



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ESTIMACIONES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO
CLIMÁTICO SOBRE LA ROYA (*Hemileia vastatrix*) Y LA
BROCA (*Hypothenemus hampei*) DEL CAFETO EN LA REGIÓN
DE COATEPEC, VERACRUZ.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O
P R E S E N T A:**

ALBERTO DÍAZ MORALES



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. MARIA DEL CARMEN LETICIA
CALDERON EZQUERRO
2011**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Díaz
Morales
Alberto
26 42 46 47
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
300248630

2. Datos del tutor

Dra
María del Carmen Leticia
Calderón
Ezquerro

3. Datos del sinodal 1

Dr
Joaquín
Cifuentes
Blanco

4. Datos del sinodal 2

Dra
María Hilda
Flores
Olvera

5. Datos del sinodal 3

Dra
Ana Cecilia
Conde
Álvarez

6. Datos del sinodal 4

Biól
Elizabeth
Mejorada
Gómez

7. Datos del trabajo escrito.

Estimaciones de los efectos del cambio climático sobre la roya (*Hemileia vastatrix*) y la broca (*Hypothenemus hampei*) del café en la región de Coatepec, Veracruz.

84 p.

2011

*“Estamos perdidos arriba
En estado flotante, en lo alto
Si piensas que puedes encontrar una manera
Seguramente puedes intentarlo...”*

Judas Priest

Dedicatorias

A mis padres Eleuteria Morales Cano y Alberto Díaz Solano por todo su amor, paciencia y sabiduría, gracias porque siempre procuraron mi bienestar y me enseñaron a luchar para alcanzar mis metas.

A Elsa por todo tu apoyo y cariño, por tus valiosos consejos y por levantarme el ánimo cuando estaba a punto de tirar la toalla, por ser mi hermana mayor y mi ejemplo a seguir, gracias por todo sin ti no lo hubiera logrado.

A Lupe por tu apoyo y los momentos divertidos gracias hermanita.

A Hilda Adriana por todo tu amor y apoyo, por compartir tantos momentos agradables y experiencias juntos ¡TE AMO!

A la doctora María del Carmen Calderón por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de investigación, es un honor ser su alumno y aprender tanto de usted, gracias por todo.

A Elizabeth Mejorada por ser mi maestra y mi amiga, gracias por tus sabios consejos.

A Patricia, Catalina y Alberto por ser mis mejores amigos y por todo su apoyo y compañía a lo largo de todos estos años, gracias por todo queridos amigos.

A Víctor Rivera por tu amistad y apoyo (∩m/).

A Miguel, Selene, Alejandra y todos mis amigos y compañeros de la facultad de Ciencias con los que conviví durante estos años.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que permitieron la realización del presente trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias donde realicé mi formación académica.

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA, UNAM), por permitirme desarrollar mi trabajo de tesis.

A mi directora de tesis, Dra. María del Carmen Calderón Ezquerro y a la Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez por su asesoría, apoyo y darme la oportunidad de formar parte de su equipo de investigación.

A los distinguidos miembros del jurado Dr. Joaquín Cifuentes Blanco, Dra. María Hilda Flores Olvera y Biól. Elizabeth Mejorada Gómez por las sugerencias y observaciones en la revisión de este trabajo.

A los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C. por la información proporcionada para la realización de este trabajo, en especial a los productores Humberto Calleja San Gabriel, Darío Cadena Alarcón, Raúl Jiménez Márquez y Joel Olivo San Gabriel por permitirnos visitar sus fincas y brindarnos su tiempo y experiencia durante la entrevista.

Al programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por la beca que me fue otorgada para la realización de este trabajo como parte del proyecto PAPIIT IN122309: "Evaluación integrada de algunos factores ambientales que determinan la capacidad adaptativa de los productores de café en la región central de Veracruz, México, ante condiciones de variabilidad y cambio climáticos".

Al pasante de Doctorado César Guerrero Guerra por su apoyo y asesoría durante el desarrollo de este trabajo y por la revisión al trabajo escrito.

ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Origen del cultivo	3
El cultivo de café en México	3
Descripción botánica del cafeto	7
Descripción de <i>Coffea arabica</i> Linneo (café arábigo)	8
Descripción de <i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehener (café robusta)	11
Condiciones agroclimáticas para el cultivo de café	12
Las plagas y enfermedades del cafeto	13
La roya del cafeto	15
La broca del fruto del café	19
ANTECEDENTES	27
Conceptos sobre el clima	27
El cambio climático	30
Modelos de circulación general	31
Familias de escenarios	33
Efectos del cambio climático en algunas plagas y enfermedades agrícolas y forestales	35
OBJETIVO GENERAL	40
OBJETIVOS PARTICULARES	41

JUSTIFICACIÓN	42
HIPÓTESIS	43
AREA DE ESTUDIO	44
MÉTODO	47
Revisión bibliográfica	47
Taller participativo	47
Entrevista	48
Estimaciones de los efectos del cambio climático para la broca del café	49
RESULTADOS	50
Revisión bibliográfica	50
Taller participativo con los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C.	51
Entrevista a productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C.	56
Escenarios de cambio climático para la broca del café	58
DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES	67
LITERATURA CITADA	69

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a las variaciones estadísticamente significativas en el estado promedio del clima o su variabilidad, siendo persistentes durante períodos largos, típicamente décadas o más. Actualmente, se reconoce con un nivel de confianza muy alto (90%), que el calentamiento observado es debido al aumento de gases de efecto invernadero asociadas a actividades humanas (IPCC, 2007). El cambio climático puede tener impactos sobre las interacciones de las plantas y sus patógenos, ya que estos presentan cierta ventaja sobre las plantas con respecto a la adaptación a los impactos del cambio climático por su corto tiempo de reproducción y en muchos casos por la habilidad de dispersarse fácilmente a través del viento (Garret *et al.* 2006). Asimismo, variaciones en el clima pueden tener efectos sobre el ciclo de vida de los insectos, afectando su esperanza de vida, fecundidad, diapausa, dispersión, mortalidad y adaptación genética (Patterson, 1999). Porter *et al.* (1991) mencionan los efectos que puede tener la temperatura sobre los insectos: limitación de las áreas de distribución geográfica, tasas de crecimiento de la población, número de generaciones por año, sincronización de los cultivos y sus plagas, relaciones interespecíficas, dispersión y migración, y la disponibilidad de plantas hospederas y refugios.

La roya anaranjada del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk *et.* Br., (Uredinales: Pucciniaceae), es una de las enfermedades más importantes del cultivo del café. Su presencia está determinada por las condiciones climáticas, ya que la humedad relativa alta es necesaria para la esporulación y dispersión de las esporas (Becker, 1979; Velasco, 1979; Muthappa, 1980; Pedro Jr., 1983).

Por otra parte, la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (= *Stephanoderis hampei*) (Coleoptera: Scolitynae), originalmente nativa del continente africano, hoy es un insecto de distribución cosmopolita considerado la plaga más dañina del café a nivel mundial. La presencia de la broca está determinada por las condiciones de humedad y temperatura, así como por la altitud (Barrera *et al.*, 2007).

Los efectos que el cambio climático podría tener sobre la roya anaranjada del cafeto *H. vastatrix* y la broca del fruto del cafeto *H. hampei*, es un tema importante para la producción de café, debido a las pérdidas económicas que podrían generar ambos organismos al aumentar su tasa de reproducción como consecuencia del aumento de la temperatura. En este trabajo se documentaran las observaciones realizadas por los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C., sobre la posible influencia del cambio climático en el desarrollo e incremento de la roya y la broca del fruto del café en los cultivos de la región cafetalera de Coatepec, Veracruz. Asimismo, se trataran de estimar los posibles impactos del aumento de la temperatura sobre la biología de la roya y la broca del cafeto en la región de Coatepec, Veracruz mediante el uso de los escenarios realizados para los horizontes 2020, 2050 y 2080 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para el área de estudio.

Origen del cultivo

Las primeras referencias del cultivo del café a nivel mundial datan del siglo XIII y como bebida fue comercializado en el siguiente siglo, donde los árabes fueron los encargados de difundirla. Esto llevó a creer que era originario de Arabia, pero se ha comprobado que su origen son las montañas de Abisinia (actualmente Etiopía, África). La difusión de su consumo fue dando hacia países de Asia y África, y para el siglo XVII, fue introducido a Europa por comerciantes venecianos y holandeses que negociaban marítimamente con los otomanos. Su introducción al continente americano fue en el siglo XVIII, aproximadamente entre 1717 y 1720, cuando los holandeses llevaron el arbusto a la isla de Martinica y posteriormente a casi todas sus colonias. A partir de 1730 y hasta 1825, la plantación del café fue intensiva en América Central y del Sur, generando así, dos de las regiones más importantes de producción del café (CENICAFE, 2008; Renard, 1993).

El cultivo de café en México

El café se introdujo en la Nueva España desde Cuba como bebida exótica. Los primeros cultivos de café comercial en Nueva España se realizaron en 1795 en Córdoba, Veracruz por presentarse en esta zona una temperatura anual de 24 °C y una altura de 827 msnm (Baz y Gallo, 1874).

En 1874, se inició el cultivo de café en Coatepec, durante ese año la producción aumentó en la zona centro de Veracruz incluyendo a Orizaba, Huatusco, Xalapa y Coatepec. El número de árboles plantados en Veracruz fue de 1, 322, 806 (Cambrezy-Bernal y Lascuráin, 1992). En 1880, al inicio del gobierno de Porfirio Díaz, el Estado de Veracruz fue considerado el más avanzado en el cultivo de café. Veracruz producía dos tercios de la producción total del país. El estado de Colima producía una sexta parte del cultivo y el resto de la producción en el país se efectuaba en los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Tabasco (Gonzales, 2004).

En 1833, México suministraba el 1.6% de la producción mundial. En el año siguiente el porcentaje era de 4 % de la producción mundial. El café producido en

Michoacán y Colima fue enviado al mercado nacional, mientras el café de Córdoba, Orizaba y Coatepec fue enviado al mercado internacional principalmente a Estados Unidos. Otra parte del café producido en México se exportó a España, Francia y Alemania, mientras el mercado británico seguía siendo muy reducido (d'Olwer, 1974).

En 1890 el café fue cultivado en las regiones de Córdoba, Orizaba, Huatusco, Coatepec y en pequeñas cantidades en los Tuxtlas. Durante ese año el cultivo de café fue el más importante seguido de la caña de azúcar, tabaco, maíz, frijol negro, arroz, chile, yuca, maní, aceite de ricino y frutos diversos. La exportación de café, tabaco y azúcar tuvieron una gran importancia para el mantenimiento de la economía en la región (Velasco, 1890).

Durante los años de 1930's a 1970's, después de la Revolución Mexicana y la transformación de la propiedad de la tierra a forma comunal (ejido), muchas comunidades campesinas recibieron parcelas comunales. Diversos autores coinciden en que este evento causó la expansión y el aumento de cultivos a pequeña escala de café en el país (Martínez, 1999; Moguel y Toledo, 1999).

En 1990, se contaba con un total de 357 municipios y 4, 326 comunidades en donde se cultivaba café, 276, 655 personas se dedicaban al cultivo de café en México. La superficie de café cultivada era de 573 000 hectáreas y la producción de 1, 395, 804 quintales (INMECAFE, 1990). El censo de café de 1992 indica que las principales regiones cafetaleras del país fueron: Costa del Golfo, del Océano Pacífico, Centro y Norte de Chiapas y Soconusco, Chiapas. Estas regiones se distribuyen en 12 estados del país y comprenden 398 municipios y 282, 000 productores de café. La Costa del Golfo de México incluye a las principales regiones productoras de café e incluyen a los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. En la Costa del Océano Pacífico se encuentran los estados de Nayarit, Jalisco y Colima. El Norte y Centro de Chiapas comprende la zona fronteriza entre los estados de Oaxaca, Veracruz y Tabasco. La región del Soconusco se encuentra en la frontera sur de México con Guatemala (Martínez, 1998).

En el año 2007, México ocupaba el séptimo lugar a nivel mundial como productor de café. De 1997 al 2007, México presentó un volumen promedio de producción de un millón 642 mil toneladas de café cereza, sin embargo la tasa media de crecimiento anual ha sido decreciente del orden 2.5% (SIAP, 2007).

Actualmente, la zona cafetalera de México está concentrada en cuatro regiones: La Vertiente del Golfo de México, la Vertiente del Pacífico, la zona Centro-Norte de Chiapas y la Región del Soconusco; abarcando 12 estados del país, que representa 398 municipios, 4572 comunidades, 700 mil hectáreas cultivadas y 490 mil productores (CEFP, 2001; AMECAFE, 2006). Según datos de AMECAFE (2008) Chiapas es el estado de mayor superficie cafetalera, teniendo el 35.8% respecto al total nacional, le sigue Veracruz con el 20.2%, Oaxaca con 19.1%, Puebla con 9.8%, Guerrero tiene 5.9%, Hidalgo 3.6%, Nayarit 2.5%, San Luis Potosí representa el 2.0%, Jalisco 0.3%, Colima y Tabasco con 0.1%, y finalmente Querétaro con 0.03%. Como se puede observar, en los cuatro primeros estados se concentra poco más del 85% de la superficie cafetalera del país. En el caso del número de productores Chiapas está a la cabeza con 35.4% del total de productores que se registran en el padrón nacional, le sigue Oaxaca con 20.7%, Veracruz 17.5%, Puebla 9.5%, Hidalgo con 6.9%, Guerrero 4.3%, San Luis Potosí con 3.5%, Nayarit 1% y el resto de los estados con menos de un 1% (Figura 1). De igual forma, entre los cinco primeros estados se concentra el 90% de los productores (Olvera, 2010).

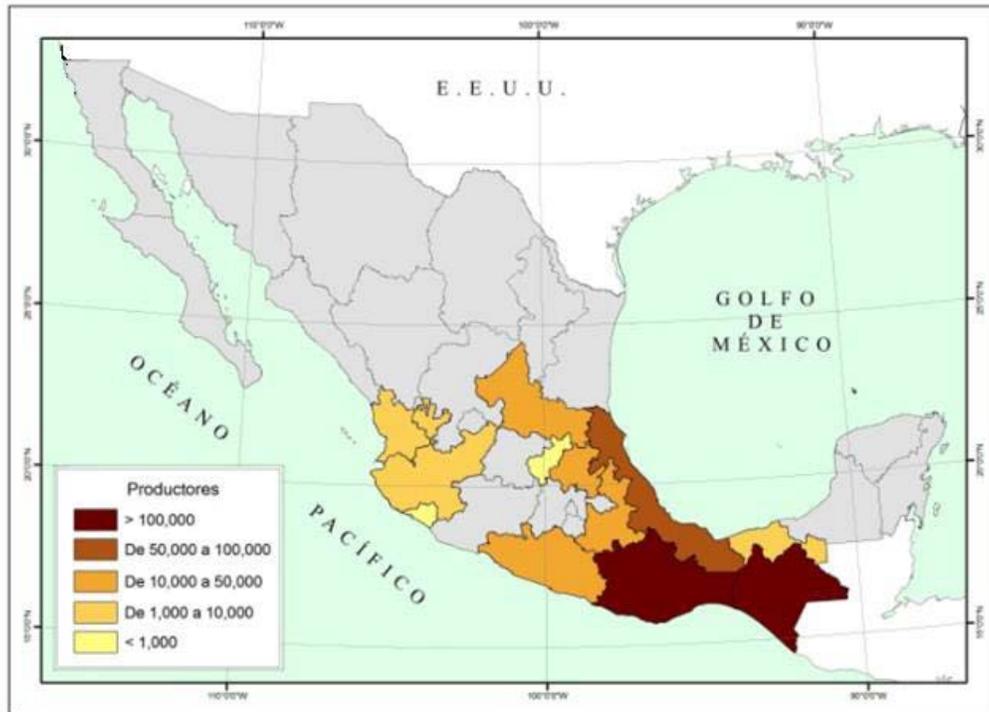


Figura 1: Número de productores de café por estado (tomado de Olvera, 2010).

