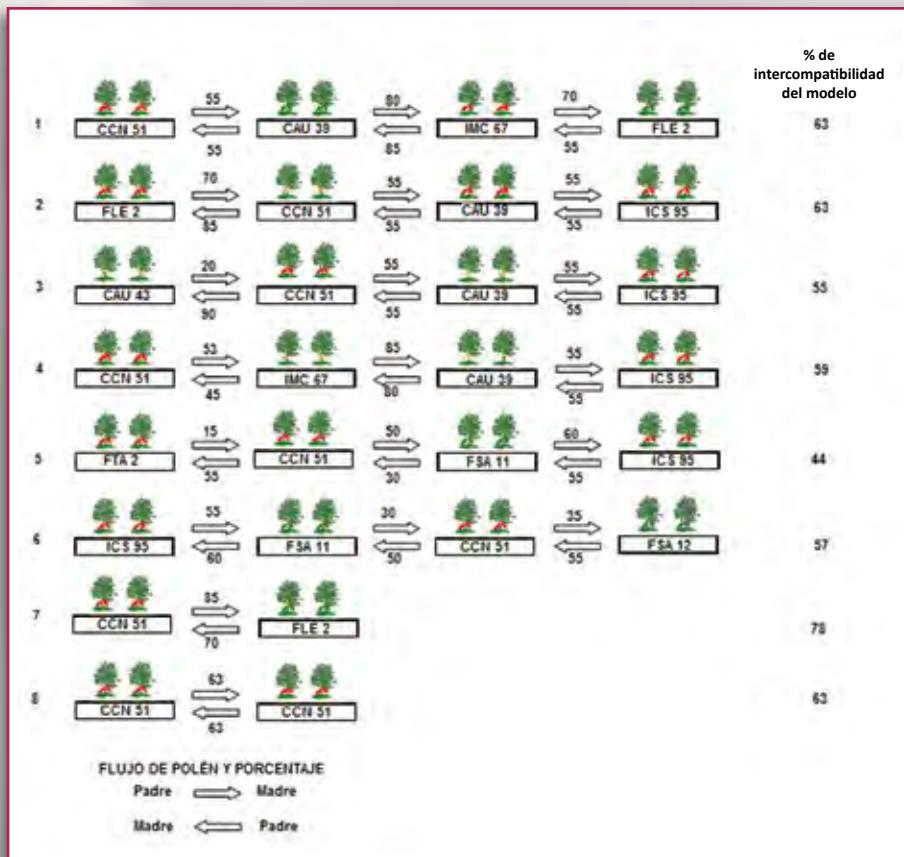
#### • **Control biológico**

Otro método de control de la escoba de bruja, en el cual se ha avanzado en los últimos años, es el control biológico. Se ha encontrado que especies microbianas endófitas habitan en diferentes tejidos de la planta de cacao, incluidas las raíces, los troncos, los tallos y las flores. Entre los hongos endófitos asociados con cacao se encuentran principalmente *Gliocladium catenulatum*, *Trichoderma stromaticum*, *T. viride* y *T. polysporum*. En el caso de *G. catenulatum* mostró reducir los síntomas de la escoba de bruja en condiciones de invernadero (Rubini *et al.*, 2005). *T. stromaticum* es un micoparásito de basidiocarpos de *M. perniciosa* (Sanogo *et al.*, 2005).

### **Labores para el manejo de escoba de bruja (*M. perniciosa*)**

- Es imprescindible reducir y mantener la altura de las plantas de cacao, a un límite de 3,5 m.

- Realizar mínimo dos podas de mantenimiento a finales o comienzo de los períodos secos, es decir, entre los meses de febrero–marzo y julio–agosto.
- Durante y después de las podas se debe hacer una revisión y remoción de tejidos enfermos o escobas y frutos.
- En las plantaciones (jóvenes o adultas) donde la enfermedad se detecte por primera vez es prudente hacer observaciones más frecuentes (igual que para el manejo de monilia) y retirar inmediatamente e incinerar o enterrar el material.
- Para zonas boscosas, húmedas, bajas, cálidas y apartadas es conveniente establecer plantaciones con semilla híbrida. Dentro de estas zonas se encuentran la Costa Pacífica y el Urabá chocoano. Para estas mismas zonas y las partes bajas del Magdalena Medio, en las que se decida sembrar clones, se deben establecer los modelos diseñados con materiales que han demostrado tener algún grado de resistencia a la enfermedad (figura 25).
- No se debe recomendar control químico con fungicidas sistémicos, ya que en Brasil, Ecuador, Perú y Colombia se ha comprobado una gran diversidad de microorganismos nativos que están ejerciendo un control natural.



**Figura 25.** Modelos de materiales clonales de cacao por resistencia a monilia y escoba de bruja.



# **ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LA MONILIASIS (*Moniliophthora roreri*)**

## **INTRODUCCIÓN**

El manejo integrado de plagas (MIP) consiste en agrupar principios basados en aspectos ecológicos, económicos y en teorías sociológicas. El MIP puede ser definido como un sistema integrado, que en el contexto del medio ambiente está asociado a la dinámica poblacional de la plaga o patógeno. Éste utiliza todas las técnicas o métodos adecuados y compatibles, de tal modo que permita mantener las poblaciones del patógeno o plaga en niveles inferiores a los que causan daño económico (FAO, 1967). Además, los métodos para reducir las plagas deben ser económicamente viables y ambientalmente aceptables. En la práctica, el MIP tiende a reducir la aplicación de pesticidas en áreas donde son comúnmente empleados (Irwin, 1999).

El MIP puede ser visto desde tres niveles de organización: un banco de conocimientos básicos que incluye la información fundamental; unas herramientas o armas para suprimir las poblaciones de la plaga, retardar el progreso o reducir la incidencia de la enfermedad, y cada tipo de arma es a menudo considerada como una táctica; y la capacidad de emplear estas herramientas para manejar la enfermedad. La puesta en ejecución de estas tácticas es lo que se considera una estrategia integrada (Irwin, 1999).

El MIP es un enfoque en el cual se maximiza el control natural de las poblaciones de una plaga o patógeno, basándose en el conocimiento de la biología del organismo, su ambiente, los enemigos naturales y las prácticas de agricultura. Además, se debe implementar con la siembra de variedades o clones resistentes, como es el caso del ICS 95. Cuando la enfermedad ya se encuentra por encima del umbral económico, en el caso de la moniliasis, se debe sembrar el clon ICS 95, como técnica o estrategia de control. La implementación de un MIP debe basarse en la integración de los conceptos básicos como son escape, exclusión, erradicación, protección, resistencia y terapia (Peshin y Dhawan, 2009).

## **COMPONENTES DE UN MANEJO INTEGRADO DE LA MONILIASIS**

### **Control cultural**

Las prácticas culturales y de manejo del cultivo permiten la manipulación del medio ambiente para generar condiciones menos favorables al desarrollo de la enfermedad; estas condiciones se logran mediante una modificación de las prácticas regulares del agricultor. Este es el método más importante para reducir la tasa de incremento de *M. roreri* y las pérdidas de la cosecha, logrando alta productividad.

En Colombia, los primeros trabajos para el control cultural sistemático y organizado de la moniliaisis los inició el ICA a finales de la década de 1960, cuando se demostró que el control de la sombra, las podas frecuentes y suaves del árbol, la remoción periódica y la destrucción de frutos enfermos ofrecen un control satisfactorio de la enfermedad (Barros, 1977).

Posteriormente, entre las décadas de 1970 y 1980 se continuaron las investigaciones que permitieron el ajuste del método del manejo cultural; se definieron las épocas y frecuencias de remoción de frutos, teniendo en cuenta la sintomatología de la enfermedad, y se definió como mejor frecuencia la remoción semanal (Cubillos y Aranzazu, 1979). También, se implementó la metodología de podas fuertes y reducción de altura como alternativa para rehabilitar las plantaciones y reducir la incidencia y severidad de la monilia (Aranzazu, 1990).

Estas prácticas de control pueden no influir directamente en la mortalidad del patógeno, pero están orientadas a prevenir la aparición y brotes de la enfermedad. El control cultural está asociado a métodos mecánicos, e involucra también otros aspectos del cultivo y manejo del suelo. A continuación se describen los métodos de control cultural a incluir en la estrategia de manejo integrado de la moniliaisis:

- **Arreglos agroforestales:** el crecimiento de dos o más cultivos en el mismo terreno es una práctica común en la agricultura de subsistencia, en muchos países tropicales. Una ventaja inherente de los sistemas de cultivos múltiples es el aumento de la biodiversidad y el incremento de la calidad y cantidad de los enemigos naturales, con lo cual se provee mayor estabilidad al agroecosistema (Peshin y Dhawan, 2009).

Las plantaciones múltiples con cacao se establecen en un sistema multiestrata, donde se involucran una o más especies de árboles de copa alta y el cacao. El sombrío provisto al inicio del establecimiento de árboles de cacao incrementa las ventajas biofísicas para la producción.

Se presume que el aumento de la producción en estos sistemas, resulta del mejoramiento de los recursos asociados con los procesos comunes del agroecosistema, como son la eficiencia en el ciclaje de nutrientes, el mejoramiento de las características del suelo, la modificación de la infiltración de la luz, el realce en la disponibilidad de humedad y la reducción de la competencia por arvenses (Hartemink, 2005; Isaac *et al.*, 2007).

Un elemento importante para el control de plagas y enfermedades en sistemas agroforestales es el manejo de la sombra. El nivel óptimo de sombra depende de las condiciones ambientales y de los problemas fitosanitarios que limitan la producción en el ámbito local. El manejo de la sombra debe ir dirigido a reducir los estreses fisiológicos (Schoroth *et al.*, 2000).

Además, los árboles forestales utilizados como sombrío pueden reducir la velocidad del viento y la evotranspiración; en consecuencia decrece el estrés por humedad y por temperaturas del aire externo y del suelo en la época seca. Esto es esencial para el establecimiento y supervivencia de plántulas de cacao en ambientes estacionalmente secos y húmedos, ya que son altamente susceptibles a la deshidratación (de Almeida y Valle, 2007).

Otro efecto del sombrío sobre el cacao es la reducción de la radiación, lo que influye en la tasa fotosintética. La alta radiación, la alta temperatura y la alta tasa

del metabolismo traen como consecuencia para las plantas altos requerimientos de agua, nutrientes y labores culturales.

- **Poda:** la poda es una práctica cultural que debe ir acompañada de fertilización, riego y el control de plagas y enfermedades. Las razones para realizar la poda son: (1) estimular el crecimiento de brotes vegetativos; (2) remover el material vegetal senescente, con daño mecánico o enfermo; (3) manipular el microclima del dosel del árbol de cacao; (4) mejorar la floración; (5) incrementar la producción de frutos. La poda también se debe realizar a los árboles de sombrío en la plantación.

En cacao existen dos tipos de poda: la de formación y la de mantenimiento. La poda de formación requiere ser dirigida por un experto o abstenerse de hacerla en caso de desconocimiento ya que puede ocasionar daños irreversibles sobre las plantas de cacao. La poda de mantenimiento requiere de la remoción de ramas ortotrópicas que crecen desde la base del tallo o ramas improductivas (comúnmente denominadas chupones), así como la eliminación de ramas enfermas o secas que en algún momento del año crecen hacia la parte central (Días, 2001).

Resultados experimentales indican que la poda de mantenimiento es indispensable para obtener altas producciones. En plantaciones donde se practica una correcta poda de mantenimiento, se incrementa significativamente el número de flores y frutos en comparación con árboles no podados. La práctica de la poda es importante en plantaciones establecidas con clones, para corregir y levantar el dosel de los árboles (Días, 2001).