La producción de café en México se ha mantenido constante en los últimos 10 años, produciéndose en promedio entre 1.7 y 1.8 millones de toneladas al año. Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz son los que mayor cantidad de café producen, dejando en los últimos lugares a Querétaro y Tabasco con menos de 1000 toneladas producidas al año. En el caso de los rendimientos, Puebla es el que más café por hectárea produce, registrando 4.9 ton/ha (históricamente es el estado de más rendimientos tiene), seguido de Chiapas con un promedio de 2 ton/ha. La mayoría de los estados se mantiene entre 1 y 2 toneladas sobre hectárea al año. San Luis Potosí es el que mantiene los rendimientos más bajos, con promedio por debajo de los 0.8 ton/ha. Para el 2008, fue el que menos rendimientos presentó, con 0.79 toneladas por hectárea (Olvera, 2010).

El café se produce en las vertientes de las cadenas montañosas de estos estados, debajo de la cubierta de un dosel de árboles. En general, se puede diferenciar dos modalidades de producción, café de sombra y café bajo sol, sin embargo, se han identificado y caracterizado cinco sistemas que son: Rusticano,

conocido también como “de montaña” por estar localizado en selvas medianas y encinares tropicales con altitudes superiores a los 900 msnm y que han sido desplazados por la deforestación y los bajos rendimientos, es cultivado en el 1% de la superficie cafetalera nacional; Policultivo tradicional, plantación bajo sombra con especies naturales y cultivadas de donde se saca diversos materiales (leña, fruta, alimentos, medicinas, etc., para autoconsumo), se reporta en el 31.5% de la superficie nacional; Especializado, las plantaciones son de monocultivo bajo sombra y es dedicada exclusivamente al café, representa el 54.3% de la superficie cafetalera; Policultivo comercial son plantaciones donde se cultiva diversas especies de café y es aprovechado para otras plantaciones, tales como cítricos, plátano, aguacate, entre otros, orientado a la comercialización, representa el 12.2% de la superficie; y Sistema a sol, se caracteriza por ausencia de sombra y se mantiene bajo monocultivo, presenta altas densidades y sus rendimientos son elevados, representa el 1% de la superficie. (Escamilla, 1993; Barrera *et al.*, 2004; Alejo, 2000).

Descripción botánica del cafeto

El café pertenece a la familia de las Rubiáceas (Tabla 1). El género *Coffea* incluye por lo menos 70 especies, de las que sólo resaltan por su valor comercial en grano para bebida estimulante: *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre (Coste, R. 1986). Esta planta produce frutos, conocido como cereza, que son de color verde en estado inmaduro y rojo-amarrillento cuando madura (Castillo *et al.*, 1996; Alejo, 2000).

Reino:	Vegetal
División	Antofita
Clase:	Dicotiledonia
Subclase:	Simpetala
Orden:	Rubiales
Familia:	Rubiaceae
Tribu:	Cofeales
Género:	<i>Coffea</i>
Especie:	<i>C. arabica</i> , <i>C. canephora</i>

Tabla 1: Clasificación de *Coffea arabica* y *canephora*

Descripción de *Coffea arabica* Linneo (café arábigo)

Es un árbol perennifolio que puede llegar a medir hasta 6 m de altura, de forma cónica o irregular y bajo condiciones normales de crecimiento desarrolla un solo eje (Costa Rica, 1984).

La planta puede crecer con una sola raíz, pero después desarrolla múltiples raíces en la base o en la parte baja de la raíz principal o pivotante. Estas ramificaciones laterales son las responsables de la nutrición mineral y de proveer a la planta de agua. La mayoría de las raíces se distribuyen a 30 cm. de profundidad y en un radio de 2.5 m del tronco (Costa Rica, 1989).

Las hojas son elípticas, oblongas, lanceoladas, miden de 7 a 17 cm de largo y de 3 a 8 cm de ancho, de color verde oscuro, brillante en el haz, cerosas y coriáceas, con un verde más pálido y menos brillante en el envés, con nervadura

central prominente y márgenes de ondulaciones diversas (Morfin *et al.* 2006; Liogier, 1997).

Las flores se agrupan en una inflorescencia llamada cima, normalmente se presentan de dos a tres cimas por axila, con dos a cuatro flores por cima, es decir, de cuatro a 12 flores por axila. Las flores individuales son completas, hermafroditas y autógamas, presentan cáliz, corola, estambres y pistilo, son de color blanco y miden de 6-12 mm de largo y 3-4 de ancho, tienen un ovario ínfero con dos óvulos (Morfin *et al.* 2006).

El fruto es una drupa ovoide conocida como cereza que mide de 10-17 mm de largo por 8-14 mm de ancho, consta de epicarpio o epidermis, mesocarpio o pulpa, endocarpio o pergamino y endospermo o semilla, es de color verde en estado inmaduro, para convertirse de rojo a amarillo cuando madura (Morfin *et al.* 2006).

Las semillas de café son oblongas, planoconvexas, cubiertas por una película plateada o perisperma (vestigios del tegumento del óvulo). La semilla se constituye por el endospermo cuya coloración es verde oscuro amarillento, mide de 10 a 15 mm de largo por 5-10 mm de ancho, con un embrión pequeño basal de 1 a 2 mm. La semilla se encuentra cubierta por un endocarpio fibroso, conocido como pergamino, el endospermo es córneo formado por hemicelulosa, proteínas, cafeína, aceite, azúcares, dextrina, celulosa, ácido clorogénico y otros compuestos. La madurez fisiológica de la semilla se alcanza alrededor de los 220 días después de la antesis y carece de periodo de latencia, siendo capaces de germinar en forma inmediata (Morfin *et al.* 2006).

Las variedades más representativas del café arábica son la Typica, Bourbon, Caturra, Mundo Novo, Garnica y Catuai; cada una de ellas presenta diferencias en la calidad, el volumen producido, rendimiento, resistencia a plagas, aroma, acidez, cuerpo, etc. (CEFP, 2001; Nolasco, 1985; Pérez, 2005).

C. arabica var. Typica

Es la variedad más cultivada en México. Nolasco (1985) reporta que el 85% de los productores tienen plantaciones establecidas con dicha variedad. En los estados de Veracruz, Puebla, Oaxaca, Hidalgo y Guerrero es la variedad con mayor superficie de cultivo (Escamilla, 1993; Santoyo *et al*; 1995). La variedad Typica es susceptible a *H. vastratix* causante de la roya anaranjada, es sensible a la insolación y vientos (Carbajal, 1972; Villaseñor, 1987).

C. arabica var. Bourbon

Esta variedad se encuentra distribuida en todas las zonas cafetaleras, favoreciéndole las alturas de más de 1000 msnm. Es una variedad sensible a los vientos, tolera la insolación y es muy susceptible a *H. vastatrix* (ISIC, 1976).

C. arabica var. Caturra

La variedad Caturra fue introducida a México en 1952, es el resultado de una mutación de la variedad Bourbon (Castillo y Moreno, 1988). Se caracteriza por ser de porte bajo con un sistema radical bien desarrollado. Los frutos y semillas son similares al Bourbon; se considera más precoz y productiva que Typica y Bourbon (Villaseñor, 1987).

C. arabica var. Mundo Novo

Es una cruce o híbrido natural de las variedades Bourbon con la Sumatra (selección de Typica). Se introdujo a México en 1951 (León, 1962; Coste, 1969) esta variedad se encuentra en la mayor parte de las regiones cafetaleras del país, (Santoyo *et al.*, 1995). Es una variedad rústica de gran adaptación a zonas bajas con tolerancia a sequía pero susceptible a *H. vastatrix* (Villaseñor, 1987).

C. arabica var. Catuaí

Es un híbrido interespecífico resultado de la cruce entre Mundo Novo y Caturra Amarillo. En México, el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) la distribuyó en la década de los 80's, actualmente es cultivada en varios estados de la República

Mexicana (Santoyo *et al.*, 1995). Se adapta a diferentes condiciones ecológicas a menos de 1000 msnm, es susceptible a *H. vastatrix*; es una variedad similar a Caturra de porte bajo y entrenudos cortos. Los brotes terminales son de color verde claro, muestra segregación al color de los frutos maduros, rojos o amarillos, se considera una variedad precoz y con madurez tardía (Villaseñor, 1987).

C. arabica var. Oro Azteca

La variedad Oro Azteca es el resultado de la cruce entre la variedad Caturra Rojo que confiere la característica de porte bajo y rendimiento, por el híbrido de Timor que le otorga la resistencia al hongo *H. vastatrix* causante de la roya anaranjada. La selección que dio origen a la variedad Oro Azteca se hizo en México a través de varios ambientes en los estados de Puebla, Chiapas, Veracruz y Oaxaca (Morfin *et al.* 2006).

C. arabica var. Garnica

Fue el primer híbrido desarrollado en México, por el Instituto Mexicano del Café en Xalapa, Veracruz (Morfin, 2006). La variedad se formó por generaciones avanzadas del cruzamiento entre Mundo Novo 15 (fruto color rojo), por Caturra Amarillo. Su color verde oscuro. Su rendimiento medio es de 6.5 kg de café cereza por planta (Villarreal, 1981), pero muy susceptible a *H. vastatrix* y con frutos maduros persistentes.

Descripción de *Coffea canephora* Pierre ex Froehener (café robusta)

El café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehener) es un árbol o arbusto, con hojas anchas que en ocasiones adquieren apariencia de corrugada u ondulante, oblonga, elíptica, corta, además de redondeadas de 15-30 cm de largo y 5-15 cm de ancho, la nervadura media es plana por arriba y prominente por debajo, las nervaduras laterales son de 8-13 pares, el peciolo es de 8 a 20 mm de largo. Tiene flores blancas, ligeramente difusas, en dos racimos auxiliares y sésiles. La corola tiene de 5-7 lóbulos, los estambres y el estilo bien salidos. *C. canephora* se adapta mejor a tierras bajas, cálidas y húmedas (Morfin *et al.* 2006).

Condiciones agroclimáticas para el cultivo de café

- *Altitud.* La altitud donde se encuentran establecidas las plantaciones, está fuertemente ligada con la calidad de bebida del café. Las mejores plantaciones de México se localizan ubicadas de 900 a 1200 msnm, de donde se puede obtener un café de excelente calidad, por sus características organolépticas (sabor, aroma, cuerpo, y acidez). Sin embargo, existen algunas variedades nuevas de la especie *C. canephora* que a menor altura también producen café de buena calidad (Carbajal, 1972).
- *Precipitación.* La precipitación media anual requerida por el cafeto es de 1800 a 2000 mm distribuidos a través del año con un periodo de sequía de dos a tres meses, el cual coincide con un periodo de reposo vegetativo, para dar inicio a la floración (Carbajal, 1972; González, 1978). Sin embargo, una precipitación de 1500 mm distribuida en forma uniforme puede ser suficiente, por debajo de ésta el crecimiento de la planta se ve limitado afectando la cosecha del año siguiente. Los periodos prolongados de sequía propician la caída de las hojas, limitan la actividad fotosintética y por consecuencia la cosecha disminuye y en algunos casos puede llegar hasta la muerte de los cafetales. Con precipitaciones superiores a 3000 mm la calidad física del café y la calidad de taza se deterioran (Carbajal, 1972).
- *Temperatura.* Las temperaturas medias mensuales óptimas para el desarrollo del cafeto son de 19 a 22°C y con mínimas de 16° C y máximas de 25 °C, valores superiores o inferiores a éstos causan daños severos a la planta (Carbajal, 1972; González, 1978). Las temperaturas que oscilan entre 17°C y 23°C durante la noche y el día, respectivamente, son las más favorables para la iniciación floral, dado que a temperaturas altas se marchitan los botones florales; cuando la temperatura es inferior a 10°C, se

produce clorosis por la muerte de los cloroplastos, lo cual detiene el crecimiento de la planta (Carbajal, 1972). Temperaturas de 34°C causan daños permanentes a la planta. La floración requiere de 26°C durante el día y la noche respectivamente (Santoyo *et al.* 1995).

- *Luminosidad.* Los cafetos requieren de 1500 a 2500 horas efectivas de luminosidad, siendo importante por su intensidad, duración diaria y distribución durante el año. La planta requiere de 200 a 280 horas luz durante los meses secos y de 100 a 150 en los meses húmedos (Carbajal, 1972).
- *Vientos.* Los fuertes vientos son nocivos para el café, ya que producen la ruptura de ramas y caída de las hojas, además si se trata de vientos cálidos y secos, propician un aumento en la transpiración que puede ocasionar el marchitamiento de las hojas y brotes jóvenes y detienen el crecimiento del cafeto (Carbajal, 1972).
- *Suelos.* Los mejores suelos para el cultivo del café son aquellos profundos, permeables y textura franca, ya que en estos las raíces no tienen dificultad. El suelo ideal debe tener un espacio poroso de 60% del cual la mitad debería ser ocupada por aire cuando se encuentre en condiciones de humedad. El café se desarrolla bien en suelos ácidos con pH de 4.5 a 5.5. Es importante considerar las propiedades físicas del suelo para la nutrición (Carbajal, 1972).

Las plagas y enfermedades del café

Una plaga es cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO, 2009). También plaga o enfermedad es la introducción, intencionada o no, de especies ajenas a un hábitat que causa serios y crecientes problemas ecológicos y económicos. Se considera un mismo problema la propagación de patógenos humanos (VIH, Malaria, Dengue, etc.), las plagas agrarias (maleza, depredadores, etc.) y las especies invasoras (Dalmazzone, 2002). Mas en el ámbito de la sanidad vegetal, se define como los

organismos, ya sea insectos, patógenos o malezas, que interfieren con las actividades y propósitos de los humano, se encuentra entre los factores limitantes más importantes de la productividad de los sistemas agroforestales y pecuarios y son responsables del 37 al 50% de las pérdidas reportadas en la agricultura mundial (Pimentel *et al.*, 1991; Sweetmore *et al.*, 2001; Oerke, 2005; Barrera, 2007). Para el enfoque de este trabajo, las plagas serán definidas como aquel fenómeno que afecta la agricultura y que ocasiona e pérdidas económicas o daños ambientales.

Para el cultivo del café, se tiene reportado que poco más de 900 plagas y enfermedades. El 90% de ese número de plagas son insectos (CABI, 2010). La principal característica de la planta del café respecto del ataque de los insectos es la permanencia del cafeto en las fincas, ya que después de su germinación y de su período de semillero es colocada en las plantaciones durante años, sujeta al ataque de numerosos insectos ocasionales o de aquellos que mantienen una ininterrumpida serie de generaciones viviendo sobre la planta (Le Pelley, 1973).

Las plagas y enfermedades más comunes del cafeto son la roya (*Hemileia vastatrix*), mal de hilachas (*Corticium koleroga*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), antracnosis (*Colletotrichum coffeanum*), broca de café (*Hypothenemus hampei*), chacuatete (*Idiarthron subquadratum*), pulgones (*Toxoptera aurantii*), gorgojo del grano (*Araecerusn fasciculatus*), entre otros. El más dañino para el cafeto es la broca de café, tal es así que organismos públicos y privados e instituciones de investigación de todo el mundo han tratado de controlar y erradicar los efectos provocados por la plaga. (Escamilla, 1993; Pérez, 2005; SENASICA, 2008; OIC, 2008).

De todas las plagas y enfermedades que atacan al cultivo del café destacan por las perdidas económicas que ocasionan, la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* y la broca del fruto del café *Hypotenemus hampei* por lo cual es de suma importancia el estudio de los efectos de las variaciones climáticas y el cambio climático sobre el desarrollo de ambos organismos.

La roya del cafeto

La roya del cafeto, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk et. Br, pertenece a la familia Pucciniaceae (Tabla 2), y es una de las enfermedades más limitativas de la caficultura mundial (Rodríguez y Moreno 2002, Moreno 2004, Silva et al. 2006). Se encuentra diseminada en todos los países donde es cultivado el café y puede causar pérdidas de 10% a 40% (Silva et al. 2006).

Reino:	Fungi
División:	Basidiomycota
Subdivisión	Pucciniomycotina
Clase	Pucciniomycetes
Orden	Pucciniales
Familia	Pucciniaceae
Género:	<i>Hemileia</i>
Especie:	<i>H. vastatrix</i>

Tabla 2: Clasificación de *Hemileia vastatrix*

La roya apareció en África Oriental en 1861, pero fue reportada por primera vez a principios de 1869 en la isla asiática de Ceilán (Moreno 2004). La gama de resistencia genética contra este patógeno observada en los cafetales silvestres de Etiopía apoya la hipótesis de que la enfermedad se originó en África. La diseminación hacia América Latina se inició en el territorio de Brasil, donde se detectó por primera vez en 1970. Sobre su introducción a esta región existen dos versiones: i) las uredosporas serían transportadas por los vientos alisos desde el África, ii) introducción accidental a través de material vegetal o ropas

contaminadas. Luego, desde Brasil, se diseminó a todos los demás países latinoamericanos (Avelino *et al.* 1999).

La agresividad de la enfermedad se debe a la abundancia del inoculó y la rápida diseminación influenciada por los factores ambientales (Aguilar 1995). La fuerte defoliación causada por la enfermedad se traduce en disminuciones significativas de la producción (Moreno 2004). Con un nivel de infección de 68% se han reportado pérdidas de producción de hasta 48%, además se ha constatado que la roya acentúa el ritmo bienal de la producción (Avelino *et al.* 1999).

En México se realizaron estrictas campañas de sanidad vegetal organizadas por el gobierno a través del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE, 1988) y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). En dichas campañas se implementó la aspersion de oxiclورو de cobre y, en menor cantidad, el triadimefón. Asimismo, se implementó el cultivo de variedades resistentes a la roya, como la Catimor, Colombia y Sarchimor (Burton y Show, 1983; Kushalapa, 1990; Rivera Fernández, 1990). A pesar de todos los esfuerzos la roya se detectó en Chiapas, en 1981) y posteriormente se dispersó en los cafetales del país incluidos los del estado de Veracruz (INMECAFE, 1988).

Enfermedad y síntomas

Hemileia vastatrix es un hongo parásito obligado que afecta las hojas de las especies del género *Coffea*, básicamente *C. arabica* (Aguilar 1995, Avelino *et al.* 1999) y se multiplica principalmente a través de la uredospora, la cual es una espora binucleada característica del grupo de los uredinales (Avelino *et al.* 1999). Los primeros síntomas de la enfermedad consisten en pequeñas lesiones amarillentas aparecen alrededor del punto de penetración (envés de las hojas), que con el tiempo se unen y producen las uredosporas de color anaranjado característico; en el haz se observa manchas cloróticas y finalmente las lesiones se vuelven necróticas. La receptividad de las hojas a la roya aumenta en la fase de producción, debido a la desprotección de las hojas por migración de compuestos fenólicos (sustancias que intervienen en la defensa) hacia los frutos;

además una fuerte intensidad lumínica y temperaturas altas aumentan la receptividad de las hojas. Luego de la penetración, la resistencia genética, el potencial hídrico del suelo, la humedad relativa y la temperatura son factores determinantes de la colonización de la hoja por el hongo. En la zona tropical el desarrollo epidemiológico del hongo comprende cuatro fases: desarrollo lento, fase de crecimiento acelerado, infección máxima y descenso. La curva de desarrollo de la enfermedad está relacionada a cinco factores principales, la lluvia, la temperatura, la carga fructífera, la época de cosecha y el inóculo residual (Avelino *et al.* 1999).

Ciclo de vida

El ciclo de infección de *Hemileia vastatrix* tiene las siguientes tres fases (y subfases) resumidas por Hirst y Schein (1965): esporulación (producción de esporóforos, esporas y su maduración) diseminación (liberación de esporas, dispersión, llegada de un nuevo hospedero) e infección (germinación, penetración y colonización).

Las uredosporas son reniformes y miden de 28 a 36 micras, la pared es hialina muy verrugosa en la cara convexa y lisa en la cara recta o cóncava, y con una micra de espesor. Las teliosporas son más esféricas y miden de 20 a 28 micras de diámetro: la pared es hialina, lisa y con 1 micra de espesor.

Las teliosporas son estructuras de resistencia y se producen solamente en raras ocasiones, estas esporas fueron observadas por primera vez en material procedente de Sumatra, en 1878, en Ceilán fue observada en 1880.

Condiciones ambientales que afectan la germinación e infección de la roya del cafeto

- *Humedad.* La infección de la roya *H. vastatrix* depende de condiciones de alta humedad relativa (mayor al 50%), la cual se debe principalmente a las lluvias, por lo tanto las lluvias abundantes favorecen la dispersión e infección de la roya y los periodos de sequía provocan la disminución en la

incidencia de la enfermedad (Kushalappa y Eskes, 1989; Nutman y Roberts, 1963). Las uredosporas tienen que alcanzar los estomas situados en la parte inferior de las hojas para infectarla. Rayner (1961 y 1972) estudió la humedad en el envés de las hojas del cafeto y encontró que las gotas de lluvia que rebotan de las hojas inferiores pueden transportar esporas que se encuentran en la superficie de las hojas.

- *Temperatura.* La temperatura juega un papel importante en la germinación e infección de la enfermedad ya que a temperaturas de 23.7°C se producen más ciclos uredospóricos y la incidencia de la enfermedad es mayor. A temperaturas extremas por debajo de 15°C y por encima de 28 °C las lesiones son limitadas (Kushalappa y Eskes, 1989).
- *Luz.* Es otro factor determinante en el ataque de la roya porque la germinación de las uredosporas ocurre principalmente en condiciones de oscuridad, por ello la enfermedad es más frecuente en aquellas plantaciones que no cuentan con un manejo adecuado de sombra e impiden la llegada de la luz solar (Montoya, 1974).
- *Altitud.* Las variaciones de altitud conllevan variaciones en la temperatura por lo que a menores altitudes (650 msnm) la temperatura aumenta y la presencia de la roya es mayor (Nutman y Roberts, 1963).

Control biológico de la roya del cafeto

Para el control de la roya del cafeto se han desarrollado una serie de estrategias como el control químico, la resistencia genética, el control biológico, el control cultural y el manejo integrado. El control químico ha sido eficaz para el manejo de la roya, sin embargo la contaminación del ambiente, así como del alto costo de las aplicaciones y el riesgo de desarrollo de resistencia, han provocado que esta estrategia no se considere como la solución ideal al problema (Javed, 1987, López *et al.* 1990, Becker, 1991).

Varias especies de micopárasitos han sido encontrados parasitando a la roya, entre las que se encuentran a *Acremonium bissoydes*, *Calcarisporium ovalisporum*, *Lecanicidium lecanii*, *Sporothrix guttuliformis* y *Fusarium pallidoserum* (Carrión, 2006). El micelio de estos hongos, al crecer sobre los uredinios, compacta el grupo de esporas de la roya e impide su liberación normal.

La utilización de variedades resistentes a las razas fisiológicas de *H. vastatrix*, es el proceso más eficaz y económico de combatir esta enfermedad. La posibilidad de utilizar variedades resistentes, depende de la disponibilidad del material, de la resistencia a la raza o razas que existen en la región y de sus características culturales, comerciales de productividad y de calidad (Carrión, 2006).

La broca del fruto del café

La broca del fruto del café *Hypothenemus hampei* Ferrari es un escarabajo de la familia Scolitydae (tabla 3), que se reportó por primera vez atacando los cultivos de café en 1901 en Gabón, África y después de 20 años de haber sido reportada por primera vez su presencia fue detectada en cafetales de Brasil, lugar de donde partió para dispersarse por todas las regiones cafetaleras de América (Barrera, 2002). El primer reporte de la broca del cafeto *H. hampei* en Mesoamérica fue hecho para una finca de Chicacao, Suchitepéquez, Guatemala en 1971 (Hernández y Sánchez, 1972). De acuerdo con Villaseñor (1987), el primer registro para México ocurrió en un beneficio (lugar donde ocurre el procesamiento del producto) de café húmedo colindante con el ejido Mixcum y a principios de octubre, se le detectó en cafetales del ejido 2 de mayo y en el predio El Recinto municipio de Cacahoatán, Chiapas. Un estudio reciente, realizado con huellas dactilares genéticas, encontró que la broca encontrada en México estuvo cercanamente relacionada a la broca de Brasil, y ésta a su vez estuvo relacionada con la broca de Camerún (África del Oeste) (Benavides *et al.* 2005). Esto sugiere que la broca que llegó a México desde Guatemala provino de Brasil.

Reino:	Animal
Phylum:	Arthropoda
Clase:	Insecta
Orden:	Coleoptera
Suborden:	Polyphaga
Superfamilia:	Curculionoidea
Familia:	Scolitydae
Subfamilia:	Ipinae
Tribu:	Cryphalini
Género:	<i>Hypothenemus</i>
Especie:	<i>H. hampei</i>

Tabla 3: Clasificación de *Hypothenemus hampei*

La dispersión de *Hypothenemus hampei* ocurrió de forma lineal en el número de hectáreas invadidas entre 1978 y 1985 según un análisis realizado por Baker *et al.* (1989). Los daños ocasionados por la broca fueron registrados por el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) en el ciclo de cultivo 1981-1982; en 1983 la institución reporto niveles de infestación de 10 a 15% con pérdidas de 5.87 kg por cada quintal de café pergamino estimando una reducción de 10.2% en el rendimiento por efecto de esta plaga (Barrera y Enkerlin, 1983). Tiempo después Ortiz Persichino (1991) estimó que las pérdidas causadas directamente por la broca al café del Soconusco, representan aproximadamente US \$1.5 millones en la cosecha 1990-1991.

En el estado de Veracruz la broca del fruto del café se detectó por primera vez en el municipio de Tezonapa en 1991 y hasta diciembre de 1997 la plaga se dispersó a 63 municipios de las principales regiones cafetaleras del estado de Veracruz. Para contrarrestar los daños ocasionados por los problemas fitosanitarios en el estado de Veracruz se implementó la Campaña contra la broca y la roya del café realizando acciones de control legal, muestreo, control químico, biológico, investigación, capacitación y divulgación (CESVVER, 1997).

El Consejo Mexicano del Café (CMC), organismo que reemplazo al INMECAFE, informó en 1998 que la broca se encontraba presente en Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo y Nayarit, en una superficie de 172,246 ha equivalente al 22.6% de la superficie cafetalera total del país (Castillo, 1998). Más tarde, la broca fue reportada en San Luis Potosí y Querétaro quedando Colima sin presencia y en fase de prevención (SENASICA, 2004).

En México en 1992, con la desaparición del INMECAFE y de la mayoría de sus programas operativos, la broca se expandió rápidamente a otros estados cafetaleros del país. El Consejo Mexicano del Café informó en 1998 que la broca se encontraba presente en Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero, Hidalgo y Nayarit, en una superficie de 172 mil 246 ha equivalente al 22.6% de la superficie cafetalera de todo el país (Castillo, 1998). Ramírez y Reyes (2000) reportaron en la Tercera Reunión de la Campaña Nacional de Sanidad Vegetal que la broca a nivel nacional afectaba 367 mil 779 ha (48.3%) y 114 mil 170 productores (40.6%). La Campaña Nacional contra la broca del café, en su reporte de 2006, señala que esta plaga ya invadió a todos los estados cafetaleros de México: Chiapas, Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz infestando 384 mil 501 ha, equivalente a 56.2% del total nacional (Ramírez *et al*, 2007).

La broca es un insecto nativo del continente africano, aunque actualmente tiene una distribución cosmopolita, es considerada la plaga más dañina del café a escala mundial (Le Pelley, 1968; Baker, 1984; Waterhouse y Norris, 1989; Murphy y Moore, 1990; Barrera, 1994, Barrera *et al*. 2007). En menor o mayor grado,

todas las variedades y especies de café de importancia comercial son atacadas por *H. hampei*, aunque tiende a presentar mayor preferencia por el café robusta *C. canephora*, que por el café arábica *C. arabica* (Barrera. 1994).

Descripción del insecto

La broca tiene metamorfosis completa: huevo, larva, pupa y adulto a continuación se presenta la descripción del insecto, citada por Barrera (2002):

- a) *Huevo*: Es elíptico, cristalino y hacia la madurez es amarillento.
- b) *Larva*: No tiene patas, es blanca amarillenta, con el cuerpo en forma de “C” y la parte torácica más ancha. La cabeza es de color café claro con las mandíbulas visibles y extendidas hacia delante. Antes de convertirse en pupa, la larva pasa por un estado llamado prepupa, el cual es semejante a la larva pero su color es blanco-lechoso, su cuerpo es menos curvado que la larva y no se alimenta.
- c) *Pupa*: Es de color blanco lechoso y amarillenta hacia la madurez. Presenta muchas de las características del adulto.
- d) *Adulto*: Es de cuerpo negro brillante, alargado, cilíndrico y ligeramente arqueado hacia la región ventral con una longitud de 1.50 a 1.78 mm. La cabeza se sitúa ventralmente y es protegida por el pronoto. Las antenas son acodadas y terminan con forma de un mazo. El aparato bucal es masticador y los élitros son convexos y presentan estrías longitudinales alternadas con series longitudinales de cerdas. Las hembras poseen alas bien desarrolladas que le permite volar con habilidad, mientras que las alas de los machos están atrofiadas. Las hembras se diferencian fácilmente de los machos porque son más grandes.

Ciclo de vida

Generalmente un fruto es infestado por una sola hembra. Si la consistencia del grano es suficientemente dura, la hembra fundadora construye una galería donde

pone los primeros huevos. Los huevos son puestos de uno en uno formando pequeños grupos dentro del grano de café. La hembra oviposita de 1 a 3 huevos por día durante los primeros 15 o 20 días, después la oviposición disminuye gradualmente. Tanto la hembra fundadora como las larvas construyen túneles en el grano de café mientras se alimentan de éste. La pupación ocurre dentro del grano de café donde nació la larva. Hacia la aparición de los primeros adultos de la descendencia, la población está constituida por 25-30 individuos en todos los estados de desarrollo, de los cuales hay aproximadamente 10 hembras por cada macho. El apareamiento se efectúa entre hermanos y hermanas en el interior del fruto. Las hembras apareadas abandonan el fruto donde se desarrollaron para buscar otro donde establecerán una nueva familia. Varias generaciones se presentan mientras haya disponibilidad de frutos. Después de la cosecha, la broca continúa reproduciéndose en los frutos que no fueron cosechados y que se encuentran tanto en la planta como en el suelo. (Barrera, 2002).

Daños

La broca del café pasa la mayor parte de su vida guarecida en un fruto, con excepción del breve periodo de vuelo que emplea para dispersarse y buscar al hospedero de café, en el fruto de café encuentra el alimento necesario para sobrevivir y procrear, así como un refugio ideal para resistir las condiciones adversas del clima y escapar a sus enemigos naturales (Barrera, 1994). La hembra penetra al fruto por la corona o parte opuesta del pedúnculo y ovipositan en el interior. Si el daño se efectúa en las primeras fases de desarrollo el fruto se cae, pero si ya tienen la consistencia adecuada la hembra oviposita los huevecillos de los cuales emergerán más tarde las larvas que se alimentan del endospermo del grano (Morfin *et al.* 2006). Los daños se hacen evidentes en el beneficio ya que se requiere de una mayor cantidad de cereza para obtener un quintal de café pergamino. En el beneficio en seco los granos perforados ofrecen un mal aspecto, lo cual demerita su calidad (Morfin *et al.* 2006).

Condiciones ambientales que afectan la fenología de la broca

- *Temperatura.* En el caso de la broca *H. hampei* las condiciones óptimas para la reproducción de la broca están limitadas por la temperatura. Ticheler (1961) menciona que altas temperaturas facilitan varias generaciones de la plaga al año, igualmente Bergamin (1945) reporta que a temperaturas de 9°C a 18°C la perforación del fruto es lenta y el inicio de la postura se alarga. De acuerdo con Yamamoto (1948) la broca prefiere temperaturas de 20°C a 30°C, mientras que por debajo de los 15 °C se torna inactiva.
- *Humedad.* Las condiciones de humedad extrema favorece la reproducción de *H. hampei*. Un ejemplo de la importancia que las condiciones de humedad tienen sobre la broca se logró apreciar en el caso de Brasil, cuando la sequía de 1944 benefició a los cafecultores ya que el insecto desapareció casi por completo el año siguiente. Por otro lado, se ha comprobado que cuando las lluvias caen con cierta regularidad, las condiciones son más favorables para la broca ya que permiten el florecimiento de los cafetos y la disponibilidad de frutos (Bergamin, 1946).