La poda se hace desde el interior hacia el exterior de la planta, se eliminan las ramas cruzadas y no se dejan espacios para evitar la necrosis del tronco y la alta incidencia de malezas que aparecen como consecuencia de la luz solar directa (Días, 2001).

En Colombia, se recomienda dos podas al año, inmediatamente después de la cosecha, con el fin de preparar los árboles para la siguiente producción.

- **Cosecha oportuna:** es necesario recolectar las mazorcas en el grado de madurez adecuado y aprovechar para identificar y eliminar frutos momificados adheridos a las ramas y troncos de los árboles.
- **Fitosanidad:** son prácticas que definen el potencial de dispersión de una plaga o patógeno; involucran la recolección o eliminación de material enfermo. El control de la moniliasis incluye medidas de remoción y destrucción de mazorcas enfermas, las cuales son fuente potencial para la dispersión de *M. roreri*. Integrar estas mazorcas a la hojarasca acelera los procesos de desintegración del material vegetal y permite que microorganismos involucrados en el proceso de descomposición de la materia orgánica actúen con agentes biocontroladores del patógeno. Estos organismos producen metabolitos que pueden tener acción biocida o inhibidora de crecimiento y desarrollo del patógeno.

Otra práctica importante es el lavado y desinfección de las herramientas empleadas en las tareas de remoción del material enfermo.

- **Fertilización y riego de los suelos:** en Colombia, la fertilización en cacao es una práctica poco frecuente; sin embargo, la mayoría de los suelos cacaoteros

presentan deficiencias de nutrientes a causa de la baja fertilidad o la degradación del suelo. Esto afecta la salud del cultivo por reducción de la resistencia o tolerancia a las plagas y enfermedades (Schroth *et al.*, 2000).

La inadecuada o nula fertilización del cultivo causa el desbalance nutricional, ya que se presentan antagonismos entre ellos, tal es el caso de las relaciones entre el calcio, el magnesio y el potasio, al igual que de micronutrientes. La fertilización de cualquier cultivo debe iniciar con el análisis del suelo, procediendo al ajuste de la acidez y finalmente a la aplicación de los fertilizantes (Malavolta, 1993).

A pesar de la relativa tolerancia del cacao al aluminio, es indispensable encalar en suelos ácidos, con lo cual se corrige la acidez y se aportan cationes como el calcio y el magnesio, que mejoran la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y se incrementa la absorción de los macronutrientes aplicados; además, se acelera la tasa de descomposición de la materia orgánica. Por ello, es ineficiente la fertilización en suelos ácidos, por su baja utilización y aumento de los costos de producción, sin obtener una ganancia razonable del rendimiento (Hartemink, 2005).

La investigación y la experiencia han demostrado que los efectos de la luz y la nutrición en plantaciones de cacao están ligados. Por tal motivo, un programa para la fertilización de cacao debe tener en cuenta los siguientes factores: el análisis del suelo, el nivel o intensidad de la sombra y la producción esperada. El estado nutricional de los árboles se evalúa mediante monitoreo de cada variable a través de los análisis de suelo y foliares.

El adecuado suministro de potasio reduce los efectos adversos por estrés de agua (De Almeida y Valle, 2008). De otra parte, un exceso de K y N favorece el ataque de insectos plagas, principalmente porque se incrementan los contenidos de aminoácidos libres en la planta (Marschner, 1995; Schroth *et al.*, 2000).

El cultivo de cacao es sensible a la falta de humedad en el suelo y esta deficiencia puede causar problemas. La cantidad y la distribución de la producción de cacao están más determinadas por las lluvias que por otros factores ecológicos. En años secos, los árboles más afectados por estrés hídrico son los que se encuentran en suelos con baja capacidad de amortiguación y bajo contenido de materia orgánica (Días, 2001).

La escasez de estudios sobre cómo influye la humedad del suelo sobre la producción de las plantaciones de cacao puede deberse a que el cacao crece principalmente en regiones donde el balance hídrico es positivo, es decir, las precipitaciones anuales superan las pérdidas de agua por evapotranspiración. En regiones donde la precipitación está por debajo de los 1200 mm anuales, el cacao sólo puede desarrollarse con éxito bajo riego (Días, 2001).

Los cultivares de cacao equipados con un eficiente mecanismo de regulación estomática pierden menos agua mediante la transpiración en condiciones de estrés de agua, lo que indica una importante estrategia de adaptación de estas plantas. La tolerancia a la sequía en el cacao se puede explicar principalmente por la eficiente regulación estomática, la cual se evidencia por el mantenimiento de la turgencia de las hojas (Días, 2001).

## Control legal

Nuevas plagas e insectos son a menudo introducidos desde fuentes de infestación de una región a otra, dentro o fuera del país, debido al movimiento de las personas,

las mercancías y los equipos contaminados. Las plantas y productos vegetales que ingresen al país deben estar libres de plagas y enfermedades; en caso de especies infectadas, se prohíbe su introducción.

El transporte de material vegetal de cacao de América Latina hacia África se considera un riesgo potencial debido a la introducción de los agentes causales de la escoba de bruja y la moniliasis, enfermedades que no existen en el continente africano. De igual manera, existe el riesgo potencial de introducir el virus del rebrote hinchado y *P. megakarya* desde el continente africano hacia los países Latinoamericanos.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) establece en la resolución N° 003434 del 2004 las normas para la producción, distribución y comercialización de material de propagación de cacao. Sin embargo, no existe una legislación para el control de plantaciones abandonadas o aquellas donde no se ejerce control de la moniliasis, con lo cual las convierten en fuentes de inóculo de *M. roreri*, propagando la enfermedad. Por esto, es importante revisar y determinar qué medidas fitosanitarias aplican y serían pertinentes para lograr que un programa de manejo de la moniliasis sea exitoso en el ámbito nacional.

## Control biológico

Uno de los enfoques más exitosos del manejo integrado de plagas sin químicos es el control biológico, considerado valioso en los programas de manejo integrado de plagas (MIP). Sin embargo, el control biológico o biocontrol surgió hace pocas décadas con el desarrollo del MIP como una práctica eficiente para el manejo de plagas o enfermedades (Peshin y Dhawan, 2009).

El control biológico implica el empleo de organismos vivos o virus que regulan la incidencia de insectos plaga o patógenos. En los últimos cien años se ha visto un rápido incremento en su conocimiento y empleo, lo que ha permitido manipularlos como parte de un sistema efectivo y seguro para el manejo de plagas o enfermedades (Peshin y Dhawan, 2009).

En la actualidad, el control biológico enfatiza en la conservación de los enemigos naturales, los cuales se encuentran en los ecosistemas naturales, generando un equilibrio entre las poblaciones de organismos presentes (Peshin y Dhawan, 2009). Estos organismos son de gran interés por su potencial como agentes de control biológico (ACB) y por su adaptabilidad a los diversos factores bióticos y abióticos de un agroecosistema. Esto se debe a que los enemigos naturales han coevolucionado en el sistema, proveyendo por sí mismos un significativo nivel de control de las poblaciones de patógenos.

Las interacciones de los biocontroladores con el patógeno involucran numerosos mecanismos, entre éstos el sinergismo, el cual define la capacidad de estos organismos de suprimir la enfermedad. Sin embargo, la durabilidad del control o supresión de la enfermedad está definida por la capacidad de establecimiento y adaptación del microorganismo al medio ambiente circundante (Emmert y Handelsman, 1999). Por ende, la sostenibilidad del control biológico en un agroecosistema va a depender del conocimiento de los mecanismos de acción del biocontrolador, el medio ambiente circundante y la complejidad de la comunidad microbiana en la parte aérea de la planta (Jeger *et al.*, 2009).

Acorde con lo descrito por Backman *et al.* (1997), la eficiencia de un ACB depende de muchos factores, como: la especificidad del hospedero, la dinámica de la población,

los patrones de colonización del hospedero, la habilidad para movilizarse dentro de los tejidos y la habilidad para inducir resistencia sistémica en la planta (Melnick *et al.*, 2008). El conocimiento de la naturaleza de un agente de biocontrol y de sus mecanismos permite asegurar el éxito del control de un patógeno (Fravel, 2005).

Los principales mecanismos de acción de un biocontrolador son la competencia, la antibiosis, el parasitismo y la inducción de resistencia; cada uno puede representar un parámetro de selección; sin embargo, éste tiene más de uno. La selección de un biocontrolador depende del sistema productivo y del producto a cosechar (Fravel, 2005). Para el control de la moniliasis del cacao, un biocontrolador eficaz es aquel capaz de colonizar de manera rápida y en su totalidad la epidermis (superficie) del fruto, excluyendo el patógeno y a su vez compitiendo por nutrientes importantes para la germinación de *M. roreri*.

En los últimos años, la búsqueda de agentes de control biológico contra patógenos de cacao ha sido enfocada hacia el aislamiento de microorganismos de las partes aéreas de las plantas (Hoopen *et al.*, 2003). Dentro de las poblaciones microbianas asociadas simbióticamente a estos tejidos de la planta se encuentran los organismos epífiticos (que crecen superficialmente sobre los tejidos) y los endófitos (que crecen en los tejidos internos) (Backman y Sikora, 2008).

En cacao, el empleo de microorganismos endófitos nativos como antagonistas ha mostrado buenos resultados para el control de *M. roreri*, *M. perniciosa* y *Phytophthora* sp. (Evans *et al.*, 2003; Krauss *et al.*, 2006; Melnick *et al.*, 2008). Los agentes de control biológico han sido probados como antiesporulantes de *M. roreri*. Se ha comprobado la coevolución de micoparásitos con efecto de control contra *M. Roreri*, entre los cuales se encuentran: *Trichoderma ovalisporum*, *T. koningiopsis* y *T. Paucisporum*, seleccionados en pruebas piloto en Ecuador, Perú y Costa Rica (Hebbar, 2007). Estos microorganismos reducen la esporulación del patógeno sobre las mazorcas y se establecen alrededor de 4 meses sobre los cojines florales (Hebbar, 2007).

En el caso de microorganismos endófitos, estos colonizan la filósfera de las plantas, lo cual demuestra su coevolución con la planta de cacao (Mejía *et al.*, 2008). Entre los efectos benéficos de los microorganismos endófitos para su hospedero se encuentran el incremento de la tolerancia a sequías (Arechavaleta *et al.*, 1989), la protección contra nematodos (Kimmoms *et al.*, 1990) y la resistencia a hongos fitopatógenos (Clarke *et al.*, 2006), entre otros (Mejía *et al.*, 2008).

En especies maderables y el cacao, las asociaciones endófitas son altamente diversas y de transmisión horizontal (adquiridos del ambiente) y muestran sólo algún grado de afinidad por el hospedero (Mejía *et al.*, 2008). Los endófitos encontrados en hojas de cacao tienden a ser hongos habitantes naturales del suelo, predominando los géneros *Trichoderma* y *Clonostachys* (Mejía *et al.*, 2008). También, se ha encontrado la presencia de bacterias endófitas del género *Bacillus* (Melnick *et al.*, 2008).

En Colombia, Corpoica ha adelantado ensayos de evaluación de microorganismos nativos con efecto potencial de biocontrol, en condiciones *in vitro*. Aunque en ensayos preliminares sólo una cepa de *Clonostachys* sp., mostró un efecto de biocontrol en condiciones de campo, es necesario seguir evaluando otros microorganismos, ya que según los reportes de Phillips-Mora *et al.* (2007) en Colombia se encuentra el mayor potencial de agentes de biocontrol, surgidos por coevolución, por ser el centro de origen de *M. roreri*.

## AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN CONTROL BIOLÓGICO DE LA MONILIASIS DE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS EN COLOMBIA

En Colombia se ha realizado la preselección in vitro de microorganismos biocontroladores de *M. roreri*, basándose principalmente en su capacidad antagónica y parasítica. Corpoica lidera este proceso, que inició en el 2004 con el establecimiento de una colección de microorganismos nativos del agroecosistema cacao, con potencial antagónico contra *M. roreri* y *M. perniciosa*. En el 2006, se realizó la preselección de cuatro cepas bacterianas, un actinomiceto y tres cepas fúngicas.

La búsqueda de un biocontrolador eficiente contra *M. roreri* se inició con el proyecto “Evaluación de biocontroladores y productos no convencionales para el control de la moniliasis”, ejecutado por Corpoica y Fedecacao bajo la Unión Temporal Cacao de Colombia 2.

En este proceso de investigación, cada cepa constituyó un tratamiento; además se incluyeron dos productos biológicos comerciales con reconocida acción biocontroladora contra otros fitopatógenos en otros agroecosistemas. Los antagonistas se asperjaron sobre la superficie de frutos de ocho semanas, y cinco días después se inocularon esporas del patógeno sobre un área de 4 cm<sup>2</sup>, previamente tratada con los antagonistas a evaluar (figura 26).

Para la selección de los biocontroladores, se determinó el índice de severidad interna (ISI), después de 8 semanas de la inoculación del patógeno; para tal efecto se utilizó una escala de 0 a 5 según el porcentaje (0% a 100%) de tejido interno afectado. Aunque todas las cepas mostraron un efecto antagónico in vitro, en campo sólo la cepa de *Clonostachys* sp., mostró un efecto reductor de la enfermedad. Otra cepa con potencial antagónico es la B011 perteneciente al género *Pseudomonas*.

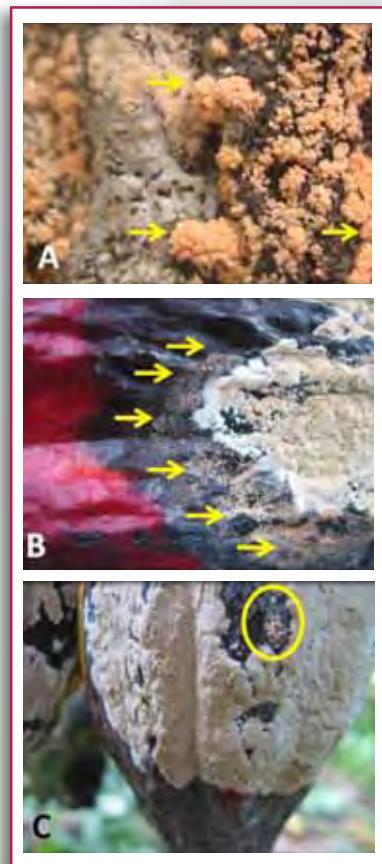
Especies del género *Clonostachys* han sido ampliamente reportadas como microorganismos eficaces biocontroladores de *M. roreri* (Krauss y Soberanis, 2001; Ten Hoopen et al., 2003; Krauss et al., 2003). La característica de interés de estas especies es su capacidad para competir por nutrientes y de colonizar estructuras de la planta, aunque en cacao su presencia es común en las ramas y tronco (Krauss et al., 2003). Esta capacidad permite que *Clonostachys* spp. reduzca o minimice el establecimiento de *M. roreri*, y por ende la incidencia de la enfermedad. Sin embargo, la eficiencia del



Figura 26. Inoculación de agentes potenciales antagonistas contra *M. roreri*.

control por parte de estos agentes está sujeta a la cantidad de inóculo establecido en el lugar (Krauss *et al.*, 2003). En el caso específico de las áreas cacaoteras, la mayoría tiene niveles de población del patógeno superiores en número a la del agente de biocontrol; esto hace que aunque los antagonistas se encuentran ejerciendo su acción (figura 27), ésta se hace insignificante o imperceptible para el agricultor.

Otro género fúngico comúnmente encontrado sobre la superficie de ramas y tronco de árboles de cacao es *Trichoderma*. Las especies de este género han mostrado ser eficientes para el control de patógenos tanto del suelo como foliares en otros agroecosistemas. Sin embargo, las cepas evaluadas en las condiciones ambientales de la Estación Experimental La Suiza de Corpoica (Rionegro, Santander) no mostraron un nivel significativo de control, lo cual contrasta con los resultados obtenidos en otras investigaciones. *Trichoderma spp.* muestra un significativo nivel de control contra *M. roreri* (Krauss y Soberanis, 2001; Ten Hoopen *et al.*, 2003; Krauss *et al.*, 2003). Aun en condiciones de campo, en zonas cacaoteras del país, se observa la acción antagónica de estos organismos contra el agente causal de la moniliasis (figura 28).



**Figura 27.** Control biológico de *Moniliophthora roreri* por *Clonostachys* sp. en condiciones de campo.



**Figura 28.** Control biológico de *Moniliophthora roreri* por *Trichoderma* sp. en condiciones de campo.

En el caso de las bacterias, también se encontró que la cepa de *Pseudomonas* código B011 es capaz de reducir la incidencia de la moniliosis. Aunque existen muy pocos reportes de especies de este género como efectivos agentes de biocontrol de la moniliosis, sí es común encontrarlas como habitantes de la filósfera de las plantas de cacao. Las especies de *Pseudomonas* son capaces de colonizar múltiples hospederos y se comportan como microorganismos endofíticos de otras especies de plantas.

La búsqueda de biocontroladores de *M. roreri* se ha enfocado en el empleo de especies de los géneros *Trichoderma* y *Clonostachys*. Sin embargo, Melnick *et al.* (2008) resaltan la importancia de las bacterias como efectivos agentes de biocontrol, en especial de *Phytophthora* spp. en cacao.

Finalmente, las cepas de los géneros *Bacillus* y *Actinomyces* no mostraron una acción biocontroladora contra *M. roreri*. Aunque no se obtuvieron resultados satisfactorios con las cepas evaluadas, es de dominio público que el género *Bacillus* se encuentra integrado por bacterias endosporadas con alto potencial biocontrolador contra patógenos foliares, incluso contra *P. capsici*, agente causal de la mazorca negra. Las especies de *Bacillus* son capaces de colonizar las hojas de cacao a largo plazo, generando beneficios como la activación de los mecanismos de defensa de las plantas (Melnick *et al.*, 2008) y la presencia de endosporas, haciéndolas atractivas para su formulación y comercialización.

## Control químico

Para el control químico de *M. roreri* se emplean tradicionalmente fungicidas protectantes, aunque con cuestionable eficacia. Sin embargo, el uso de cobre y protectantes orgánicos ha mostrado reducir la incidencia de la enfermedad. Aunque los sistemas de aplicación mejorados con fungicidas sistémicos pueden mejorar la eficiencia en el control de *M. roreri*, pero con una baja adopción por el incremento en los costos de producción (Flood y Murphy, 2004).

En Colombia, el control químico de *M. roreri* ha sido, después del método cultural, el más investigado. Los resultados en plantaciones híbridas han sido erráticos o contradictorios y en algunos de ellos antieconómicos, siendo los fungicidas a base de cobre, las únicas moléculas o ingredientes activos con mejor comportamiento (Argüello, 2000).

Argüello O. (2000), después de varios ensayos en Santander, concluyó que el mejor control se obtiene con óxido cuproso (oxicloruro al 35%). Sin embargo, con el fin de minimizar los efectos adversos que presentan los productos de síntesis sobre los agroecosistemas y sus pobladores, es necesario desarrollar productos nuevos y aceptables para el control de fitopatógenos. Uno de los efectos que se presentan es la emergencia de fitopatógenos resistentes a los fungicidas usados, otro es la intoxicación aguda y general de humanos y otros organismos (Barrera *et al.*, 2008).

En la actualidad, estos efectos negativos surgidos de la aplicación de fungicidas convencionales han mostrado la urgente necesidad de evaluar otras alternativas como son los productos naturales. Dentro de los requerimientos que deben cumplir estos nuevos compuestos químicos se encuentra la biodegradabilidad y la selectividad del modo de acción. En condiciones ideales, un nuevo fungicida debe prevenir o curar las infecciones por hongos fitopatógenos, sin efecto residual sobre las especies benignas y además sin efecto tóxico sobre otros hongos no patógenos.

Los fungicidas biológicos o biofungicidas se derivan de materiales naturales como animales, plantas, bacterias y ciertos minerales. Entre las ventajas que tiene el uso de estos biopesticidas se encuentran: (1) son menos dañinos que los fungicidas convencionales, (2) generalmente son específicos o afectan a un pequeño número de especies de patógenos relacionadas, (3) son más efectivos cuando se usan dentro de un manejo integrado y en pequeñas cantidades, además se degradan rápidamente, (4) permiten la reducción del uso de pesticidas convencionales.

El creciente interés por encontrar productos con menores efectos deletéreos para el medio ambiente y la necesidad de incrementar la producción nacional ha justificado en Colombia la evaluación de productos no convencionales para el control de *M. roreri* en condiciones *in vivo*.

## Control genético

Por milenios, los organismos vivos han evolucionado, dispersado y esparcido más allá de sus áreas nativas. La confrontación con varios habitantes les ha permitido adaptarse gradualmente a sus nuevos ambientes y climas bajo limitaciones, naturales o generadas por el hombre, que crearon una amplia diversidad genética en cada especie; a esto se le denomina fuentes de diversidad genética (Mondeil y Setboonsarng, 2009).

Las fuentes de diversidad genética representan una vasta librería genética, de la cual se pueden obtener muchos genes de gran utilidad. Cada variedad de planta es valiosa para la humanidad, provee genes específicos o combinados de cualidades agronómicas (resistencia a plagas, enfermedades o sequía; adaptaciones al estrés como la tolerancia a la salinidad, entre otras), de calidad agronómica (altos contenidos de aceite), culinarios y otros factores de importancia cultural (Mondeil y Setboonsarng, 2009).

El enfoque de los programas de mejoramiento genético de cacao ha enfatizado en el incremento de la productividad y la resistencia a las enfermedades (Motamayor *et al.*, 2008), y considerado de gran importancia la selección de materiales o variedades resistentes a *M. roreri*. En la actualidad, Colombia cuenta con gran diversidad de materiales de cacao, por lo que se hace necesario evaluar las diferentes fuentes de resistencia genética; con su selección aumentarían los rendimientos del país, ya que presenta alta incidencia de moniliasis.

La selección de materiales resistentes es una etapa primordial para aislar fuentes de resistencia a enfermedades y parte de la siguiente premisa: "Las plantas no son hospederos pasivos ante el ataque de microorganismos, con los cuales interactúa, con gran frecuencia, en su ambiente". Al igual que otros organismos eucariotas, las plantas se defienden contra los ataques mediante un arsenal de mecanismos de defensa, que pueden ser pasivos o preexistentes, que involucran barreras estructurales, tales como la cutícula de ceras o reservorios con posición estratégica con compuestos antimicrobianos que funcionan para prevenir la colonización en los tejidos.

La resistencia a enfermedades en plantas está controlada por genes que confieren diferentes grados de resistencia, de alto grado sólo cuando son específicos a un patógeno en particular. A los genes que controlan esta respuesta de defensa se les denomina genes de resistencia o genes R. Cada gen R responde a un gen de avirulencia (gen Avr) de un patógeno en especial. Es así como en la actualidad se

acepta el modelo gen – por – gen, donde cada gen R específico interactúa con un gen Avr del patógeno para causar la resistencia.

Los primeros trabajos de selección de materiales de cacao resistentes a *M. roreri* se realizaron en Ecuador. En Colombia, el primer trabajo lo realizaron Sánchez y Cubillos (1984), donde evaluaron la reacción de once árboles híbridos y dos clones de cacao, a la inoculación manual de *M. roreri*. Este trabajo concluyó que en el material híbrido se pueden encontrar fuentes de resistencia a monilia, mediante selección de los materiales que hoy se conocen, como los Caucasia 37, 39 y 43, entre otros.

El ICA y Corpórica continuaron con una serie de evaluaciones que reportaron al ICS 95 como el único material con buen nivel de resistencia a la enfermedad y de comportamiento estable; entre los materiales moderadamente resistentes sobresalen CCN 51, IMC 67, ICS 39; los que presentaron mayor susceptibilidad fueron ICS 1, TSH 565 y EET 8 (Cárdenes y Giraldo, 1986; Argüello, 1997; Rodríguez et al., 2005).

Para identificar la resistencia genética de un germoplasma, los investigadores exponen una colección de accesiones de la especie de cultivo de interés al inóculo del patógeno en cuestión. Los genotipos de plantas que son completamente resistentes, o al menos sustancialmente menos infectados, se identifican como candidatos para ser donadores de esta característica. En el mejor de los casos, la resistencia identificada de esta manera resulta eficiente sólo contra la especie o cepa del patógeno evaluada (Niks y Rubiales, 2002).

En el país, se continúan los estudios para identificar nuevos materiales que sean fuente de genes resistentes a la moniliasis.

## AVANCES Y RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA

### Control químico no convencional de la moniliasis

En el 2005, mediante la Unión Temporal Cacao Colombia 2, Corpórica y Fedecacao lideraron los primeros trabajos orientados hacia la selección de los productos no convencionales para el control de *Moniliophthora roreri*. Este proceso se inició con el proyecto “**Evaluación de biocontroladores y productos no convencionales para el control de la moniliasis**”, el cual seleccionó un grupo de productos no convencionales disponibles en el mercado nacional, considerados compatibles con la agricultura orgánica.

Al igual que en el proceso de selección de biocontroladores, la evaluación de productos no convencionales implicó la obtención de frutos sanos. Como no convencionales se incluyeron tres productos a base de aceites esenciales (Citrolife®, Timorex® y Cola de caballo), el aceite mineral, la urea y Yodo Agrícola®. También se evaluaron fungicidas orgánicos a base de cobre (como el Antrasin® y S-Cuper®), con menor grado de toxicidad, como alternativa química.

Cuando los frutos alcanzaron 8 semanas de edad, se inocularon con esporas de *M. roreri* sobre un área de 4 cm<sup>2</sup>, y posteriormente se asperjó la misma área del fruto con el producto no convencional a evaluar. Para la selección de los productos y para la evaluación de los biocontroladores se tuvo en cuenta el índice de severidad interna y el porcentaje de daño interno del fruto.

Los resultados mostraron que el producto Citrolife® es el de mayor potencial para el control de *M. roreri*. Los productos orgánicos a base de cobre no ejercieron ningún

control sobre el agente causal de la moniliasis. Los otros productos convencionales evaluados no mostraron un efecto de control para esta enfermedad.

Es ampliamente conocido que los aceites esenciales son antibacterianos, antivirales, antifúngicos, insecticidas y reductores del apetito de herbívoros, motivo por el cual el producto Citrolife® evidenció su efectividad para el control de *M. roreri*. Los aceites de origen natural son extraídos principalmente de plantas aromáticas y pueden ser sintetizados por todos los órganos de la planta: las flores, los tallos, las hojas, las inflorescencias, entre otras (Bakkali *et al.*, 2008).

Es importante destacar que las plantas constituyen una fuente natural de compuestos químicos denominados comúnmente metabolitos secundarios, con actividad antimicrobiana. Estos desempeñan un papel importante en las interacciones complejas entre las plantas y otros organismos, siendo una de sus principales la defensa contra patógenos y herbívoros (Barrera *et al.*, 2008). Diferente situación es la de las plantas que se protegen a sí mismas contra el ataque de patógenos mediante la producción de compuestos constitutivos (fitoanticipinas) o compuestos antimicrobianos inducidos (fitoalexinas).

El producto Citrolife® (de la casa comercial Biogarden) es un extracto de cítricos. Aunque son pocos los estudios sobre el efecto antifúngico de estos aceites esenciales extraídos a partir de cítricos, es conocido que son una mezcla compleja de compuestos volátiles, que muestran entre otras propiedades, actividad antifúngica mediante la reducción o inhibición total del crecimiento de los hongos en respuesta a una dosis.

La actividad antifúngica de los aceites esenciales de cítricos puede ser producida en respuesta a un sólo compuesto o por el sinergismo del efecto antagonista de varios compuestos. Varios autores atribuyen la capacidad antifúngica de estos aceites a la presencia de componentes como el D-limonene, linalool o el citral, los cuales se presentan en diferentes concentraciones dependiendo del origen del cítrico (Viuda-Martos *et al.*, 2008).

Otros autores atribuyen la actividad antifúngica de los aceites esenciales cítricos a los compuestos fenólicos y terpenos que contienen. Los compuestos fenólicos en bajas concentraciones pueden ocasionar cambios en la estructura celular, inhibir la respiración y alterar la permeabilidad de las membranas del fitopatógeno, mientras que en altas concentraciones ocasionan daños severos en las membranas y la pérdida de la homeostasis, conduciendo a la muerte celular (Viuda-Martos *et al.*, 2008).

En lo que respecta a los terpenos, estos incrementan las concentraciones de peróxidos lipídicos tales como los radicales hidroxil, alcoxil y alcoperroxil en las células fúngicas, conduciendo a la muerte celular del patógeno. También, estos compuestos pueden provocar la salida de compuestos del citoplasma de las células de las hifas fúngicas, y por ende la pérdida de rigidez e integridad de la pared celular de la hifa, cuyo resultado es el colapso y muerte del micelio (Viuda-Martos *et al.*, 2008).

Los resultados obtenidos y la información reportada indican que los aceites esenciales de cítricos pueden ser considerados una alternativa apropiada para el control de *M. roreri*. Sin embargo, por el bajo control ejercido, es recomendable adelantar estudios para determinar la fuente de cítricos ideal para la obtención de los aceites esenciales, dado que su efecto varía dependiendo de la fuente, por ejemplo la naranja, el limón, la mandarina y la uva contienen diferentes concentraciones de compuestos fenólicos, terpenos y otros compuestos que pueden ser los responsables del efecto antifúngico del Citrolife®.

## Control genético de la moniliasis del cacao

En los últimos cinco años en Colombia, los trabajos de identificación de los materiales resistentes fueron financiados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y ejecutados por Corpoica y Fedecacao (2005); se seleccionaron materiales clonales de cacao, regionales e introducidos (denominados universales), para evaluar la respuesta a *M. roreri* en tres condiciones agroclimáticas diferentes. Entre los materiales introducidos se evaluó el comportamiento de 13 clones, de acuerdo con su disponibilidad en los jardines clonales. En cuanto a los materiales regionales, Corpoica evaluó la respuesta al patógeno de 13 clones identificados con la sigla SCC (Selección Colombia Corpoica) en la Estación Experimental La Suiza. De igual manera, Fedecacao evaluó materiales clonales identificados con F (Federación) o FE (en el caso de los materiales de Arauquita) y las siguientes letras alusivas a su sitio de origen (AR: Arauquita; LE: Lebrija; SA: Saravena y TA: Tame) (tabla 9).

**Tabla 9.** Materiales de cacao evaluados por Corpoica y Fedecacao, Unión Temporal Cacao de Colombia 2 (2005 – 2008)

CORPOICA		FEDECACAO	
REGIONALES	UNIVERSALES	REGIONALES	UNIVERSALES
SCC 41, 45	ICS 1, 40, 60, 95	FLE 2 y 3	ICS 1, 6, 39 y 95
SCC 46, 52	TSH 565, 812	F 302	TSH 565
SCC 56, 64	EET 8	FSA 11, 12 y 13	EET 8
SCC 70, 76	IMC 67	FTA 1 y 2	IMC 67
SCC 77, 79	CCN 51	FEAR 5 y 12	UF 613
SCC 80, 91	CAP 34	CAU 37, 39 y 43	CCN 51
SCC 61		SCC 61	

En esta investigación, se calculó un índice de severidad interna (ISI) en una escala de 0 a 5 (tabla 10). También se tuvo en cuenta el porcentaje de daño interno y la incidencia de la enfermedad, expresada como el porcentaje de frutos que presentaron síntomas de la enfermedad. La clasificación de los materiales se hizo con base en la severidad interna de la enfermedad, de acuerdo con la escala propuesta por Phillips *et al.* (2005) (tabla 11).

**Tabla 10.** Índices de severidad interna (ISI) según la sintomatología y signos observados sobre las mazorcas inoculadas

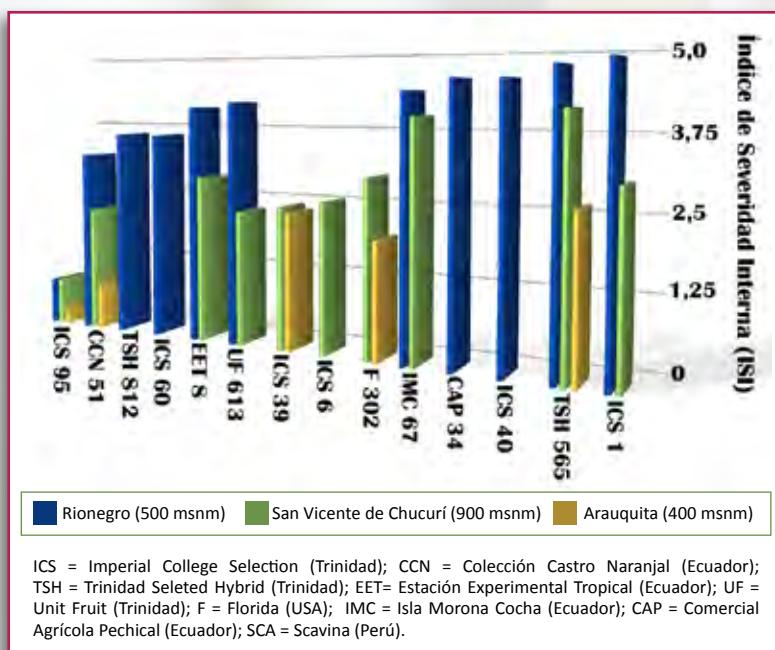
ÍNDICE	SÍNTOMAS
0	0% de daño
1	1%-20% de daño
2	21%-40% de daño
3	41% - 60% de daño
4	61% - 80% de daño
5	81% - 100% de daño

**Tabla 11.** Escala de clasificación de materiales de cacao por su respuesta a *M. roreri*

CALIFICACIÓN (ISI)	RANGO
Resistente	0 – 1,25
Moderadamente resistente	1,26 – 2,50
Moderadamente susceptible	2,51 – 3,75
Susceptible	3,76 – 5,0

Al igual que en otras investigaciones, el presente trabajo corroboró el clon ICS 95 como una fuente de resistencia contra *M. roreri* (figura 29). Cabe mencionar que la resistencia en cacao se ha considerado multigénica, lo que implica que la expresión o respuesta de los genes R depende de varios factores, entre los que se encuentran los climáticos. De ahí que el grado de resistencia va a depender de las características del sitio donde se encuentra el clon (figura 29). Esta situación se presenta aun donde el microclima que se genera en cada sitio de la plantación o entre árboles influye en la incidencia de la enfermedad (figuras 30, 31, 32). Sin embargo, la resistencia presentada por los clones de cacao es considerada una resistencia parcial.