Baker *et al.* (1992) reportaron que la humedad relativa (HR) es una variable importante para la emergencia de la broca y pequeños cambios en la misma pueden ocasionar un incremento en su población. Los adultos de la broca requieren una humedad relativa de 90 % y 100 % para emerger e iniciar la colonización del fruto. Las tormentas actúan como un disparador de la emergencia de la broca porque pueden iniciar la búsqueda de nuevos frutos. La humedad muy baja conduce al secamiento de los frutos, lo cual reduce la multiplicación de la plaga hasta detenerla y finalmente provoca su muerte (Ticheler, 1961).

- *Precipitación.* La precipitación también juega un papel importante en la dispersión de la broca, ya que permite el florecimiento de las plantas y la formación de frutos, en las zonas que presentan una precipitación bien

distribuida a lo largo del año el ataque de la broca es mayor por la disponibilidad de frutos para que las hembras ovipositen. El problema es menos severo en las zonas donde hay un periodo seco y prolongado, con la consiguiente ausencia de frutos en el campo por periodos prolongados (Jaramillo *et al.* 2009).

- *Sombra.* La sombra del cafetal es otro factor muy importante para *H. hampei*; de manera general, se ha observado que la sombra abundante propicia mejores condiciones para su desarrollo y multiplicación, por ejemplo, Hargreaves (1926), Barrera y Covarrubias (1984) y Klein-Koch (1988) demostraron que el ataque de la broca fue más severo bajo sombra que en cafetales sin ésta.
- *Altitud.* También se consideran factores para que la broca se reproduzca la altitud (debajo de 400 y arriba de 1100 msnm la infestación es menor), incidencia solar (la sombra propicia mejores condiciones para el desarrollo de la broca) y orientación de la ladera; que también son factores que también influyen en el desarrollo del cafeto (Díaz *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2000). La rapidez o la lentitud del ciclo de vida de la broca depende de estas condiciones (Camilo *et al.*, 2003).

Control biológico de la broca del café

Para el control biológico de la broca del café fueron introducidos a México los parasitoides: *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* importados de África durante los últimos años de la década de 1980's (Barrera *et al.* 1990). Después, en el año 2000, *Phymastichus coffea* fue introducido desde Colombia vía Guatemala. Los parasitoides fueron importados por el Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES), ahora el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), ubicado en Tapachula, Chiapas, México. De los tres, sólo se ha logrado el establecimiento permanente de *C. stephanoderis*. A la fecha, se dispone de las tres especies en los laboratorios de ECOSUR (Barrera *et al.* 2008).

El hongo *Beauveria bassiana*, destaca entre los entomopatógenos como parte del manejo integrado de la broca en México. Los trabajos pioneros de selección y evaluación aislados de este hongo contra *H. hampei* dieron inicio al comenzar la década de los 1990's (Méndez-López 1990, de la Rosa 1993). Gracias a la relativa facilidad de la producción, formulación y aplicación, este entomopatógeno es el agente de control biológico más usado contra la plaga en las zonas cafetaleras mexicanas. Varios laboratorios privados, algunos pertenecientes a organizaciones de productores, se dedican a su producción (Barrera, 2005).

ANTECEDENTES

Conceptos sobre el clima

Actualmente, el estudio del cambio climático tiene una gran importancia por las repercusiones que tendrá para las actividades productivas humanas como la agricultura y su efecto en las plagas y enfermedades agrícolas. Para entender lo que es el cambio climático global primero hay que entender los conceptos relacionados con el clima.

Tiempo atmosférico

El tiempo atmosférico o condiciones meteorológicas, comprenden todos los diversos fenómenos que ocurren en la atmósfera de la Tierra, es el estado de las condiciones atmosféricas (frío/calor, húmedo/seco, soleado, nublado) que existen sobre un período de tiempo relativamente corto (de unas horas a un par de días) éstas incluyen el paso de huracanes, tormentas y la persistencia de ondas de calor y frío. La variabilidad del tiempo y los eventos extremos pueden ser una respuesta impredecible al cambio climático (Wood, 1998).

Clima

El clima considera las condiciones meteorológicas que se esperan en un periodo de tiempo ya sea un mes, una estación, una década o un siglo. Técnicamente, se puede definir como el resultado del estado promedio del sistema atmósfera-océano-tierra, a menudo se describen en términos de clima normal o condiciones climáticas promedio (el promedio del tiempo meteorológico en un periodo de alrededor de 30 años) (Wood, 2001). En general, son las propiedades estadísticas de la atmósfera (Aguado, 2004).

Variabilidad natural del clima

Las variaciones naturales del clima son las que configuran los ecosistemas, los recursos naturales y las actividades características en cada región del planeta. En la República Mexicana, la gama de estudios a documentar las variaciones

climáticas es amplia y aunque no necesariamente suficiente, permite que actualmente se cuente con información para interactuar con los procesos del clima y enfrentar sus impactos (Garduño, 1999).

Las estaciones del año, o el contraste entre verano e invierno, son las variaciones del clima que resultan mayormente tangibles para el ser humano, aunque no son las únicas. Otras formas de variabilidad natural han recibido especial atención durante los últimos años, como el fenómeno de El Niño–Oscilación del Sur, que con periodos irregulares de entre dos y siete años modifica los patrones del clima regional. Diversos estudios se han realizado sobre el fenómeno El Niño, con objeto de identificar sus impactos. El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5 °C o más, por encima de la media del período 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como “Niño 3” (4°N-4°S, 150°W-90°W). De acuerdo a esta definición de Trenberth (1997) hasta el año 1999 habían ocurrido doce acontecimientos El Niño: de 1982 a principios de 1999, ocurrieron cuatro Niños en los inviernos 1982-83, 1986-87, 1991-92 y 1997-98, siendo el primero y el último, de los anteriormente referidos, los más intensos del siglo XX.

Durante el periodo 1980-1998 sólo se produjeron tres episodios La Niña en los años de 1988-89, 1995-96 y en 1998-99. Los años Niña se caracterizan por las condiciones más secas respecto a lo normal sobre el océano Pacífico Ecuatorial Central, debido a un debilitamiento de la corriente en chorro durante los meses de diciembre a febrero, y por el fortalecimiento de los sistemas monzónicos en Australia/Sudeste de Asia, América del Sur/Centroamérica y África (Magaña, 1999).

Se considera que de 1991 a 1995 se vivió el más largo período El Niño. La intensidad de El Niño o la Niña varía de un evento a otro, pudiendo ser clasificados como fuertes, moderados, débiles o muy débiles, dependiendo de la amplitud de la anomalía en la temperatura superficie del mar (Quinn y Neal, 1992). Aún más, se ha encontrado que la actividad Niño o Niña varía en escalas mucho

mayores de tiempo, aproximadamente en forma intercadal (Trenberth, 1997), siendo en los ochentas y noventas más intensa que antes.

Desde hace algunos años, se sabe que el fenómeno de El Niño afecta las lluvias en México (Magaña y Quintanar, 1997). Por ejemplo, Mosiño y Morales (1988) encontraron que el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones en la precipitación en el centro del país. Otros trabajos han confirmado el papel que juega El Niño, no sólo en lluvias de verano, sino también en las de invierno (Cavazos y Hastenrath, 1990).

De manera general, se puede decir que las lluvias de invierno se intensifican durante años. El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte sur (Magaña *et al.* 1998).

En México se ha encontrado que cuando el fenómeno El Niño ocurre con *intensidad muy fuerte* causa sequía en la mayor parte del país durante el verano (Magaña *et al.*, 2003), mientras que en el invierno causa un aumento en la frecuencia de frentes fríos (Vázquez-Aguirre, 2000). Los efectos de El Niño en materia ambiental, asociados a menores precipitaciones incluyen menos humedad del suelo y frecuentemente pérdidas de miles de hectáreas de bosques por incendios forestales. En abril y mayo de 1998, se vivió uno de los peores desastres ecológicos de México al ocurrir un gran número de incendios por la gran sequedad del terreno (Cedeño y Medina, 1999).

Se debe decir que la ocurrencia de El Niño o La Niña no es periódica, en otras palabras, no ocurre un evento de este tipo cada cierto número de años. Por otro lado, a un evento El Niño no sigue necesariamente uno La Niña o viceversa (Magaña, 1999).

El cambio climático

Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana.

A continuación se describen las posibles causas del cambio climático:

1. *Variaciones solares:* Variaciones de la luminosidad solar a lo largo del ciclo de las manchas solares, las variaciones en el campo magnético solar y, por tanto, en las emisiones de viento solar.
2. *Variaciones orbitales:* Precesión de los equinoccios, la excentricidad orbital y la oblicuidad de la órbita o inclinación del eje terrestre.
3. *Deriva continental:* Aunque es un proceso lento, la posición de los continentes fija el comportamiento del clima durante millones de años.
4. *Composición atmosférica:* Ciclos biogeoquímicos (carbono, hidrógeno, oxígeno, etc.)
5. *Corrientes oceánicas:* Regulan el clima y actúan como moderadores.
6. *Campo magnético terrestre:* Cambios en la intensidad e inversiones.
7. *Efectos antropogénicos:* Gases de efecto invernadero.
8. *Erupciones volcánicas:* Las erupciones producen gases que pueden calentar o enfriar la atmósfera.

Las estimaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) predicen que la temperatura media global aumentará de 1.4°C a 5.8°C a finales de este siglo. La elevación de la temperatura debida al

calentamiento global representa una amenaza inmediata sin precedentes en la agricultura. Para el año 2050 se espera una disminución del 10% al 20% en los rendimientos de cultivos a nivel mundial (IPCC, 2007). Esto es de particular importancia para el cultivo de café que se realiza en los trópicos.

Estudios recientes realizados en Brasil, México y Uganda, demuestran que incluso un mínimo aumento de la temperatura media debido al cambio climático tendrá consecuencias desastrosas para la producción de café, incluida la reducción de la superficie apta para la producción de café hasta en un 95% (GRID, 2002; Assad *et al.* 2004; Gay *et al.* 2006).

Normalmente, los estudios de cambio climático utilizan distintos modelos de clima (Modelos de Circulación General) y un conjunto de escenarios de emisiones para reflejar el rango de incertidumbre causado por las diferentes suposiciones que se adoptan en cuanto al cambio en las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio tecnológico, población, tipo y grado de desarrollo económico, entre otros. Así, cada escenario representa una alternativa de cómo se podría comportar el clima futuro (Conde y Gay, 2003).

Modelos de Circulación General

Los Modelos de Circulación General (MCG) son modelos tridimensionales que deben simular a la atmósfera y a los océanos, a nivel global. En la atmósfera incluyen los vientos, la humedad, las nubes y la concentración de los diversos gases que la componen, analizando sus variaciones temporales y sus variaciones con la altura. En el océano, estos modelos consideran las corrientes marinas, la temperatura y la salinidad y, de manera semejante a la atmósfera, estudian las variaciones de estos parámetros con el tiempo y en el espacio. Los MCG también tienen que modelar la temperatura en la superficie terrestre, los cuerpos de agua y, en ocasiones, y de manera simplificada, la orografía continental (McGuffie *et al.* 1999).

Los modelos resuelven las ecuaciones básicas de la física en cada uno de los sistemas citados (océano, atmósfera, continente). Las soluciones de esas

ecuaciones proporcionan las condiciones específicas de la atmósfera y del océano en un número de puntos de malla, que se obtienen al dividir la superficie del planeta en una serie de rectángulos, de tal forma que por último se tenga una malla o rejilla regular (Magaña *et al.* 2000).

Los modelos más modernos construyen estos rectángulos con una resolución de 2 a 5° latitud x longitud, por lo que algunas mallas abarcan espacialmente entre 200 y 400 km. Finalmente, los MCG incluyen desde 6 hasta 50 niveles atmosféricos en la vertical (Magaña *et al.* 2000).

Por lo anterior, los MCG tienen como primera limitante el compromiso que se establece entre la resolución espacial y el tiempo requerido para realizar las simulaciones numéricas. En segundo lugar, su resolución espacial impide utilizarlos de manera directa para estudios regionales o locales (Magaña *et al.* 2000).

No obstante, estos modelos simulan las condiciones globales de temperatura, precipitación y radiación incidente, bajo condiciones actuales o bajo condiciones de una duplicación de bióxido de carbono, referidas como 1xCO₂ (330 partes por millón) y 2xCO₂, respectivamente. Las condiciones de 2xCO₂ se emplean para simular el cambio climático global, ya que el bióxido de carbono es un gas de efecto invernadero cuyo incremento se ha asociado directamente con la actividad humana, desde mediados del siglo pasado (Watson, *et al.*, 1995). Según los escenarios de emisiones futuras, la duplicación en la concentración de este gas podría manifestarse para mediados o finales del siglo XXI, provocando un calentamiento global.

Para elaborar los escenarios de impactos de cambio climático para México, primero se desarrollaron los escenarios de cambio en temperatura y precipitación para nuestro país. Para ello se utilizaron los modelos HADLEY (HADGEM1, elaborado en el Hadley Center), ECHAM (ECHAM5, elaborado en el German Climate Research Center /Hamburg) y GFDL (GFDL CM2.0, elaborado en el US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), (Conde *et al.* 2011). Estos Modelos de

Circulación General (MCG) fueron seleccionados porque tienen un mejor desempeño para representar el clima de nuestra región, además de que están siendo usados por otros países de la misma región geográfica de México (Gay y Estrada, 2007).

Familias de escenarios de cambio climático

Debido a que las proyecciones de cambio climático dependerán en gran medida de la actividad humana en el futuro, los modelos climáticos se ejecutan en los escenarios. Cada escenario climático es la suposición de cierto nivel de emisión de gases con efecto invernadero, llamados “escenarios de emisiones” y la utilización de resultados de predicciones de modelos de simulación del clima a nivel mundial, llamados “Modelos de Circulación Global” (García, 2010). Hay 40 escenarios y cada uno toma diferentes hipótesis de de la contaminación futura de gases de efecto invernadero, uso de suelo y otras variables. Las suposiciones sobre el futuro desarrollo tecnológico se hacen así para cada escenario. La mayoría incluyen u aumento en el uso de combustibles fósiles, aunque algunas versiones de B1 tienen menores niveles de consumo para 2100.

Hay dos grandes familias de escenarios. Los escenarios “A” describen un mundo futuro con alto crecimiento económico, mientras que en los “B” ese crecimiento es más moderado. Los escenarios A1 y B1 suponen que habrá una globalización tal que las economías convergerán en su desarrollo. En los A2 y B2, se considera que el desarrollo se dará más a nivel regional. Estos escenarios parten de un conjunto de suposiciones acerca de la evolución de los forzantes a nivel global y regional. Las reservas petroleras y de carbono, permiten suponer en estos escenarios que éstas serán fuente de energía por lo menos para los próximos 100 años (Conde y Gay, 2003).

Las familias de escenarios de cambio climático descritas en el tercer y cuarto informe de evaluación del IPCC (2001 y 2007) se describen a continuación.

Los escenarios A1 se caracterizan por:

- El rápido crecimiento económico.
- Una población mundial que llega a 9000 millones en 2050 y luego disminuye gradualmente.
- La propagación rápida de las tecnologías nuevas y eficientes.
- Un mundo convergente –los ingresos y el modo de vida de las regiones en convergencia. Amplia las interacciones sociales y culturales en todo el mundo.

Los escenarios A2 se caracterizan por:

- Un mundo que actúa independientemente, las naciones son autosuficientes.
- El continuo incremento de la población.
- Regiones orientadas hacia el crecimiento económico.
- Cambios tecnológicos más lentos y fragmentados y mejoras en el incremento per cápita.