Otro material a considerar fuente de resistencia es el clon CCN 51, que se comportó como resistente o moderadamente resistente dependiendo del sitio donde se encuentre establecido (figura 29). Este material se generó del cruce de ICS 95 (madre) x IMC 67 (padre), exhibiéndose el gran potencial del ICS 95 para la determinación de genes R implicados en la respuesta de defensa en cacao contra *M. roreri*.

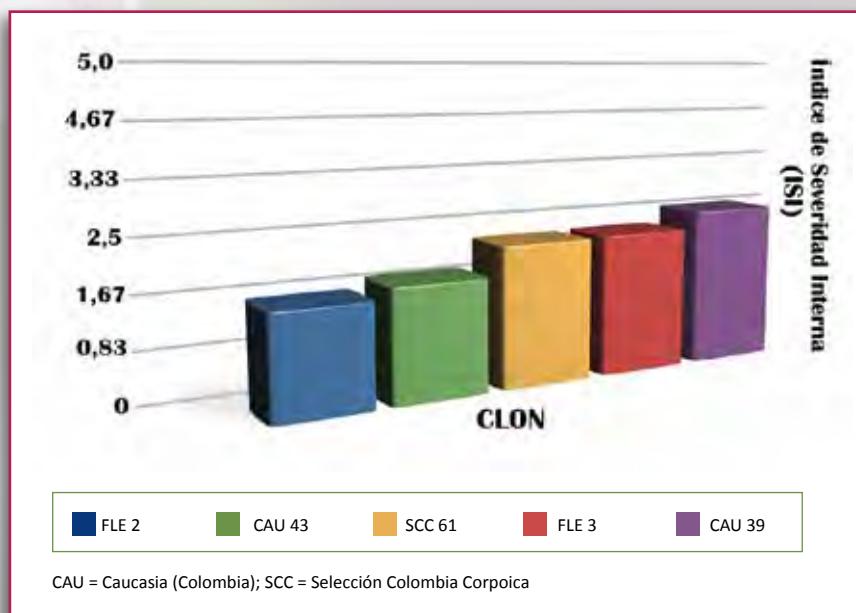


**Figura 29.** Índice de severidad interna (ISI) por reacción a monilia de clones universales de cacao en tres regiones de Colombia

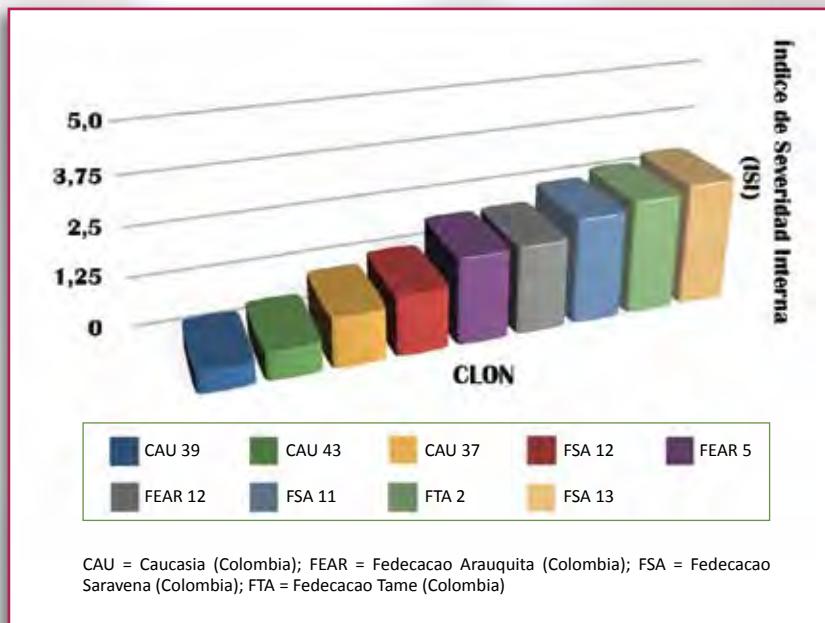
En cuanto a los materiales regionales, es claro que se deben adelantar evaluaciones en diferentes condiciones ambientales para inferir sobre recomendaciones de siembra y resistencia a enfermedades. Sin embargo, se observó el potencial que tienen los clones FSA 12 y 13 en la región de Arauquita y los FLE 2 y 3 en la región de San Vicente de Chucurí (Arauca, Colombia) (figuras 30 y 31). Los clones CAU 39 y 43, previamente seleccionados como resistentes a *M. roreri*, mostraron una resistencia parcial frente a *M. roreri* en las condiciones de San Vicente de Chucurí y Arauquita, corroborándose lo reportado por Sánchez y Cubillos (1984) (figuras 30 y 31).

El clon SCC 61 presentó gran susceptibilidad a *M. roreri* en las condiciones de la E.E. La Suiza en Rionegro (Santander) (figura 32). Sin embargo, este mismo material en las condiciones de San Vicente de Chucurí (Santander) se comportó como moderadamente resistente (figura 30).

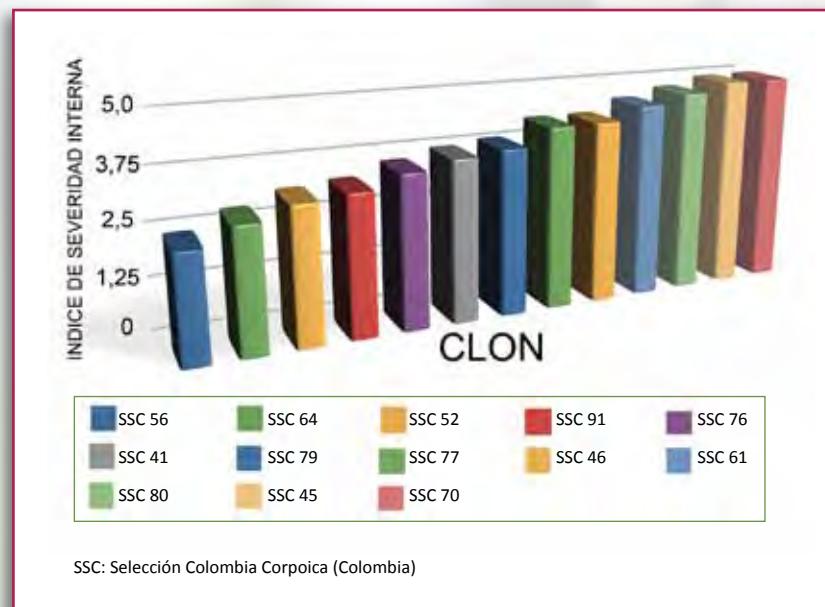
Aunque en este estudio se observó que nueve materiales se comportaron como resistentes o moderadamente resistentes, se debe tener en cuenta que cuando una accesión o clon se identifica como resistente, es necesario corroborar que esta característica la presenta para diferentes variedades del patógeno. Esto quiere decir que la selección de una accesión involucra la evaluación de varias cepas del patógeno, con diferente grado de virulencia. Otro de los requisitos a tener en cuenta es la durabilidad de la resistencia de la accesión, la cual es un problema común contra patógenos aéreos que en su ciclo de vida tienen fase tanto sexual como asexual (Niks y Rubiales, 2002). De acuerdo con esto, el único material que cumple, en parte, estos requerimientos es el clon ICS 95.



**Figura 30.** Índice de severidad interna (ISI) por reacción a monilia de clones regionales de Cacao en San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia



**Figura 31.** Índice de severidad interna (ISI) por reacción a monilia de clones regionales de Cacao en Arauquita, Arauca, Colombia.



**Figura 32.** Índice de severidad interna (ISI) por reacción a monilia de clones regionales de Cacao en Rionegro, Santander, Colombia.

A pesar de la respuesta del clon ICS 95, éste presenta una resistencia parcial, lo que significa que el material vegetal permite el desarrollo del patógeno, pero en menor grado que los materiales susceptibles. Además, la comprobada naturaleza multigénica del cacao, hará que las condiciones climáticas siempre tengan un rol fundamental en la expresión de los genes de resistencia de la planta.

Sin embargo, se considera que la utilización de variedades o clones resistentes es la alternativa más promisoria para el control a largo plazo de la moniliasis. Por ello, es necesario seguir trabajando en la selección de materiales resistentes, tomando como referencia el clon ICS 95, con el objeto de introducir estos materiales en programas de mejoramiento de los cultivares. Para esto, se requiere ampliar el conocimiento de la estructura de las poblaciones del patógeno, con el fin de garantizar que las generaciones a obtener sean resistentes a una amplia gama de genotipos de las poblaciones de *Moniliophthora roreri* (Milgroom y Pever, 2003; Cuhn, 2006).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, también se debe avanzar en el conocimiento de las poblaciones del patógeno, al igual que la de sus hospederos. Esto se hace necesario para entender los procesos que dirigen las variaciones genéticas de los organismos involucrados. En el momento que se alcance este conocimiento, se podrá desarrollar y establecer programas adecuados para el control genético de *M. roreri*.

## Labores para el manejo integrado de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*)

- Tener en cuenta los ocho factores básicos mencionados en el **capítulo 3** para el manejo general de problemas fitosanitarios en cacao.
- Imprescindible reducir o mantener la altura de las plantas por debajo de los 3,5 m.
- Realizar mínimo dos podas de mantenimiento al principio de los períodos secos, es decir, entre los meses de febrero–marzo y julio–agosto.
- Retirar del árbol los frutos, con síntomas iniciales como puntos aceitosos y manchas, para evitar el incremento del inóculo en la plantación.
- Frecuencia – La revisión y remoción de frutos enfermos se debe realizar durante los meses o épocas de mayor cuajamiento y desarrollo de frutos. En Colombia estas épocas son entre junio–agosto y noviembre–enero. Durante los otros meses del año la remoción debe realizarse cada dos semanas.
- Los frutos enfermos deben ser dejados sobre el piso donde caigan, o preferiblemente cubrirlos agrupadamente con arvenses u hojarasca.
- En plantaciones jóvenes o adultas donde la enfermedad ingrese o se detecte por primera vez es prudente hacer remoción y enterrar los frutos.
- Para zonas boscosas, húmedas, bajas y cálidas es conveniente establecer plantaciones con semilla híbrida. Dentro de estas zonas se encuentran la costa Pacífica y el Urabá chocoano. Para estas mismas zonas y las partes bajas del Magdalena Medio, en las que se decida sembrar clones, se debe recurrir a establecer los modelos diseñados con materiales que han demostrado tener algún grado de resistencia a la enfermedad y considerar una mayor distancia o mejor arreglo o distribución de siembra que implique un menor número de plantas que mejore la aireación de la plantación (figura 25).
- Para cultivos empresariales con clones y con limitaciones de mano de obra, se complementa el control cultural con aplicaciones de productos a base de cobre. Este

- control se debe iniciar desde los períodos de mayor floración y cuajamiento de frutos.
- Identificar en plantaciones híbridas y con cacaos comunes, los árboles con mayor incidencia de monilia y proceder a eliminarlos y reemplazar su copa por injerto doble al tronco o utilizar el método de chupón basal.
  - Procurar que en la vereda se realicen las rondas fitosanitarias en días fijos, con el fin de evitar contaminaciones involuntarias de una finca a otra.