Los escenarios B1 presentan las siguientes características:

- El rápido crecimiento económico como en A1, pero con cambios hacia una economía de servicios e información.
- Aumento de la población de 9 mil millones en 2050 y posteriormente una disminución.
- Las reducciones en el consumo de materiales y la introducción de tecnologías menos contaminantes y recursos.
- Un énfasis en soluciones globales para la estabilidad económica, social y ambiental.

Los escenarios B2 se caracterizan por:

- El continuo incremento de la población pero a un ritmo más lento que en A2.
- Atención de las soluciones más locales que globales para la estabilidad económica, social y ambiental.
- Niveles intermedios de desarrollo económico.
- Menos rápido y el cambio tecnológico esta más fragmentado que en A1 y B1.

Efectos del cambio climático en algunas plagas y enfermedades agrícolas y forestales

Se han publicado varios trabajos sobre los impactos del cambio climático en la distribución, supervivencia e incidencia de algunas plagas y enfermedades agrícolas y forestales, muchos de ellos han utilizado los Modelos de Circulación General para realizar las predicciones. Bergot *et al.* (2004) y Marcais *et al.* (2004) realizaron estudios sobre los efectos del cambio climático en la distribución del hongo *Phytophthora cinnamomi*, uno de los patógenos forestales más ampliamente distribuido y destructivo en Europa. La supervivencia del patógeno durante el invierno es fundamental para el desarrollo de la enfermedad conocida como “pudrición de la raíz” que ataca a los robles, principalmente a las especies *Quercus robur* y *Q. rubra*. Los rangos de distribución geográfica potencial de la enfermedad fueron comparados en Francia entre dos períodos de referencia: 1968-1998 y 2070-2099. Los resultados obtenidos predicen un aumento de las tasas anuales de supervivencia de *P. cinnamomi* y un rango de expansión potencial de la enfermedad de uno a cientos de kilómetros en la región a final de siglo. Por otra parte, Ghini *et al.* (2008) realizaron un estudio en Brasil para evaluar el impacto potencial del cambio climático sobre la distribución espacial del nematodo del café *Meloidogyne incognita* y el minador de la hoja *Leucoptera*

coffeella. Ellos realizaron proyecciones de cambio climático para 2020, 2050, y 2080 utilizando los escenarios A2 y B2 que obtuvieron a partir de cinco modelos de circulación general disponibles en el Centro de Distribución de Datos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. En los resultados obtenidos en el escenario A2 predicen un aumento de la infestación del nematodo y de la plaga, debido a un mayor número de generaciones por mes, que se produjo en el marco de estadísticas climatológicas normales de 1961-1990. El número de generaciones también aumentaron en el escenario B2, pero fue menor que en el escenario A2 para ambos organismos. En México, Villers *et al.* (2009) realizaron un estudio para estimar los efectos del cambio climático en el cultivo de café en la región de Huatusco, Veracruz. Los resultados de dicho estudio según los escenarios de cambio climático aplicados pueden provocar diferencias importantes en la climatología regional, alterando el inicio de la floración que está relacionado con el promedio de lluvia mensual y la amplitud de la sequía preestival que se presenta durante los meses de invierno. Asimismo, el cambio climático impactaría sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto, estos cambios tendrían repercusiones sobre algunas plagas y enfermedades que requieren un alto porcentaje de humedad relativa para reproducirse como el mal de hilachas *Corticium Koreloga*, la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* y la broca del fruto *Hypothenemus hampei*.

Efectos de la variación de la temperatura sobre la broca del café

Jaramillo *et al.* (2009) analizaron la relación entre la variación en la temperatura y la supervivencia de la broca del café *H. hampei*: Encontraron que ésta ocurre principalmente entre los 15°C y 27°C; después de este intervalo, la supervivencia de la broca decrece considerablemente. La mayor mortandad de *H. hampei* ocurre a los 35°C. La temperatura afecta la proporción de las hembras de *H. hampei* por su posicionamiento respecto a la colonización del fruto. La posición de las hembras de *H. hampei* en los frutos del café es significativamente afectada por la temperatura.

La clasificación de la broca según el estado de posicionamiento tomada de Camilo *et al.* (2003) se describe a continuación:

Posición A: La hembra inicia la búsqueda y colonización de un nuevo fruto pero no ha penetrado el exocarpo.

Posición B: La hembra ha penetrado el fruto pero no ha alcanzado el endospermo.

Posición C: La hembra ha alcanzado el endospermo pero no ha ovipositado.

Posición D: La hembra ha hecho una galería en el endospermo y uno o más estados inmaduros se encuentran en ella.

En la figura 2 se muestra la clasificación del posicionamiento de la broca según la descripción anterior.

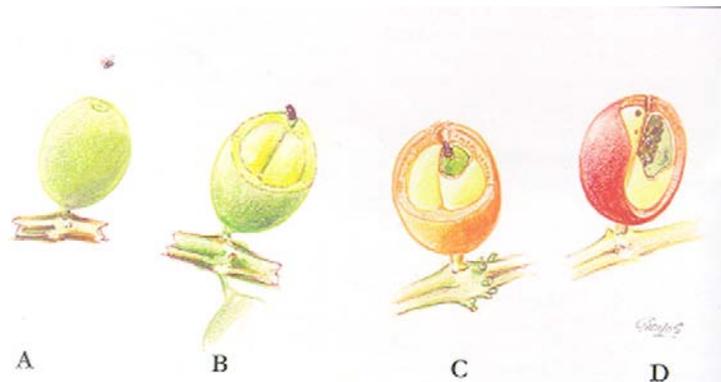


Figura 2: Clasificación de la broca según estado de posicionamiento (tomada de Camilo *et al.* 2003).

Según Jaramillo *et al.* (2009) el mayor porcentaje de hembras de *H. hampei* en la posición D ocurrió a los 25°C (74%) seguida de 23°C (54.2%), 20°C (52.3%) y 33°C (49.7%). A 15°C la mayor proporción de las hembras fueron encontradas en la posición C (76,9%) y a 35°C el mayor porcentaje de hembras se encontró en la posición B lo cual significa que a 15°C la mayoría de las hembras alcanzan el

endospermo pero no ovipositan y a 35°C la mayoría de las hembras no alcanzan el endospermo (figura 3A). Asimismo, la temperatura afecta significativamente la proporción de mortalidad y supervivencia de la broca. El mayor porcentaje de hembras vivas fueron halladas a 15°C (93.5%), el siguiente fue a 25°C (83.8%) y después a 20°C (75.4°C) (figura 3B). El mayor porcentaje de mortalidad ocurrió a los 35°C y 33°C cuando fue de 41.9% y 26.0%, respectivamente. En general, la mayor proporción de supervivencia de la broca ocurrió entre los 15 y 25°C, a temperaturas de 27 y 30°C la supervivencia decreció considerablemente.

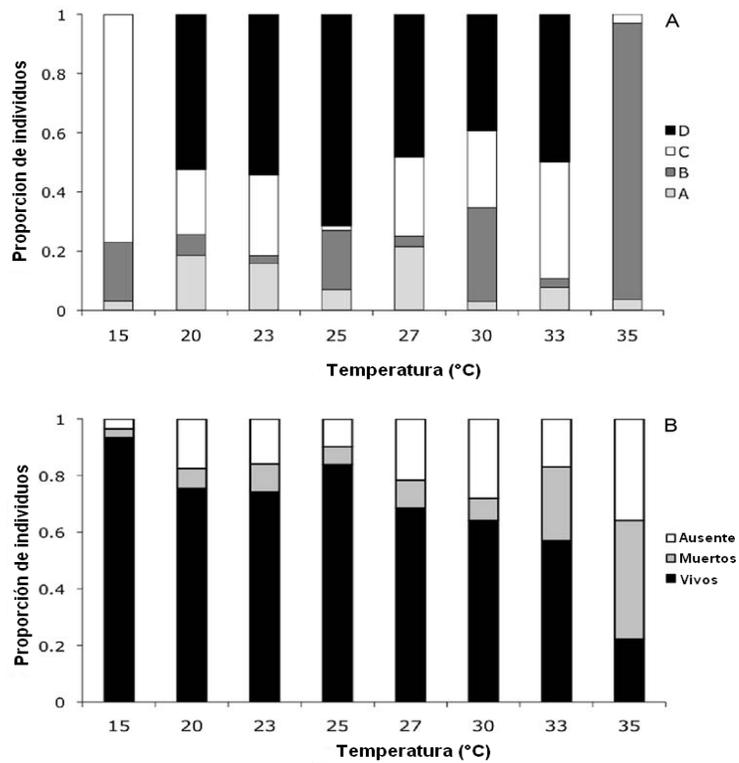


Figura 3A: Efecto de la temperatura en el posicionamiento de la broca, 3B: Efecto de la temperatura en el porcentaje de mortalidad/supervivencia de la broca (Jaramillo *et al.* 2009).

El efecto de la temperatura también afecta las fases fenológicas de la broca, ya que ningún estadio de la broca se desarrolla por debajo de los 15°C, ni por encima de los 35°C. A 33°C las hembras ovipositaron pero el 95% de las larvas murieron después de la eclosión. La duración de todos los estados inmaduros fue significativamente mayor a 20°C que a 23, 25, 27 y 30°C. El aumento de la temperatura también afecta la tasa intrínseca de crecimiento de la

broca, la cual se define como la diferencia entre la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad en una población cuyo valor máximo se denomina potencial biótico (r); ésta fue significativamente mayor a temperaturas de 25°C y 27°C (figura 4). La tasa intrínseca de crecimiento (r) se incrementó 8.5% por cada 1°C de elevación de la temperatura hasta los 26.7°C, temperatura óptima de reproducción de la broca, según las estimaciones realizadas por Jaramillo *et al.* (2009).

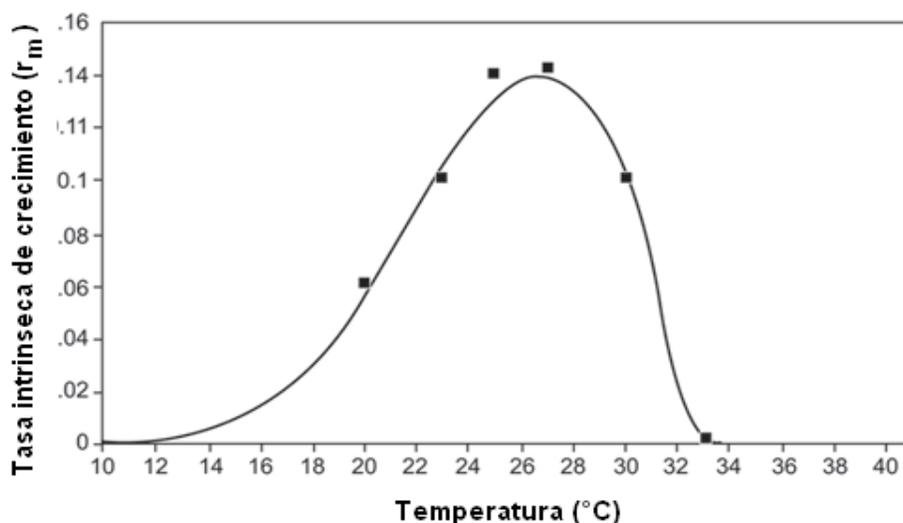


Figura 4: Tasa intrínseca de crecimiento de *H. hampei* estimada en función de la temperatura (Jaramillo *et al.* 2009)

Las constantes obtenidas por Jaramillo *et al.* (2009) para la tasa de crecimiento de la broca en los estadios de huevo, larvas, prepupa, pupa y adulto se presentan en la tabla 4.

Estadios	Intervalo lineal (°C)	Ecuaciones de regresión
Huevos	20-30	$Y = -0.37713 + 0.02265 * T$
Larva I	20-30	$Y = -0.78949 + 0.04815 * T$
Larva II*	20-27	$Y = -0.13038 + 0.01249 * T$
Pre pupa	20-27	$Y = -20.2778 + 0.01791 * T$
Pupa	20-27	$Y = -0.29549 + 0.01861 * T$
Adulto	20-27	$Y = -0.05689 + 0.00381 * T$

Tabla 4. Constantes de regresión lineal para calcular la tasa de desarrollo de la broca a diferentes temperaturas (Jaramillo *et al.* 2009)

OBJETIVO GENERAL

- Estimar los efectos del cambio climático sobre la distribución e incidencia de la roya anaranjada del cafeto *Hemileia vastatrix* y la broca del fruto de cafeto *Hypothenemus hampei* en la región de Coatepec, Veracruz.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar una revisión bibliográfica de los efectos de la variación en las condiciones de temperatura y precipitación en la biología de la roya y la broca del cafeto.
- Documentar las observaciones de los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C. sobre la distribución de la roya *Hemileia vastatrix* y la broca *Hypothenemus hampei* con respecto a las variaciones en la temperatura y precipitación en el área de estudio.
- Estimar los posibles efectos del cambio climático en la incidencia de la roya y la broca del cafeto en la región de Coatepec, Veracruz.
- Hacer una revisión de las medidas de control biológico utilizadas para el control de la roya y la broca del cafeto en el área de estudio.

JUSTIFICACIÓN

Una predicción derivada del cambio climático es el incremento de la capacidad eruptiva de las especies conocidas como “plaga”. La razón es que las especies plaga comparten usualmente dos características básicas: sensibilidad a los cambios del clima (sobre todo la temperatura) y elevado poder reproductivo. La evidencia recogida hasta ahora y los modelos desarrollados, sugieren que el cambio global implicará una redistribución de las especies plaga, dando lugar a “invasiones” sobre nuevos hábitats (Virtanen *et al.* 1998, Ayres y Lombardero 2000, Fuhrer 2003, Logan *et al.* 2003).

Los efectos que el cambio climático podría tener sobre la biología de la roya anaranjada del cafeto *H. vastatrix* y la broca del fruto del cafeto *H. hampei*, es un tema importante para la producción de café, debido a las pérdidas económicas que podrían generar ambos organismos al aumentar su tasa de reproducción y su área de distribución como consecuencia de la elevación de la temperatura en la región de Coatepec, Veracruz.

HIPOTESIS

El aumento de la temperatura media en la región de Coatepec, ocasionado por el cambio climático, podrá influir en el incremento de la distribución e incidencia de la roya y la broca del café.

ÁREA DE ESTUDIO

Taller participativo

El taller participativo con los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec A. C., se llevó a cabo en el municipio de Coatepec, Veracruz. En el taller se contó con la participación de representantes de los municipios de Coatepec, Naolinco, Cosautlán, Xico, Xalapa, Teocelo y Emiliano Zapata.

➤ *Clima del área de estudio*

La región de Coatepec se localiza dentro de la región tropical y es afectada a lo largo del año tanto por sistemas tropicales como extratropicales. Así, durante el verano, se presenta el paso de las masas de aire tropical, las ondas del este, las depresiones, tormentas tropicales y huracanes, por lo general a partir de junio y en algunas ocasiones durante la segunda quincena de mayo (Palma, 2005). Durante el invierno, en los meses de octubre a mayo, se tiene el paso de las masas de aire polar en forma de frentes fríos llamados “Nortes”, así como también la invasión de aire frío asociado al paso de vaguadas polares (Tejeda *et.al.*, 1989; Acevedo *et.al.*, 2006).

CONABIO (1998) reporta una variedad de climas para la cuenca, desde los climas fríos hasta los cálidos húmedos, debidos principalmente al fuerte gradiente altimétrico en la cuenca (de 300 a 4240 msnm). La orientación norte-sur de la sierra, hace que ésta se ubique frente a la penetración de las masas de aire húmedo provenientes del Golfo de México, dando como resultado dicho gradiente climático muy diferenciado (Hoffmann, 1993). Soto *et.al.*, (1989) identifica los siguientes factores climáticos como modificadores del clima de la región de estudio: 1) la latitud; 2) el efecto de barrera climática que ejerce la Sierra Madre Oriental; 3) la presencia del Cofre de Perote y del Pico de Orizaba, con sus efectos sobre la variedad de las condiciones climáticas de la zona; 4) la influencia de la corriente cálida del Golfo de México, los vientos alisios y huracanes; y finalmente, 5) la saliente hacia el Golfo de México de la Sierra Madre Oriental, que provoca dos efectos en las inmediaciones del paralelo 20°N: a) de barrera contra

Nortes o frentes fríos, lo cual repercute en una menor variación en las temperaturas mínimas respecto a las regiones situadas al norte de ésta, y b) de “sombra de lluvia” para la región situada al sur del paralelo 20°N, la menos húmeda del estado. También se señala la importante situación del estado en el área de influencia de los “ciclones tropicales” hacia fines de verano y en otoño, así como de los “nortes” en la época invernal (Soto *et. al.*, 1989; Tejeda, 2006). Los primeros influyen tanto en la dirección del viento como en el incremento de la precipitación especialmente en el mes de septiembre. Los segundos, provenientes de la parte norte del continente y con dirección sur, tienen influencia en la dirección que prevalece en el invierno y también en la cantidad de lluvia invernal. De manera general, las masas de aire cargadas de vapor sobre el Golfo de México son empujadas por los vientos alisios hasta chocar con la sierra donde son obligadas a subir, enfriarse y condensarse rápidamente, provocando así fuertes precipitaciones. A este proceso se le debe de añadir uno más regional, la evapotranspiración debida a la vegetación, que participa en la saturación de vapor de agua en la atmósfera.

Entrevista

La entrevista a los productores se realizó en el municipio de Naolinco, el cual se sitúa en la zona montañosa central de Veracruz que forma parte de la región cafetalera de Coatepec. Sus coordenadas son 19° 39' latitud Norte y 96° 52' longitud Oeste, con altitudes que oscilan entre 900 y 1800 msnm. El clima es templado-húmedo, con temperatura promedio anual de 18°C y una precipitación pluvial media de 1,640 mm. La ubicación geográfica de las fincas visitadas es 19°37'33.46" latitud norte y 96°52'39.08" longitud oeste y 19° 37' 34.85" latitud norte y 96° 52' 13.83" longitud oeste, ambas se encuentran a una altura de 1001 msnm y 1026 msnm, respectivamente (figura 5).

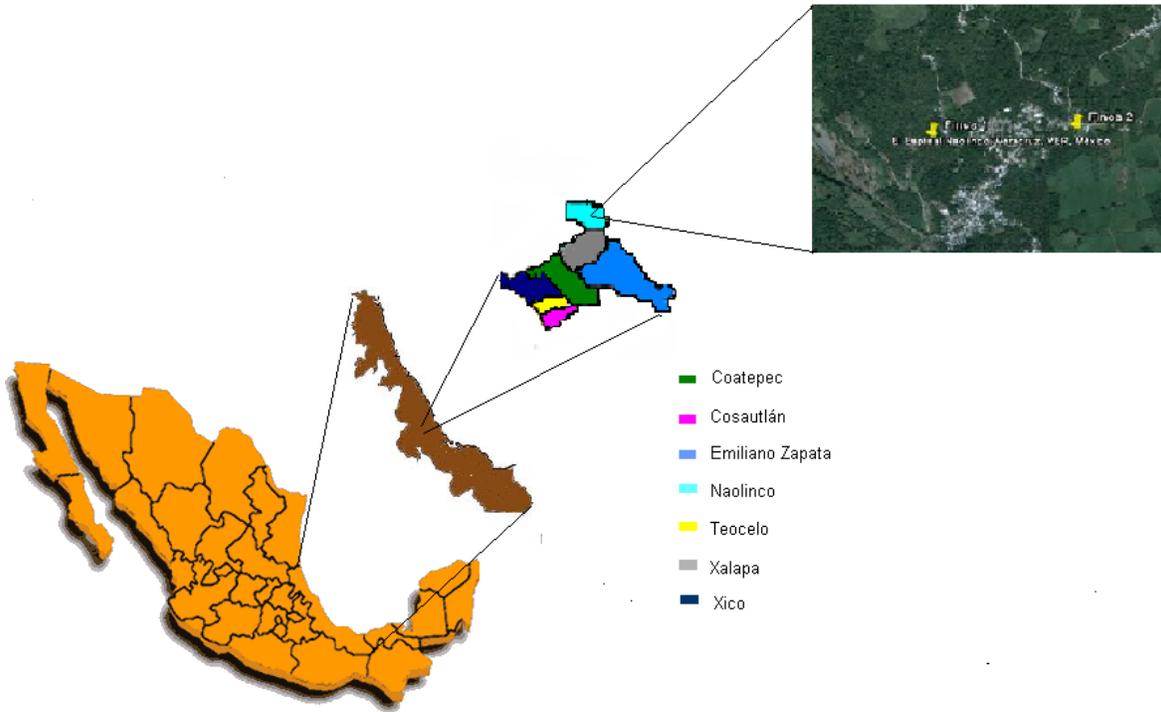


Figura 5: Ubicación de las fincas en El Espinal, Naolinco en la región de Coatepec, Veracruz

MÉTODO

1. Revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el efecto que las condiciones climáticas y el cambio climático tiene sobre la roya anaranjada del cafeto *Hemileia vastatrix* y la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei*, mediante la consulta de diversas fuentes en el Instituto Nacional de Ecología (INECOL), el Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Xalapa, la biblioteca de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, la Biblioteca de la Facultad de Ciencias y la revisión de artículos científicos.

2. Taller participativo

Se realizó un taller participativo en el municipio de Coatepec con los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C., con representantes de los municipios de Coatepec, Naolinco, Cosautlán, Xico, Xalapa, Teocelo y Emiliano Zapata.

Los objetivos a realizar durante el taller fueron:

1. Obtener el calendario de actividades productivas durante el ciclo cafetalero mediante un formato de calendario de cultivo.
2. Determinar durante el ciclo cafetalero la presencia de la roya anaranjada del café y la broca del fruto del café, así como las plagas y enfermedades que ocurren durante el mismo.

Para registrar la información proporcionada por los productores se utilizó un plumón y un calendario de cultivo. Se explicó a los productores la función del calendario en el cual se registraron los meses del año y las actividades productivas realizadas en la región.

Además, se pidió a los productores que indicaran durante qué fase del ciclo cafetalero aparecía la roya y la broca del cafeto durante el ciclo cafetalero y cuáles eran las condiciones climáticas que favorecían su aparición. Asimismo, se solicitó a los productores comparar la situación actual de ambas plagas con respecto a otros años y mencionar cuales años habían presentado un incremento en el ataque de plagas según su experiencia.

3. Entrevista

Se realizó una visita a las fincas de dos productores de El Espinal, municipio de Naolinco, en la región cafetalera de Coatepec, para realizar una entrevista sobre el efecto de las condiciones climáticas de la región y su influencia en la incidencia de la roya y la broca del cafeto,, así como las medidas de control que utilizan para combatir a la roya y la broca del cafeto (figura 6)



Figura 6. Entrevista a los productores del C.R.C.C. A. C., en la localidad El Espinal, Municipio de Naolinco.

4. Estimaciones de los efectos del cambio climático para los horizontes 2020, 2050 y 2080 para la broca del café.

Se utilizaron los datos de salida de los Modelos de Circulación General (MCG): ECHAM, HADLEY y GFDL, generados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2001). Estos modelos fueron seleccionados porque representan mejor el clima esperado regional.

Los escenarios de emisiones que se usaron fueron de tres tipos A1B: emisiones medias altas de gases de efecto invernadero, A2: elevadas emisiones de gases de efecto invernadero y B1: emisiones bajas de gases de efecto invernadero para cada modelo. Se utilizaron los datos de salida de cada escenario para la región correspondiente al área de estudio de la página:

www.pacificclimate.org/tools/select.

Para estimar el impacto del aumento de la temperatura en la región de Coatepec sobre la tasa intrínseca de crecimiento de la broca se utilizó la fórmula dada por Jaramillo *et al.* (2009)

$$Y = K_1 + K_2 * T$$

donde K_1 y K_2 son las constantes para estimar la tasa de desarrollo de la broca y T es la temperatura esperada para los horizontes 2020, 2050 y 2080. Debido a que el estado adulto de la plaga es el que ocasiona los mayores daños al fruto de café, se usaron las constantes de regresión lineal de ese estado para estimar los efectos del cambio climático en El Espinal, municipio de Naolinco perteneciente a la región de Coatepec, Veracruz.

El escenario base se obtuvo a partir de las estadísticas climatológicas dadas por INIFAP (2006) cuyo resumen se presenta en la tabla 4 durante los meses de junio, julio y agosto (verano), cuando la broca ocasiona mayores daños, en el municipio de Naolinco y en la región de Coatepec, según los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C.

RESULTADOS

1. Revisión bibliográfica

En la tabla 5 se resumen los factores climáticos y ambientales que afectan la germinación e infección de las uredosporas de la roya del cafeto *H. vastatrix*:

	Humedad Relativa	Temperatura	Luz	Altitud
Roya del cafeto (<i>H. vastatrix</i>)	A partir del 50 %	Mínima 15°C Optima 23.7°C Máxima 28°C	Ausencia	Principalmente por debajo de 650 msnm

Tabla 5: Condiciones climáticas y ambientales que determinan la germinación e infección de la roya (Kushalappa y Eskes, 1989; Nutman y Roberts, 1963; Montoya, 1974).

En la tabla 6 se presentan los valores de los factores climáticos y ambientales que afectan la emergencia y colonización del fruto por parte de la broca:

	Humedad Relativa	Temperatura	Sombra	Altitud
Broca del cafeto (<i>H. hampei</i>)	80 al 100%	Mínima 15°C Optima 25°C Máxima 35°C	Abundante	700 a 900 msnm

Tabla 6: Condiciones climáticas que determinan la emergencia y colonización de la broca del cafeto (Ticheler, 1961; Bergamin, 1946; Yamamoto, 1948; Baker, 1992; Jaramillo *et al.* 2009; Hargreaves, 1926; Barrera y Covarrubias, 1984; Klein y Koch, 1984; Díaz *et al.* 2007 y Ferreira *et al.* 2000).

2. Taller participativo con los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C.

A partir del taller participativo se obtuvo el calendario del ciclo agrícola en la región cafetalera de Coatepec, Veracruz, el cual se muestra en la tabla 7, en donde se indican las fases productivas, así como la fenología y aparición de las plagas y enfermedades más frecuentes en la región. Las fases del ciclo cafetalero, según la información proporcionada por representantes del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C, se describen a continuación:

- 1) *Semillero*: El semillero es un camellón que debe limpiarse y desinfectarse antes de la siembra, con fungicidas y nematicidas. El suelo se aplana y

posteriormente se hacen surcos aproximadamente a unos 10 cm de distancia. A 2 cm de profundidad se siembra el grano, el cual se cubre con hoja de plátano para conservar la humedad y temperatura que requiere el grano para germinar. El semillero se establece durante los meses de marzo hasta mayo.

- 2) Vivero: Cuando el grano ha germinado y se encuentra en la etapa de soldadito y mariposa, se colocan en bolsas de 15 x 30 cm con las raíces estiradas, donde se fertiliza y desinfecta cada 15 o 25 días hasta que alcanza la altura aproximada de 50 cm. Durante esta fase se aplican fertilizantes foliares, fungicidas e insecticidas, así como fertilizantes para el suelo. Esto se hace durante los meses de julio hasta septiembre.
- 3) Preparación del terreno: Durante esta etapa del ciclo cafetalero, se limpia el terreno y se afloja la tierra. Posteriormente, se hacen los trazos o caminos y los hoyos en el suelo, donde se sembrarán las plantas nuevas. Esto se lleva a cabo durante los meses de abril a mayo.
- 4) Siembra: La planta de arranque es aquella planta que está lista para sembrarse y se lleva al hoyo. Dos años después de que la planta es sembrada, ésta se desarrolla hasta una altura de 3 metros aproximadamente. La siembra se lleva a cabo durante los meses de mayo, junio y julio.
- 5) Fertilización: La primera fertilización se lleva a cabo a partir del mes de febrero y se continúa hasta el mes de junio. Depende de la intensidad de las lluvias, ya que la precipitación favorece la penetración del fertilizante en el suelo. El abono se aplica durante los meses de mayor humedad. La fertilización es de “media luna”, es decir, se aplica medio metro alrededor de la planta. La cantidad aplicada es de 2 puños y cada puño equivale a 100 grs., aproximadamente. La segunda fertilización se lleva a cabo durante el mes de octubre.

- 6) Poda: Se realiza en los meses de abril y mayo y consiste en la eliminación de la yema terminal de una planta para detener su desarrollo vertical y estimular el crecimiento lateral de los ejes, es decir, el desarrollo de abundante ramificación secundaria y terciaria.
- 7) Chapeo: El chapeo o limpia tiene como finalidad el control de malezas y la regulación de sombra, se lleva a cabo durante el mes de agosto. Para regular la sombra se utilizan arboles como el “chalahuite” (*Inga* spp.), plátano (*Musa paradisiaca*), naranjo (*Citrus* spp.) y el “jinicuil” (*Inga* spp.).
- 8) Selección de semilla: Se realiza de enero a mayo, cuando la humedad es baja. Los granos elegidos son aquellos que se colectan de los brazos de la parte media de plantas jóvenes. La semilla se despulpa manualmente y el grano se seca en la secadora.
- 9) Floración: La floración ocurre de marzo a abril, aunque también depende del clima y la altura sobre el nivel del mar, primero ocurre en las zonas bajas y después en las zonas más altas. La floración no dura más de 72 horas, después se cae y queda el pequeño fruto. El grano estará en la planta 7 u 8 meses y va cambiando de color, primero es verde y después rojo hasta estar listo para la cosecha.
- 10) Cosecha: La cosecha se lleva a cabo en los meses de noviembre hasta enero.

Fase del ciclo	Actividad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SEMILLERO	Desinfección y siembra			■	■	■							
	VIVERO							■	■	■			
PLANTACIÓN	Preparación del terreno				■	■							
	Hoyadura					■	■						
	Siembra					■	■	■					
	Fertilización química						■	■	■				
	Podas fitosanitarias				■	■							
COSECHA	■									■	■	■	■
ETAPAS FENOLOGICAS DEL CAFETO	Floración			■	■								
	Crecimiento del fruto					■	■	■	■				
	Madurez de corte	■								■	■	■	■
ENFERMEDADES Y PLAGAS DEL CAFETO	Broca							■	■	■	■		
	Roya						■	■	■	■			
	Gallina ciega						■	■	■				
	Ojo de gallo								■	■			
	Grillo verde						■	■	■	■			
	Gusano barrenador			■	■								

Tabla 7: Calendario de cultivo y plagas en la región cafetalera de Coatepec, Veracruz.

➤ Distribución e incidencia de la roya y la broca en la región de Coatepec, Veracruz

La roya del cafeto *H. vastatrix*, se encuentra presente en la región de Coatepec ocasionando daños a las hojas del café. Los productores identifican a la enfermedad por el polvo naranja que se encuentra en el envés de las hojas. La enfermedad aparece principalmente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuando la humedad aumenta debido a las precipitaciones. En el periodo 2000-2002 se observó un incremento en el ataque de la roya.

La broca se encuentra a lo largo de todo el ciclo cafetalero, pero se incrementa durante el mes de julio y se continúa durante la época de lluvias hasta septiembre. La broca apareció a los 600 msnm en Otates, municipio de Actopan, pero conforme se ha notado un incremento en la temperatura de la región, por encima de los 20 °C, ahora se encuentra con más frecuencia por encima de los 1000 msnm.

➤ Otras plagas y enfermedades de importancia económica en el área de estudio

- “Gallina ciega” (*Phyllophaga* spp.): Es una plaga que se presenta principalmente, durante los meses de junio, julio y agosto en la plantación.
- “Ojo de gallo” (*Mycena citricolor*): Es una enfermedad que aparece en el mes de septiembre y esta asociada al aumento de la humedad por la precipitación.
- “Grillo verde” (Tettigonidae): Es una plaga que aparece principalmente, en época de lluvias.
- “Gusano barrenador” (*Plagiohammus* spp.): Es una plaga que aparece durante el mes de marzo en la temporada de secas.
- Nemátodos: se encuentran durante todo el ciclo cafetalero, atacando las raíces de las plántulas.