Al igual que para *M. perniciosa*, aún no existe una estrategia de control exitosa contra *M. roreri*. Tal vez la medida más simple adoptada por los cacaocultores es la remoción de las fuentes primarias de inóculo mediante métodos culturales. Sin embargo, existe gran controversia alrededor de esta estrategia de remoción y la disposición de las mazorcas infectadas durante la cosecha. Algunos trabajos han demostrado el efecto benéfico en la remoción de los frutos enfermos. Otros autores han sugerido y demostrado que la manipulación de frutos infectados sólo sirve para propagar la enfermedad, provocando un aumento dramático en las pérdidas, sin observar una reducción en la cantidad del inóculo.

Por lo anterior, se han sugerido estrategias adicionales que han surgido en los últimos años. Éstas incluyen la eliminación de árboles muy susceptibles y el aireamiento del área a través de la poda y la reducción de la sombra (Lopes y Martins, 2005).

# GLOSARIO

**Abiótico:** aquello que no forma parte de un ser vivo. En los ecosistemas los **factores abióticos** designan los componentes físico-químicos del ambiente.

**Aislado:** una sola espora o cultivo y los subcultivos derivados. A menudo se usa para indicar la colección de un patógeno o agente de control realizadas en diferentes tiempos.

**Anamorfo:** estado imperfecto de un hongo (estado asexual).

**Anteriodio:** estructura producida por los gametos masculinos de algas, hongos, briofitas y plantas vasculares.

**Apoplasto:** área dentro de la membrana de las células, la cual consiste en paredes celulares y células conductoras del xilema, contiene la fase acuosa de solutos intercelulares.

**Apresorio:** estructura formada por las hifas fúngicas, usualmente de mayor diámetro. El apresorio le sirve al hongo para anclarse al hospedero y puede ayudar a la penetración, ya que ejerce una fuerza mecánica sobre la superficie de las células vegetales de la epidermis.

**Bacillus:** bacteria en forma de bastón.

**Basidio:** estructura en forma de porra sobre la cual se originan las basidiosporas.

**Basidiomicete:** grupo de hongos que producen esporas sexuales, basidiosporas sobre un basidio.

**Basidiosporas:** esporas sexuales que se originan sobre un basidio.

**Biótico:** aquello que forma parte de los organismos vivos. En los ecosistemas los **factores bióticos** designan a todos los seres vivos.

**Biótrofo:** organismo que vive y se multiplica sólo en otro organismo vivo.

**Cáncer:** lesión necrótica, a menudo hundida sobre el tallo, ramas o ramitas de una planta.

**Carbohidratos:** moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Son solubles en agua y se clasifican según la cantidad de carbonos o por el grupo funcional adherido. Son la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía.

**Célula:** unidad fundamental de la célula viva.

**Celulosa:** polisacárido compuesto por cientos de moléculas de glucosa unidas en una cadena. Se encuentra en la pared celular de las plantas y de algunos oomicetes.

**Cheilocistidias:** cistidias o células relativamente muy grandes sobre el borde de las lamelas de los basidiomicetos.

**Ciclo de la enfermedad:** eventos en cadena involucrados en el desarrollo de la enfermedad,

incluyendo los estados de desarrollo del patógeno y el efecto de la enfermedad sobre el hospedero.

**Ciclo de vida:** estado o estados sucesivos en el crecimiento y desarrollo de un organismo que ocurre entre la aparición y reaparición del mismo estado de un organismo.

**Cistidias:** células relativamente grandes que se encuentran sobre el himenio de los basidiomicetos, a menudo entre grupos de basidios.

**Conidio:** espora asexual de los hongos formada en la parte terminal de un conidióforo.

**Conidióforo:** hifa especializada sobre la cual se producen uno o más conidios.

**Crista mitocondrial:** compartimiento interno formado en la membrana interna de la mitocondria. La crista está llena de proteínas, incluyendo la ATPasa sintetasa y una variedad de citocromos.

**Cultivo axénico o puro:** cultivo que contiene una única clase de microorganismo.

**Dicariótico:** micelio o esporas que contienen dos núcleos sexualmente compatibles por célula. Muy común en los basidiomicetos.

**Ecosistema:** conjunto formado por los organismos más su medio ambiente (Madigan et al., 2003).

**Enfermedad:** mal funcionamiento de las células y tejidos del hospedero, que resulta de la continua irritación por parte de un organismo patógeno o factor ambiental, permitiendo el desarrollo de síntomas.

**Epidemia:** enfermedad ampliamente distribuida que afecta a muchos individuos de una población.

**Epidémica:** enfermedad que incrementa en una población; usualmente ampliamente distribuida y grave brote de la enfermedad.

**Escoba de bruja:** crecimiento similar a una escoba o proliferación en masa causada por el denso agrupamiento de ramas de plantas maderables (Agrios, 2003).

**Espora:** unidad reproductiva de los hongos que consta de una o más células; en su función, es análoga a las semillas de las plantas.

**Espora de reposo:** espora sexual o espora con pared gruesa de un hongo o oomicete que resiste a condiciones extremas de temperatura y humedad, y la cual germina sólo después de un período.

**Esporóforo:** hifa o estructura fructificante productora de esporas.

**Estado imperfecto:** parte del ciclo de vida de un hongo durante la que produce esporas asexuales o conídios (estado anamorfo).

**Estado perfecto:** es el estado sexual en el ciclo de vida de un hongo, denominado estado teleomorfo.

- Flagelo:** estructura en forma de látigo que se proyecta a partir de una célula bacteriana o zoospora y funciona como un órgano de locomoción.
- Gameto:** célula reproductiva masculina o femenina o núcleo con un gametangio.
- Gametangio:** célula que contiene gametos o núcleo que actúa como gametos.
- Haploide:** célula u organismo que contiene un núcleo que contiene sólo un grupo de cromosomas.
- Haustorio:** proyecciones ramificadas de una hifa dentro de las células del hospedero que actúa como un órgano que absorbe nutrientes.
- Hemibiotrofo:** organismo que vive parte de su vida como parásito sobre otro organismo y otra parte como saprofita.
- Heterotálico:** oomicete u hongo que producen gametangiós de la misma polaridad sobre un micelio, siendo necesario enfrentar dos micelios distintos para dar origen a esporas sexuales.
- Hifa:** una sola ramificación del micelio.
- Himenio:** hifas fértiles estratificadas.
- Hiperplasia:** sobrecrecimiento del tejido vegetal o de la planta debido al incremento de la división celular.
- Hipertrofia:** sobrecrecimiento de la planta debido a ensanchamiento anormal de las células.
- Hojarasca:** capa de la superficie del suelo forestal formada por desechos orgánicos de parte de tejido vegetal.
- Homotálico:** oomicete u hongo que producen gametangiós de distinta polaridad en el mismo micelio, dándose origen en éste a esporas.
- Hospedero:** planta que es invadida por un parásito o patógeno, y a partir del cual el parásito obtiene nutrientes.
- Incidencia:** proporción de la enfermedad o entidades enfermas de una unidad de muestreo.
- Infección:** establecimiento de un parásito en una planta hospedera.
- Ingeniería genética:** alteración de la composición genética de una célula u organismo mediante varios procedimientos (transformación, fusión de protoplastos, plásmidos, entre otros).
- Inóculo:** es el patógeno o partes del patógeno que pueden causar infección. Proporción del patógeno que es puesto en contacto con el hospedero.
- Inoculación:** transferencia del patógeno al hospedero.
- Intercelular:** entre las células.
- Intracelular:** en o a través de las células.
- In vitro:** en cultivo, fuera del hospedero.
- In vivo:** en el hospedero.
- Marchitez:** pérdida de rigidez y caída de las partes de la planta, generalmente causada por insuficiencia de agua en las partes o parte de la planta.
- Meiospora:** célula producida en la meiosis, es una espora sexual.
- Metabolismo:** conjunto de reacciones bioquímicas de una célula.
- Micelio:** masa de hifas fúngicas.
- Microorganismo:** organismo microscópico constituido por una sola célula.
- Necrosis:** fenómeno de muerte usualmente aplicado a células en un área localizada.
- Necrótico:** muerto o descolorido.
- Necrótrofo:** hongo u oomicete que mata el tejido del hospedero, en la misma medida en que avanza a través de sus tejidos.
- Oogonio:** gametangio femenino de los oomicetes que contiene uno o más gametos.
- Oomicete:** es un cromista similar a los hongos que produce oosporas, y se le denomina comúnmente moho del agua.
- Osporas:** espora sexual producida mediante la unión de dos gametangiós morfológicamente diferentes (oogonio y anteridio).
- Parásito:** organismo vivo que vive sobre otro organismo vivo (hospedero), a partir del cual obtiene su alimento.
- Patógeno:** organismo causante de la enfermedad.
- Patogenicidad:** habilidad de un organismo de causar enfermedad.
- Píleo:** estructura fúngica en forma de sombrilla, característica de los hongos basidiomicetos.
- Pleurocistidias:** cistidias o células grandes sobre las lamelas de los basidiomicetos.
- Población:** grupo de organismos de la misma especie viviendo en un área pequeña preescrita suficientemente pequeña para que todos los individuos tengan las mismas oportunidades para cruzarse con todos los individuos presentes en el área.
- Propágulo:** parte de un organismo, tal como una espora o una bacteria, que puede ser diseminada y reproducir un organismo.
- Pudrición:** ablandamiento, decoloración y, a menudo, desintegración de un suculento tejido vegetal como un resultado de la infección de un hongo o bacteria.
- Quimiotaxis:** movimiento de un organismo hacia o en contra de un estímulo químico.
- Quiste:** zoospora enquistada sobre el tejido vegetal.
- Resistencia:** habilidad de un organismo para excluir o vencer, completamente o en algún grado, el efecto de un patógeno u otro factor de daño.
- Resistente:** organismo que puede obstaculizar el desarrollo de un patógeno dado, permitiendo en poco o nada la infección de su tejido.
- Sanidad:** remoción o quema de partes de plantas infectadas, descontaminación de herramientas, equipos, manos, etc.
- Selección natural:** mecanismo evolutivo que se define como la reproducción diferencial de los genotipos en el seno de una población. En este

mecanismo se generan organismos variantes con características que les permite sobrevivir a condiciones adversas, lo que les permite asegurar su supervivencia.

**Septo:** tabique que divide de un modo completo o incompleto una cavidad o entre células de una hifa.

**Severidad:** medida o cantidad de una enfermedad de una planta. Es el porcentaje del área de la lesión ocasionada por un patógeno.

**Severidad interna:** cantidad, medida o porcentaje del tejido interno de una mazorca de cacao afectada por un hongo fitopatógeno específico.

**Severidad externa:** cantidad, medida o porcentaje del tejido externo o epidermis de una mazorca de cacao afectada por un hongo fitopatógeno específico.

**Subpileopellis:** subcutícula que cubre el píleo de un basidiomicete.

**Susceptibilidad:** incapacidad de una planta para resistir una enfermedad o ataque de un patógeno.

**Susceptible:** carente de la capacidad inherente para resistir a una enfermedad o ataque de un patógeno específico. Sin inmunidad.

**Síntoma:** reacciones internas y externas o alteraciones de las plantas como resultado de una enfermedad.

**Tejido:** grupo de células de estructura similar que forman una estructura especial.

**Teleomorfo:** estado sexual o el denominado estado perfecto de estado de crecimiento de un hongo.

**Tolerancia:** habilidad de una planta a mantener los efectos de una enfermedad sin morir o sufrir serios perjuicios o la pérdida de la cosecha.