3. Entrevista a productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C.

Se realizó una visita a dos fincas de los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A.C. en la localidad de El Espinal, municipio de Naolinco, el día 4 de septiembre de 2009, para obtener información sobre la clasificación local de plagas y enfermedades, así como de su control. Además se obtuvieron los datos de temperatura para el periodo 1970-2003 del municipio de Naolinco para corroborar el aumento de la temperatura media durante el periodo 2000-2002, en el que se registró un aumento en la incidencia de plagas. Los resultados se presentan a continuación:

➤ Condiciones climáticas y físicas

Los productores refirieron la primera mitad del año 2009 fue muy seca y se tuvo que recurrir al riego durante los meses de junio a agosto debido a la falta de lluvias. Esto ocasionó que las plantas siguieran en el vivero cuando ya tenían que haber sido plantadas.

➤ Características de las fincas

Las fincas visitadas se encuentran a 980 y 1025 msnm. El suelo de la zona es apto para el cultivo de café, ya que es profundo y bien drenado y una parte es de origen volcánico por lo cual se le llama “malpaís”.

Para sembrar las plántulas se elige la mejor tierra y se trata con formol para eliminar cualquier agente que pudiera dañarlas a pesar de que en ocasiones son atacadas por el “Damping-off”, enfermedad causada por los hongos *Rhizoctonia* y *Fusarium*.

➤ Variedades de café cultivadas

Las variedades que los productores cultivan principalmente son: Típica, Bourbon, Caturra, Catimor y Garnica. En la localidad de El Espinal se siembran aproximadamente 800 Ha de café.

Las variedades Criolla, Catimor y Garnica crecen muy bien en El Espinal. El café Garnica es el que más se cultiva, ya que produce café de buena calidad. La proporción de variedades depende de cada productor y de las características de su finca, algunos cultivan más Criollo y otros Garnica.

➤ *Influencia de las condiciones climáticas en la incidencia y distribución de la broca y la roya*

La plaga más dañina en la localidad de El Espinal es la broca del cafeto (figura 7). La presencia de la broca se incrementa en los meses de julio, agosto y septiembre, cuando la humedad relativa aumenta debido a la precipitación (figura 8). Las zonas con menos sombra son las más afectadas por la broca ya que su desarrollo ocurre principalmente a temperaturas de entre 25 °C y 30 °C.



Figura 7. Frutos de café infestados por la broca *H. hampei* en la localidad El Espinal, Municipio de Naolinco.

➤ *Control biológico de la roya y la broca en la región de Coatepec, Veracruz*

Para el control de la roya, los productores utilizan principalmente el Oxiclورو de Cobre como control químico, ya que actualmente no se aplica el control biológico del hongo.

Para el control biológico de la broca se utiliza el hongo *Beauveria bassiana*, ya que ha dado buenos resultados en la región.

4. Escenarios de cambio climático para la broca del cafeto

La tasa intrínseca de crecimiento (r) de la broca es afectada principalmente por la temperatura, el máximo potencial biótico se alcanza a los 26.7 °C según las estimaciones realizadas por Jaramillo *et al.* (2009), por lo que el porcentaje de la broca se incrementaría en aquellas zonas donde la temperatura media se encuentra por debajo de ese valor. En el municipio de Naolinco la temperatura media es de 18.6 °C para los meses de junio, julio y agosto de acuerdo a las estadísticas climatológicas dadas por INIFAP (2006). A partir de éstas se construyó el escenario base para realizar las estimaciones de cambio climático.

Para calcular la tasa intrínseca de crecimiento del escenario base se utilizó la fórmula dada por Jaramillo *et al.* (2009):

$$Y = K_1 + K_2 * T$$

donde Y es la tasa intrínseca de la broca en estado adulto, $K_1 = 0.00381$ y $K_2 = -0.05689$ son las constantes para estimar la tasa de desarrollo de la broca en estado adulto y T es el aumento de temperatura. La tasa intrínseca de crecimiento de la broca a una temperatura de 18.6 °C es de 1.3%.

Utilizando la misma fórmula y las salidas de los modelos GFDL, ECHAM y HADLEY se estimó el incremento de la tasa intrínseca de crecimiento de la broca para los horizontes 2020, 2050 y 2080. Los escenarios que se utilizaron para realizar las estimaciones fueron el A2 (emisiones altas de gases de efecto invernadero), A1B (emisiones medias altas de gases de efecto invernadero) y B1 (emisiones bajas de gases de efecto invernadero). Las salidas de los modelos, que aparecen en la tabla 8, se obtuvieron de la página: www.pacificclimate.org/tools/select.

Escenario	Longitud	Latitud	2020 (°C)	2050 (°C)	2080 (°C)
GFDLCM 21 A1B	-96.25	19	1.176	2.093	3.239
ECHAM5 A1B	-97.5	19.58	0.833	2.322	3.550
HADCM3 A1B	-97.5	20	1.169	3.226	5.443
GFDLCM21 A2	-96.25	19	1.100	2.004	3.945
ECHAM5 A2	-97.5	19.58	1.063	1.974	4.065
HADCM3 A2	-97.5	20	1.747	2.802	6.050
GFDLCM21 B1	-96.25	19	1.056	1.394	2.232
ECHAM5 B1	-97.5	19.58	0.716	1.741	2.511
HADCM3 B1	-97.5	20	1.110	2.403	3.480

Tabla 8. Datos de salida de los modelos GFDL, ECHAM y HADLEY y escenarios A1B, A2 y B1 para 2020, 2050 y 2080.

Los resultados obtenidos a partir de los escenarios de cambio climático indican que la tasa intrínseca de crecimiento de la broca aumentará ocasionando mayores daños al cultivo de café. El incremento de la temperatura en las zonas más altas de la región de Coatepec, como la localidad El Espinal en el municipio de Naolinco provocará mayores porcentajes de infestación, como lo han reportado los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec, A. C.

A continuación se presentan las estimaciones para la tasa intrínseca de crecimiento de la broca según los escenarios de cambio climático A1B, A2 y B1:

Para el escenario A1B (emisiones medias altas de gases de efecto invernadero), el incremento para el horizonte 2020 sería de 0.5% para el modelo GFDL, 0.3% para ECHAM y 0.4% para HADLEY. Para el horizonte 2050 el incremento sería de 0.8% para GFDL, 0.9% para ECHAM y 1.4% para HADLEY. Para el horizonte 2080 el incremento sería de 1.3% para GFDL, 1.4% para ECHAM y 2.4% para HADLEY (figura 8).

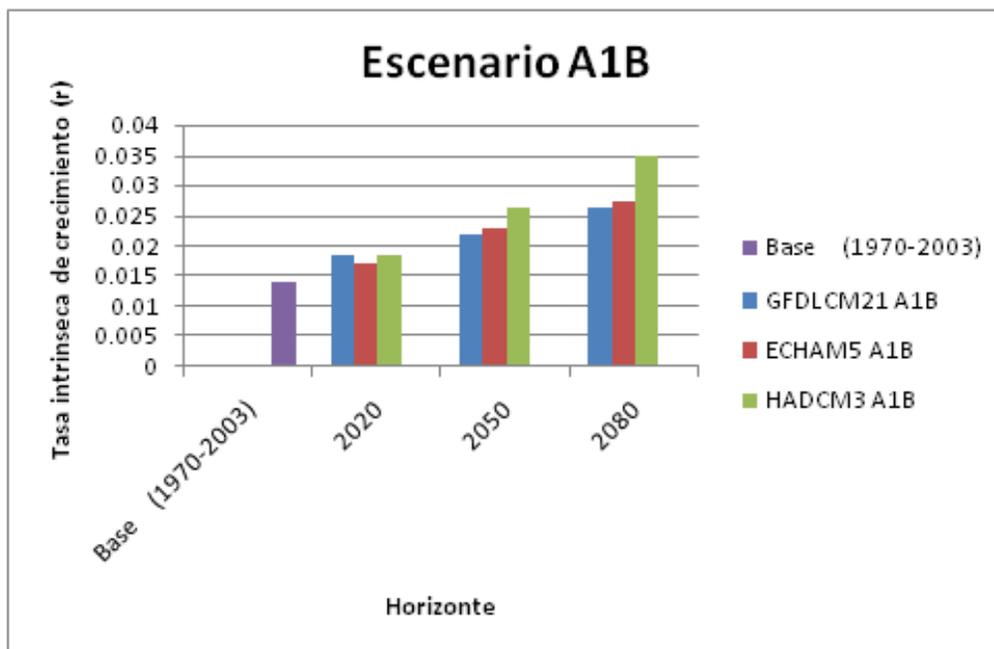


Figura 8. Estimaciones del aumento de la tasa intrínseca de crecimiento de la broca (r) para los horizontes 2020, 2050 y 2080 según los MCG: GFDL, ECHAM y HADLEY y el escenario A1B.

Para el escenario A2 (emisiones altas de gases de efecto invernadero), se estima que el porcentaje de incremento para el horizonte 2020 será de 0.5% para los modelos GFDL y ECHAM y 0.7% para el modelo HADLEY. Para el horizonte 2050 el incremento será de 0.8% para GFDL y ECHAM y 1.2% para HADLEY y para 2080 el incremento será de 1.5% para el modelo GFDL, 1.6% para ECHAM y 2.4% para HADLEY (figura 9).

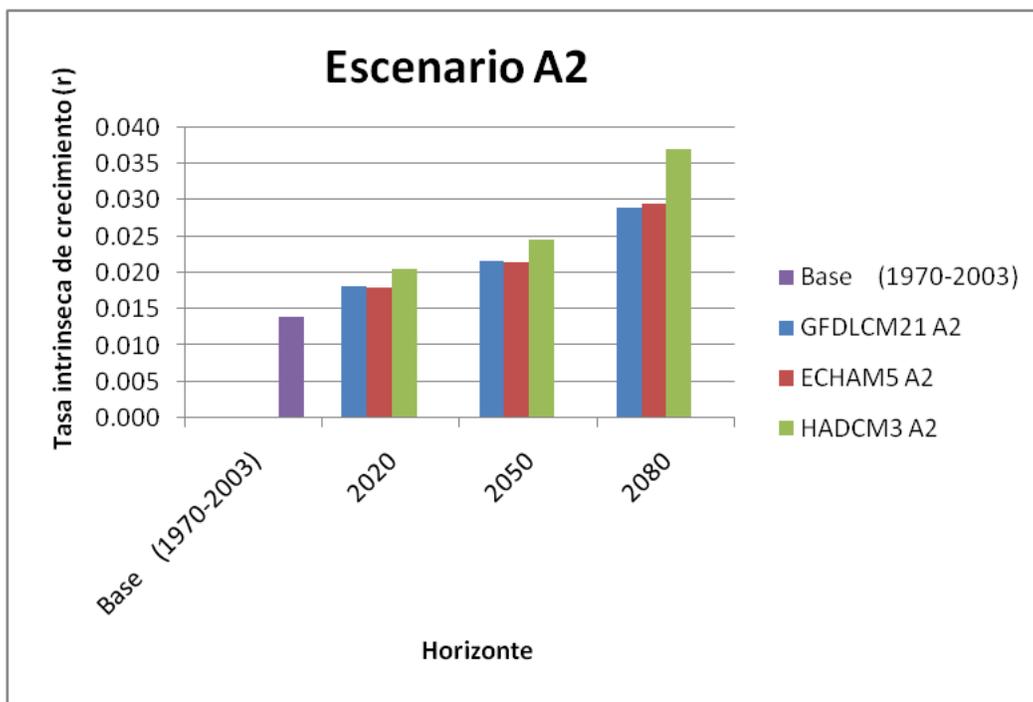


Figura 9. Estimaciones del aumento de la tasa intrínseca de crecimiento de la broca (r) para los horizontes 2020, 2050 y 2080 según los MCG: GFDL, ECHAM y HADLEY y el escenario A2.

Para el escenario B1 (bajas emisiones de gases de efecto invernadero), el incremento para el horizonte 2020 sería de 0.4% para el modelo GFDL, 0.3% para ECHAM y 0.7% HADLEY. Para el horizonte 2050, el incremento sería de 0.6% para GFDL, 0.7% para ECHAM y 0.8% para HADLEY. Para el horizonte 2080, el incremento sería de 0.9% para GFDL, 1.1% para ECHAM y 1.2% para HADLEY (figura 10).

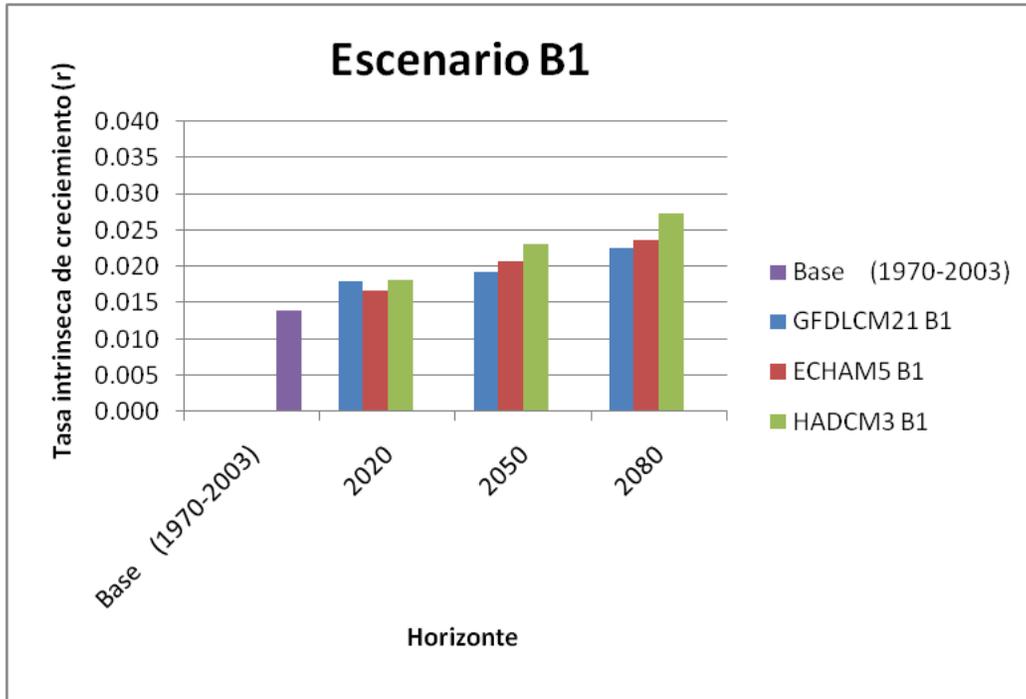


Figura 10. Estimaciones del aumento de la tasa intrínseca de crecimiento de la broca (r) para los horizontes 2020, 2050 y 2080 según los MCG: GFDL, ECHAM y HADLEY y el escenario B1.

En la figura 11 se resumen los resultados obtenidos para los escenarios A1B, A2 y B1 y los horizontes 2020, 2050 y 2080 a partir de los modelos GFDL, ECHAM y HADLEY. En ella se observa que el modelo HADLEY tendría el mayor aumento en la tasa intrínseca de crecimiento de la broca (r).