**Tubo germinativo:** estado temprano del crecimiento del micelio producido a partir de una espora fúngica germinada.

**Virulencia:** grado de patogenicidad de un patógeno dado (Agrios, 2003).

**Virulento:** organismo capaz de causar una enfermedad severa; fuertemente patogénico (Agrios, 2003).

**Zigoto:** célula diploide que resulta de la unión de dos gametos.

**Zigospora:** espora sexual o espora de descanso producida por los zigomicetes mediante la fusión de dos gametangios morfológicamente similares.

**Zoospora:** espora que porta flagelos y es capaz de transportarse a través del agua (Agrios, 2003).



# BIBLIOGRAFÍA

- Agrios G. 2005. Plant Pathology. Fifth edition. Elsevier Academic Press. London, UK. 922 p.
- Aime M, Phillips-Mora W. 2005. The causal agents of witches broom and frosty pod rot of Cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. Mycología 97:1012-1022.
- Almeida O, Chiacchio F, Rocha H. 1997. Sobrevivência de *Crinipellis perniciosa* (Stahel) Singer em vassouras secas de cacauzeiros (*Theobroma cacao* L.) do estado da Bahia. Agrotópica 9:23-28.
- Ancízar M. 1956. Peregrinación de Álpha. Por las provincias del norte de Nueva Granada, en 1950-51. Bogotá, Colombia. Empresa Nacional de Publicaciones.
- Anónimo. 1932. El cacao. El cultivador cundinamarqués. Periódico de la Industria Agrícola y de la Economía Doméstica, 7.
- Aranzazu F. 1983. Comportamiento de los frutos de cacao afectados por monilia dejados sobre el suelo. 10<sup>a</sup>. Conferencia Internacional de Investigaciones en Cacao. 456-460.
- Aranzazu F. 1987. Comportamiento de los frutos de cacao afectados por monilia dejados sobre el suelo. 10<sup>a</sup> Conferencia Internacional de Investigación en Cacao. Santo Domingo, República Dominicana. 457-460.
- Aranzazu F. 1990. Rehabilitación y renovación de Cacao. Curso Nacional de Cacao. ICA.107-113.
- Arenas E. 1993. Historia de la Provincia de Soto. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander.
- Argüello O. 1997. Evaluación de materiales de cacao por resistencia a *Moniliophthora roreri* en Santander. Tercer Seminario Técnico de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Bucaramanga, Colombia. 23-28.
- Argüello O. 2000. Manejo Integrado de la moniliosis del cacao en Santander. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Impresores Colombianos. 74-84.
- Attard A, Gourguès M, Galiana E, Panabières F, Ponchet M, Keller H. 2008. Strategies of attack and defense in plant-oomycete interactions, accentuated for *Phytophthora parasitica* Dastur (syn. *P. nicotianae* Breda de Haan). Journal of Plant Physiology 165:83-94.
- Backman P, Wilson M, Murphy J. 1997. Bacterial for biological control of plant disease. In: Rechcigl, N.A., Rechcigl, J.E. (Eds.), Environmentally Safe Approaches to Plant Disease Control. CRC/Lewis Press, Boca Ratón, FL, pp. 95-109.
- Backman P, Sikora R. 2008. Endophytes: An emerging tool for biological control. Biological Control 46:1-3.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology 46:446-475.
- Baker E, Cope W, Holliday C, Bartley G, Taylor J. 1954. The Anglo-Colombian Cacao-collecting expedition. Report of Cacao Research. Trinidad, v1953, p. 8-29.
- Barrera L, Bautista S, Flores H, Rojas A. Efficacy of essential oils on the conidial germination, growth of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc and control of postharvest disease in papaya (*Carica papaya* L.). Plant Pathology Journal 7:174-178.
- Barros O. 1977. Investigaciones sobre el hongo *Monilia roreri* Cif. and Par., causante de la pudrición acuosa de la mazorca del cacao; sus daños y su control. El Cacaotero Colombiano 3:42-52.
- Barros O. 1981, Cacao: Manual de asistencia técnica N° 23. Programa Nacional de Cacao. ICA. Bogotá. 286 p.
- Bartley B. 2001. The origin and compatibility relationship of the Scavina variety of *Theobroma cacao* L. Ingenic Newsletter 6:23-24.
- Bastos C. 1994. Capacidade de *Crinipellis perniciosa* produzir basidiósporos viáveis em vassouras com três anos de idade e de infectar tecidos do cacauzeiro com gemas dormentes. Fitopatologia Brasileira 19:585-587.
- Berry D, Cilas C. 1994. Etude génétique de la réaction à la pourriture brune des cabosses de cacaoyers issus d'un plan de croisement diallelique. Agronomie 14:599-609.
- Bhattacharjee R, Kumar P. 2007. Chapter 7: Cacao. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Vol 6: Technical crops. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, pp. 127-142.
- Brasier C, Hansen E. 1992. Evolutionary biology of Phytophthora aart II: phylogeny, speciation, and population structure. Annual Review of Phytopathology. 30:173-200.
- Cárdenas C, Gilraldo J. 1986. Evaluación de la respuesta de algunos cultivares de cacao (*Theobroma cacao*) a *Moniliophthora roreri* mediante dos métodos de inoculación en frutos y en semilla en estado radicular (tesis de grado) Ingeniería Agronómica, Universidad de Caldas. Manizales, 107 p.

- Clarke B, White J, Hurley R, Torres M, Sun S, Huff D. 2006. Endophyte-mediated suppression of dollar spot disease in fine fescues. *Plant Diseases* 90:994–998.
- Cubillos G, Aranzazu F. 1979. Comparación de tres frecuencias de remoción de frutos enfermos en el control de *Monilia roreri* Cir, & Par. *El Cacaotero Colombiano* 8:27-34.
- Cubillos G. 1981. Exploraciones acerca de la importancia que tienen los frutos enfermos dejados sobre el suelo como fuentes primarias de infecciones de *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans et al. *El Cacaotero Colombiano* 18:38-43.
- Cuhn R. 2006. Estrutura genética de populações de *Crinipellis perniciosa* e *Moniliophthora roreri* utilizando marcadores RAPD e SSR (tesis de doutorado) Universidade Estadual Paulista. São Paulo, Brasil. 117 p.
- De Almeida A, Valle R. 2008. Ecophysiology of the Cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19:423-448.
- Dennis J, Konam J. 1994. *Phytophthora palmivora*: Cultural control methods and their relationship to disease epidemiology on cocoa in PNG. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 18-24 July. Cocoa Producers Alliance, London, pp. 953-957.
- Dias L. 2001. Genetic improvement of Cacao. Editora Folha de Vicosia Ltda. Xii + 578 pp. Translation (2005) by Cornelia of FAO and supported by FAO. Web version: <http://ecoport.org/ep?SeachType=earticleId=197>.
- Donovan J. 2006. Diversification in international cacao markets: opportunities and challenges for smallholder cacao enterprises in Central America. A consultancy report prepared by RUTA. 135 p.
- Do Rio C, De Oliveira B, Tomazella D, Fracassi J, Pereira G. 2008. Production of calcium oxalate crystals by the basidiomycete *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of Witches' broom disease of Cacao. *Current Microbiology* 56:363-370.
- Efombagn M, Marelli J, Ducamp M, Cilas C, Nyassé S, Vefonfe D. 2004. Effect of fruiting traits in the field resistance of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones to *Phytophthora megakarya*. *Journal of Phytopathology* 152:557-562.
- Emmert E, Handelsman J. 1999. Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. *FEMS Microbiology Letter* 171:1-9.
- Enríquez G, Suárez C. 1978. Monilia disease of Cacao in Costa Rica. *Turrialba* 28: 339-340.
- Evans H, Bastos C. 1979. Uma reavaliação do ciclo da vida da vassoura-de-bruxa (*Crinipellis perniciosa*) do cacau. *Fitopatología Brasilera* 4:104.
- Evans H. 1980. Pleomorphism in *Crinipellis perniciosa*, causal agent of witches broom disease of Cacao. *Transactions of the British Mycological Society* 74:515-523.
- Evans H, Bastos C. 1980. Basidiospore germination as a means of assessing resistance to *Crinipellis perniciosa* (Witches broom disease) in cocoa cultivars. *Transactions of the British Mycological Society* 74:525-536.
- Evans H. 1981. Pod rot of Cacao caused by *Moniliophthora (Monilia) roreri*. *Phytopathological Papers* N° 24. Kew, England. Commonwealth Mycological Institute 44 p.
- Evans H, Solórzano G. 1982. Witches' broom disease: wrong experiment right result. In: de Laforest J (ed) 8<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference, Cartagena, Colombia, pp 415-418.
- Evans H. 1986. A reassessment of *Moniliophthora roreri* (Monilia) pod rot of cocoa. *Cocoa Grower's Bulletin* 37:34-43.
- Evans H, Holmes K, Reid A. 2003. Phylogeny of the frosty pod rot pathogen of cocoa. *Plant Pathology* 52:476-485.
- Evans H, Holmes K, Thomas S. 2003. Endophytotes and mycoparasites associated with an indigenous forest tree, *Theobroma gileri*, in Ecuador and a preliminary assessment of their potential as biological agents of cocoa diseases. *Mycological Progress* 2(2):149–160.
- Evans H. 2007. Cacao diseases – The trilogy revisited. *Phytopathology* 97:1640-1643.
- FAO. 1967. Report of the First Session of FAO Panel of Experts on Integrated Pest Control. FAO, 19. Roma.
- Flood J, Murphy R. 2004. Cocoa futures: A source book of some important issues facing the cocoa industry. The commodities Press. 163 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2009. <[www.fao.org](http://www.fao.org)>. [Consulta: 29 de diciembre de 2009]
- Fravel D. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology* 43:337-359.
- García J, Argüello A, Mantilla J, Ramírez L, Vergel L, Figueroa L, Ortiz L. 2006. Caracterización y tipificación socioeconómica y tecnológica del sistema de producción de cacao en Colombia. Fase: Santander, Norte de Santander, Huila y Tolima. Corpoica-MADR. 121 p.
- Griffith G. 1989. Population structure of the Cacao pathogen *Crinipellis perniciosa* (Stahel) Sing. PhD Thesis. Universidad de Wales.
- Griffith J, Smillie R, Nieri J, Grant B. 1992. Target sites of fungicides to control oomycetes. In W. Koller (Eds.), *Target sites of fungicides*. CRC Press FL. Boca Ratón, pp. 69-99.

- Griffith G, Nicholson J, Nenninger A, Birch R. 2003. Witches' brooms and frosty pods: two major pathogens of Cacao. New Zealand Journal of Botany 41:423-435.
- Guest D. 2007. Black pod: diverse pathogens with a global impact on cocoa yield. Phytopathology 97:1650-1653.
- Hartemink A. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in Cocoa ecosystems: A review. Advances in Agronomy 86:227-253.
- Hebbar P. 2007. Cacao diseases: A global perspective from an industry point view. Phytopathology 97:1658-1663.
- Hernández T, Aranzazu F, Arévalo E, Ríos R. 1990. La moniliasis del cacao en el Perú. Agrotrópica 2:56-58.
- Holliday P. 1957. Spread of pod rot of Cacao, *Monilia roreri*, a dangerous pathogen. Commonwealth. Phytopathology News 3:12.
- Holliday P. 1998. *Crinipellis perniciosa*. CMI Description of pathogenic fungi and bacteria N°223. Set N°23.
- Hoopen M, Rees R, Aisa P, Stirrup T, Krauss U. 2003. Population dynamics of epiphytic mycoparasites of the genera *Clonostachys* and *Fusarium* for the biocontrol of black pod (*Phytophthora palmivora*) and Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) on cocoa (*Theobroma cacao*). Mycological Research 107:587-596.
- ICCO. 2006. Comité Ejecutivo Sesión 130. Londres, 12-15 de septiembre. 14 p.
- ICCO. 2010. ICOO monthly averages of daily prices. <<http://www.icco.org/statistics/monthly.aspx>> [Consulta: 24 de enero de 2010].
- Isaac M, Timmer V, Quashie-Sam S. 2007. Shade tree effect in an 8-year-old cocoa agro forestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. Nutrient cycling in agroecosystems 78:155-165.
- Iwaro A, Screenivasan T, Umaharan P. 1999. *Phytophthora* resistance in Cacao (*Theobroma cacao*): Influence of pod morphological characteristics. Plant Pathology 46:557-565.
- Jeger M, Jeffries P, Elad Y, Xu M. 2009. A generic theoretical model for biological control of foliar plant diseases. Journal of Theoretical Biology 256:201-214.
- Judelson H, Blanco F. 2005. The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. Nature Reviews Microbiology 3:47-58.
- Kellman M, Zentmyer G. 1986. Comparisons of single-oospore isolates of *Phytophthora* species from naturally infected cocoa pods in Brazil. Mycologia 78:351-358.
- Kimmons C, Gwinn K, Bernard E. 1990. Nematode reproduction on endophyte-infected and endophyte-free tall fescue. Plant Diseases 74:757-761.
- Krauss U, Soberanis W. 2001. Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. Biological Control 22: 149-158.
- Krauss U, Ten Hoopen M, Hidalgo E, Martínez A, Arroyo C, García J, Portuguez A, Sánchez V. 2003. Manejo integrado de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao*) en Talamanca, Costa Rica. Agroforestería de las Américas 10:52-58.
- Krauss U, Ten Hoopen M, Hidalgo E, Matínez A, Stirrup T, Arroyo C, García J, Palacios M. 2006. The effect of cane molasses amendment on biocontrol of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) and black pod (*Phytophthora* spp.) of cocoa (*Theobroma cacao*) in Panama. Biological Control 39:232-239.
- Lopes M, Martins E. 2005. Principais doenças do cacaueiro no Brasil. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC/SEFIT. 132 p.
- López M, Enríquez V. 1980. Presencia de *Monilia roreri* Cif. et Par. en el cacao, *Theobroma cacao* L. en la frontera de Costa Rica, Nicaragua. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Managua, Nicaragua.
- Malavolta E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: Colheitas econômicas máximas. São Paulo, Ceres, 1993. 210 p.
- Marcano M, Pugh T, Cros E, Morales S, Páez E, Courtois B et al. 2007. Adding value to Cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm information with domestication history and admixture mapping. Theoretical Applied Genetic 114:877-884.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London. Academic Press. 889 p.
- McLaughlin H. 1950. Observation on Cacao in Peru. Cacao Inform. Bulletin 2:3-4.
- McMahon P, Purwantara A. 2004. Major crops affected by *Phytophthora*. En André Drenth y David Guest. Diversity and Management of *Phytophthora* in Southeast Asia. ACIAR Monograph 114. 104-105 p.
- Meinhardt L, Rincones J, Bailey B, Aime C, Griffith G, Zhang D, Pereira G. 2008. *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of Cacao: what's new from this old foe? Molecular Plant Pathology 9:577-588.
- Meirelles S. 2002. Epidemiología da vassoura-de-bruxa (*Crinipellis perniciosa* (Stahel) Singer) em cacaueros enxertados em Uruçuca, BA (tesis de Maestría) Universidad de São Paulo. 53 p.
- Mejia L, Rojas N, Maynard Z, Van Bael S, Arnold E, Hebbar P, Samuels G, Robbins N, Allen E. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. Biological Control 46:4-14.
- Melnick R, Zidack N., Bailey B., Maximova S, Guiltinan M, Backman P. 2008. Bacterial endophytes: *Bacillus* spp. From annual crops as potential bio-

- logical control agents of black pod rot of cacao. Biological control 46:46-56.
- Merchán V. 1981. Avances de la investigación de la moniliasis del cacao en Colombia. El Cacaotero Colombiano 16:26-41.
- Milgroom M, Pever L. 2003. Population biology of plant pathogens: The synthesis of plant disease epidemiology and population genetics. Plant Disease 87:608-617.
- Mondeil M, Setboonsang S. 2009. Enhancing biodiversity through market-based strategy: Organic Agriculture. ADBI Working Paper 155. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: <http://www.adbi.org/working-paper/2009/10/15/3347.biodiversity.organic.agriculture/>
- Motamayor J, Risterucci A, Lopez P, Ortiz C, Moreno A, Lanaud C. 2002 Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89:380-386.
- Motamayor J, Lachenau P, Da Silva J, Loor R, Kuhn D, Brown S, Schnell R. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). PLoS ONE. doi: 10.1371/journal.pone.0003311
- Muller. 1941. El reconocimiento de las enfermedades de las plantas cultivadas en Venezuela. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales 8:99-113.
- Niks R, Rubiales D. 2002. Potentially durable resistance mechanisms in plants to specialized fungal pathogens. Euphytica. 124:201-216.
- Nyassés S, Efombagn M, Kébe B, Tahí M, Despréaux D, Cilas C. 2007. Integrated management of *Phytophthora* diseases on cocoa (*Theobroma cacao* L.): Impact of plant breeding on pod rot incidence. Crop Protection 26:40-45.
- Omokolo N, Nankeu D, Niemenak N, Djocgue P. 2002. Analysis of amino acid and carbohydrates in the cortex of nine clones of *Theobroma cacao* L. in relation to their susceptibility to *Phytophthora megakarya* Bra. And Grif. Crop Protection 21:395-402.
- Orellana R. 1956. La moniliasis y otras enfermedades del cacao en el este de Panamá. Boletín Fitosanitario FAO 4:168-169.
- Peshin R, Dhawan A. 2009. Integrated Pest Management: Innovation-Development Process. DOI 10.1007/978-1-4020-8992-3 15.
- Phillips-Mora W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the Cacao (*Theobroma cacao*) fungus *Moniliophthora roreri* (Cif.) Evans et al. as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence. Ph.D. thesis. University of Reading, UK.
- Phillips-Mora W, Cawich J, Garnett W, Aime M. 2006a. First report of frosty pod (moniliasis disease) caused by *Moniliophthora roreri* on Cacao in Belize. Plant Pathology 55:584.
- Phillips-Mora W, Coutiño A, Ortiz C, López A, Hernández J, Aime M. 2006b. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of Cacao in Mexico. Plant Pathology 55:584.
- Phillips-Mora W, Aimes M, Wilkinson M. 2007. Biodiversity and biogeography of the Cacao (*Theobroma cacao*) pathogen *Moniliophthora roreri* in tropical America. Plant Pathology 56:911-922.
- Phillips-Mora W, Wilkinson M. 2007. Frosty pod of Cacao: A disease with limited geographic range but limited potential for damage. Phytopathology 97:1644-1647.
- Ploetz R. 2007. Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide. Phytopathology 97:1634-1639.
- Pokou N, Goran J, Kébe I, Eskes A, Tahí M, Sangaré A. 2008. Levels of resistance to *Phytophthora* pod rot in cocoa accessions selected on-farm in Côte d'Ivoire. Crop Protection 27:302-309.
- Porras V. 1983. Epifisiología de la moniliasis (*Monilia roreri* Cif. y Par.) del cacao y su relación con la producción del árbol en la zona de Matina. El Cacaotero Colombiano 25:28-29.
- Porras V, Enríquez V. 1988. Spread of monilia pod rot of cococa through Central America. IICA, San José, Costa Rica.
- Prakob W, Judelson H. 2007. Gene expression during ooprogenesis in heterothallic and homothallic *Phytophthora*. Fungal Genetics and Biology 44:726-739.
- Purdy L, Schmidt R. 1996. Status of Cacao witches' broom: biology, epidemiology and management. Annual Review of Phytopathology 34:573-594.
- Ram A, Valle R, Arévalo E. 2004. A monilia do caueiro. São Paulo, SP. Fundação Cargill. 36 p.
- Ribeiro F, Parlevliet J, Zambolim L. 2001. Concepts in plant disease resistance. Fitopatología Brasilera 26:577-589.
- Rocha H, Wheeler B. 1985. Factors influencing the production of basidiocarps and the deposition and germination of basidiospores of *Crinipellis perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease on cocoa (*Theobroma cacao* L.). Plant Pathology 34:319-328.
- Rodríguez E, Medina J. 2005. Caracterización de clones de cacao por respuesta a monilia, *Moniliophthora roreri* (Cif.), en Santander. Fitopatología Colombiana 28:2.
- Rubini M, Silva-Ribeiro R, Pomella A, Maki C, Araújo W, Dos Santos D, Azevedo J. 2005. Diversity of endophytic fungal community of Cacao (*Theobroma cacao* L.) and biological control of *Crinipellis perniciosa*, causal agent of Witches'

- broom disease. International Journal of Biological Sciences 1:24-33.
- Rudgard S, Butler D. 1987. Witches' broom disease in Rondonia, Brazil: pod infection in relation to pod susceptibility, wetness, inoculum, and phytosanitation. Plant Pathology 36:515-522.
- Sanogo S, Pomella A, Hebbar P, Bailey B, Costa J, Samuels G, Lumsden R. 2002. Production and germination of conidia of *Trichoderma stromaticum*, a mycoparasite of *Crinipellis perniciosa* on Cacao. Phytopathology 92:1032-1037.
- Scarpari L, Meinhardt L, Mazzafera P, Pomella A, Schiavinato M, Cascardo J, Pereira G. 2005. Biochemical changes during the development of witches' broom: the most important disease of cocoa in Brazil caused by *Crinipellis perniciosa*. Journal of Experimental Botany 56:865-877.
- Schroth G, Krauss U, Gasparotto L, Duarte J, Vohland K. 2000. Pest and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. Agroforestry Systems 50:199-241.
- Stamps J. 1998. *Phytophthora palmivora*. CMI Description of pathogenic fungi and Bacteria N° 831. Set N° 84.
- Tahi G, Kébe B, Goran J, Sangaré A, Mondeil F, Cilas C, Eskes A. 2006. Expected selection efficiency for resistance to Cacao pod rot (*Phytophthora palmivora*) comparing leaf disc inoculations with field observations. Euphytica 149:35-44.
- Ten Hoopen M, Rees R, Aisa P, Stirrup T, Krauss U. 2003. Population dynamics of epiphytic myco-parasites of the genera *Clonostachys* and *Fusarium* for the biocontrol of black pod (*Phytophthora palmivora*) and moniliaisis (*Moniliophthora roreri*) on cocoa (*Theobroma cacao*). Mycological Research 107:587-596.
- Tondje P, Hebbar K, Samuels G, Bowers J, Weise S, Nyemb E, Begoude D, Foko J, Fontem D. 2006. Bioassays of *Geniculosporium* species for *Phytophthora megakarya* biological control on Cacao pod husk pieces. African Journal of Biotechnology 5: 648-652.
- Urquillas L. 2004. Inducción de la germinación para mejorar la eficiencia de dos agentes antagonistas para el control de la monilia (*Crinipellis roreri*) del cacao (*Theobroma cacao*) (tesis de Maestría) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 72 p.
- Viuda-Matos M, Ruiz-Navajas Y, Fernández-López J, Pérez-Álvarez J. 2008. Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradise* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils. Food Control 19:1130-1138.
- Walker C, Van West P. 2007. Zoospore development in the oomycetes. Fungal Biology Reviews 21:10-18.



Terminó de imprimirse  
en septiembre de 2010 en



Tel: 4227356  
Bogotá, DC, Colombia



ISBN: 978-958-740-034-2



9 789587 400342