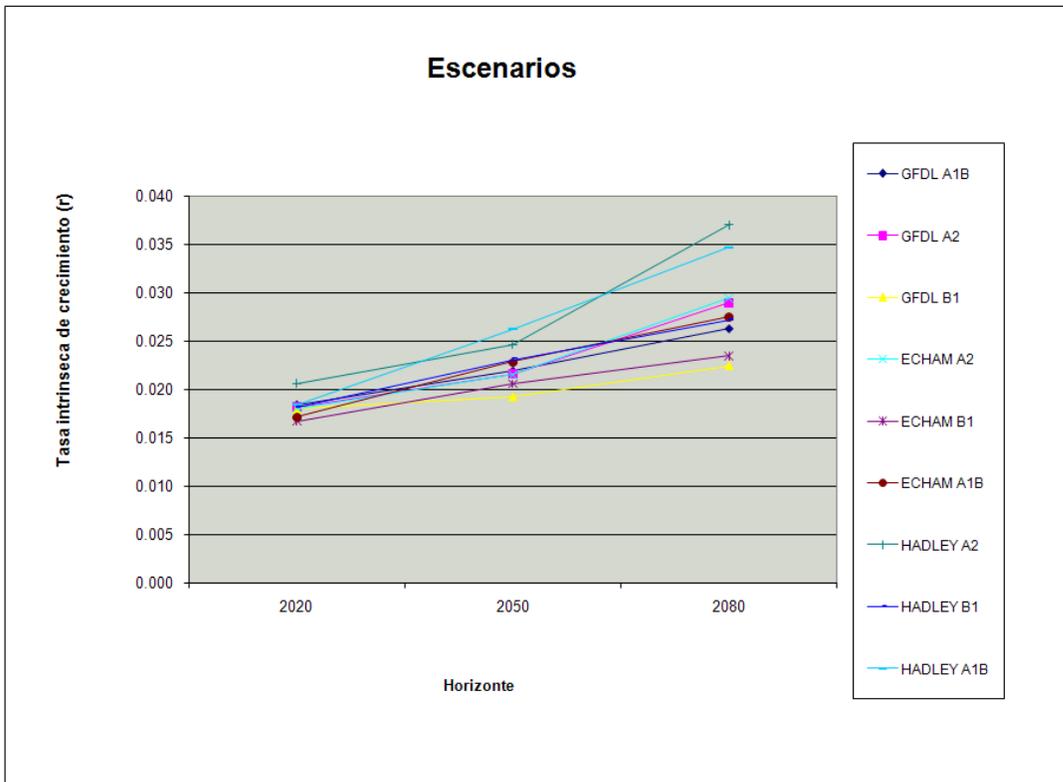


Figura 11. Resumen de las estimaciones de los efectos del cambio climático sobre la tasa intrínseca de crecimiento (r) de la broca del café para los horizontes 2020, 2050 y 2080.

DISCUSIÓN

Los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec A. C. identificaron a la roya y a la broca del cafeto como los dos principales problemas fitosanitarios en el área de estudio.

En el Taller Participativo, conformado por 20 productores, se reportó que la roya se presenta en los meses más húmedos del año debido a las precipitaciones, esto ocurre en julio, agosto y septiembre. Los productores señalaron que las temperaturas de 23°C favorecen el desarrollo de la enfermedad, lo cual coincide con lo reportado por varios autores (Montoya, 1974; Nutman y Roberts, 1963), quienes encontraron que la germinación de las uredosporas ocurre principalmente a 23.7 °C.

En el caso de la broca, los productores reportaron que la broca se presenta principalmente, en los meses de junio, julio y agosto debido a la disponibilidad de los frutos y el aumento en la humedad relativa a causa de las lluvias, esto coincide con los trabajos de Bergamin (1946) y Baker *et al.* (1992) quienes reportaron que la broca requiere de condiciones de humedad elevada, por encima del 80% para su reproducción.

Otro factor muy importante que determina la reproducción de la broca es la temperatura ya que los productores han notado que los ataques más importantes de broca ocurren cuando la temperatura se eleva por encima de los 25 °C. Esto coincide con el trabajo de Jaramillo *et al.* (2009) quienes encontraron que además de las condiciones de humedad, la temperatura es el principal factor que puede incrementar la tasa intrínseca de crecimiento de la broca, por lo que la elevación de la temperatura media en la región de Coatepec favorece el aumento en la incidencia de la broca así como su dispersión a zonas más elevadas. Los productores de la región de Coatepec señalaron que anteriormente la broca se encontraba principalmente a una altura de 600 msnm, pero desde su llegada a la región proveniente del municipio de Tezonapa, ésta se ha ido distribuyendo a las zonas más altas de la región cafetalera de Coatepec que se encuentran por

encima de los 1000 msnm, como la localidad El Espinal municipio de Naolinco, donde se confirmaron, mediante la entrevista y la visita a las fincas, los daños que produce la broca al fruto de café. En El Espinal los productores reportaron que la temperatura de la región se ha incrementado por la deforestación que se ha llevado a cabo en la zona.

Por otra parte, las estimaciones del efecto del aumento de la temperatura en la tasa intrínseca de crecimiento de la broca para el área de estudio, mediante las salidas de los modelos GFDL, ECHAM y HADLEY sugieren que dicha tasa se incrementará hasta 0.7% para el horizonte 2020, 1.1% para 2050 y 2.4% para 2080 según el Modelo HADLEY y el escenario A2, el cual fue mostró el mayor incremento para todos los casos debido a que supone mayores emisiones de gases de efecto invernadero y una elevación mayor en la temperatura. En el escenario B1 se obtuvieron los menores porcentajes de incremento los cuales serían de 0.3% para el horizonte 2020 según el modelo ECHAM, 0.6% para 2050 y 0.9% para 2080 según el modelo GFDL, esto se debe a que el escenario B1 supone bajas emisiones de gases de efecto invernadero. El incremento en los porcentajes de la tasa intrínseca de crecimiento de la broca coincide con los estudios realizados por Jaramillo *et al.* (2009), quienes reportaron que ésta puede aumentar hasta un 8.5% al alcanzar una temperatura media de 26.7°C, lo que a su vez tendría repercusiones en el cultivo del café al ocasionar mayores pérdidas por el ataque de la plaga.

En el caso de la roya aún no se han realizado estudios para medir los posibles impactos del cambio climático en su reproducción. Sin embargo, es probable que ante eventos como lluvias extremas y el aumento de la humedad y la temperatura media en la región, a causa del cambio climático, podrían ocurrir mayores infestaciones y pérdidas en el cultivo de café en la región de Coatepec, Veracruz.

Ante condiciones de cambio climático en la región de Coatepec, Veracruz, los productores señalaron que el control biológico de la broca del café es una alternativa para evitar el uso de productos químicos como el Endosulfán, que son

altamente tóxicos y que pueden inducir resistencia en la broca. Es por ello, que los productores emplean al hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico, ya que ha mostrado excelentes resultados, a diferencia de los parasitoides africanos (*P. nasuta*, *C. staphanoderis* y *P. coffea*) que no se lograron establecer en la región de Coatepec. Además, los productores también emplean el control cultural para el control de la broca ya que es más seguro, simple y de mayor acceso por la disminución de los costos.

Para el control de la roya, los productores emplean un fungicida, ya que actualmente no han utilizado agentes de control biológico. El problema del control de la roya y la broca de manera simultánea radica en que se contraponen, ya que el fungicida también ataca a *B. bassiana*, que es el hongo utilizado para el control de la broca.

Los productores mencionaron que el uso de árboles de sombra, permite mitigar los efectos negativos del aumento de la temperatura al reducirla y conservar un número importante de enemigos naturales de la broca y la roya, lo cual coincide con los reportes de Jaramillo (2005) y Kirckpatrick (1935), quienes encontraron que en plantaciones con árboles de sombra que se encuentran por debajo de los 700 msnm pueden reducir la temperatura 4 °C y en las plantaciones por encima de los 1000 msnm hasta 2 °C.

Además de las condiciones climáticas, las condiciones socioeconómicas también influyen en el aumento del ataque de la broca en la región de Coatepec, ya que durante el periodo de inicio de la crisis del café 1989/1990, se realizó una encuesta en la Zona Central de Veracruz en la que sólo el 17% de entrevistados controlaban las plagas y el 31% desarrollaban acciones para contrarrestar el efecto de las enfermedades (Santoyo, 1994). Los productores entrevistados en la localidad El Espinal mencionaron que actualmente los productores enfrentan un problema por la importación de café muy barato y de baja calidad, por lo cual resulta cada vez más difícil venderlo a buen precio y obtener los recursos suficientes para llevar a cabo el control adecuado de plagas y enfermedades.

CONCLUSIONES

- Las variaciones en la temperatura y la humedad afectan la incidencia y distribución de la roya y la broca del cafeto en la región de Coatepec, Veracruz.
- La elevación de la temperatura media podría favorecer el aumento en la incidencia de la roya, ya que una temperatura cercana a los 23°C, favorece la germinación de las uredosporas, ocasionando mayores porcentajes de infestación. En el caso de la broca, el aumento de la temperatura ocasiona un incremento en la tasa intrínseca de crecimiento, lo que podría ocasionar mayores porcentajes de infestación en la región.
- El incremento de la temperatura media durante el verano, como lo indican los modelos de circulación general HADLEY, ECHAM y GFDL y los escenarios A2, A1B y B1 para los horizontes 2020, 2050 y 2080, ocasionará un incremento en la incidencia de la broca, al aumentar su tasa intrínseca de crecimiento.
- La utilización del control biológico es recomendable ante condiciones de cambio climático, ya que disminuyen los efectos adversos al medio ambiente provocados por el uso de pesticidas. Para el caso de la broca, el uso del hongo *Beauveria bassiana* ha tenido éxito en la región de Coatepec, siendo el único agente utilizado. Para el control de la roya se han detectado varios enemigos naturales (hiperparásitos) que podrían ser utilizados en su control, además de las variedades resistentes como la "Oro Azteca" desarrollada en México.
- El uso de árboles de sombra permite mitigar los efectos negativos del cambio climático, ya que puede reducir la temperatura en las fincas y permite conservar un número importante de enemigos naturales de la broca.

- El conocimiento de los productores del Consejo Regional del Café de Coatepec sobre el cultivo de café, las plagas y enfermedades constituyen una herramienta valiosa, para documentar los efectos de las condiciones climáticas sobre la roya y la broca del cafeto.

LITERATURA CITADA

Acevedo F. y A. Luna. 2006. *Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado de Veracruz en el año 2005*. Pág. 53-67. En: Tejeda, A y C. Welsh. 2006. *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. Edición preliminar. Universidad Veracruzana y Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología. Xalapa, Veracruz. 432 pp.

Aguado E. y J. Burt. 2004. *Understanding Weather and Climate*. Prentice Hall, 3ra Edición. 592 pp.

Aguilar R. R. 1999. Tomando café Manual del catador. Conferencia Mexicana de Productores de Café, México. Pág. 15-17.

Alejo L. 2000. Impacto del daño ocasionado por la broca de café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en el beneficio húmedo de la región de Huatusco, Veracruz. Tesis de licenciatura. Centro Regional Universitario Oriente. Universidad Autónoma de Chapingo.

Assad E. D., H. S. Pinto, J. Zullo y A. M. Helminsk. 2004. Climatic changes impact in agroclimatic zoning of coffee in Brazil. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 39: 1057–1064

AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café). 2006. Padrón Nacional de Cafetaleros. Asociación Mexicana de Cadenas Productivas de Café.

ANACAFE (Asociación Nacional de Café en Guatemala). 1999. Manual de cafeticultura orgánica. Asociación Nacional del Café. Guatemala, 159 pp.

Avelino J., R. Muller, A. Eskes, R. Santacreo y F. Holguín. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. En: Bertrand, B y B. Rapidel (eds), *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José, CR, IICA. Pág. 193-241.

Ayres M. P. y M. J. Lombardero. 2000. Assessing the consequences of climate change for forest herbivores and pathogens. *Science for the Total Environment* 262: 263-286.

Baker P. S., J. F. Barrera y J. E. Valenzuela. 1989. The distribution of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico: A survey for a biocontrol project. *Tropical Pest Management* 35: 163-168.

Baker P. S., C. Ley, R. Balbuena y J. F. Barrera. 1992. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. *B. Entomol. Res.* 82: 145-150.

Barrera J. F. y D. Enkerlin. 1983. Un insecto que tiene en jaque a la cafecultura: la broca del grano del café. *Econoticias* 3: 3-6.

Barrera J. F. y M. L. Covarrubias 1984. Efecto de diferentes condiciones de sombra del cafetal sobre la intensidad del ataque de la broca del grano del café, en el Soconusco, Chiapas, México. *En: Il Congreso Nacional de Manejo Integrado de Plagas.* 20-24 de febrero. Guatemala C.A.

Barrera J. F. 1994. Dynamique des populations du scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), et lutte biologique avec le parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae), au Chiapas, Mexique. Tesis de doctorado de la Universidad Paul-Sabatier, Toulouse, Francia, 301 pp.

Barrera J. F. 2002. Tres plagas de café en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, México. Pág. 7-10, 17-20, 45-48.

Barrera J. F., A. Villacorta y J. Herrera. 2004. Fluctuación estacional de las capturas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) con trampas de etanol-metanol e implicaciones sobre el número de trampas», *Entomol. Mex.* 3:540-544

Barrera J. F., J. Herrera, J. Villalobos y B. Gómez. 2004. El barrenador del tallo y la raíz, una plaga silenciosa. *Proyecto Manejo Integrado de plagas, Folleto Técnico Número No. 9.*

Barrera J. F. 2005. Investigación sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México. 66 pp.

Barrera J. F., A. García, V. Domínguez y C. Luna. 2007. La broca del café en América Tropical: hallazgos y enfoques. *Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la frontera Sur.* 141 pp.

Barrera F. 2007. Manejo holístico de plagas: más allá del MIP. Memorias del XXX Congreso Nacional de Control Biológico-Simposio de IOBC, Mérida, Yucatán.

Barrera J. F., J. Gómez, A. Castillo, E. López, J. Herrera y G. González. 2008. Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *En: Casos de Control Biológico en México.* Pág. 101-120.

Baz G. y E. L. Gallo. 1874. Historia del Ferrocarril Mexicano. Riqueza de México en la zona del Golfo a la Mesa Central bajo su aspecto geológico, agrícola. Manufacturero y comercial. Estudios Científicos, Históricos y Estadísticos, México. *Establecimiento Litográfico de Víctor Debray y Cía.*

Becker S., 1979. Estudio de la propagación de las urediniosporas de *Hemileia vastatrix* Berk y Br., agente causal de la roya, en Kenia. *Soc. Alem. Coop. Tec.* (GTZ), Eschborn, 70 pp.

Becker R. S. 1991. El sistema *Coffea* spp y *Hemileia vastatrix*. *En: La Roya de Cafeto, Conocimiento y Control.* 281pp.

Benavides P., F. Vega, J. Romero-Severson, A. Bustillo y J. Stuart. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, the coffee

berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 98(3): 359-366.

Bergamin J. 1945. Formacao de novos cafézais e a broca do café. *B. Sup. Serv. Café* 20 (217)

Bergamin J. 1946. A “broca do café” em Porto Rico? *B. Sup. Serv. Café* 21:340.

Bergot M., E. Cloppet, V. Pérnaud, M. Déqué, B. Marcais y M. Desprez-Loustau. 2004. Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Glob. Change Biol.* 10:1539–52.

Bock K. R. 1962. Dispersal of uredospores of *Hemilea vastatrix* under field conditions. *Trans. Brit. Myc. Soc.* 45:63-74.

CABI. 2010. Crop Protection Compendium (Alpha). Datasheets. <http://cabi.org/cpc/>

Cambrezi-Bernal y Lascuráin. 1992. Crónicas de un Territorio Fraccionado. De la Hacienda al Ejido (Centro de Veracruz); Larousse, ORSTOM, CEMCA

Camilo J. E.; F. F. Olivares y H. A. Jiménez. 2003. Fenología y reproducción de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) durante el desarrollo del fruto”. *Agronomía Mesoamericana* 14(1): 59- 63.

Carbajal J. R. 1972. Cafeto cultivo y fertilización. *Instituto Internacional de la Potasa*. Gebr. Fretz. A. G. Zurich, Suiza. 141 pp.

Castillo Z., L. J. y L. G. Moreno R. 1988. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. *Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia*. Cenicafé. Chinchina, Caldas. Colombia. Pág. 19 y 20.

Castillo F., R. 1998. Situación actual y acciones para el combate de la broca del café en México. *En: J. F. Barrera, A. A. Guerra, J.J. Menn y P. S. Baker (eds.), II Reunión Intercontinental sobre broca del café*. Tapachula, Chiapas, México, 23 pp.

Carrión G. 2006. La naturaleza de las interacciones entre la roya del cafeto y sus hongos hiperparásitos. Tesis de doctorado (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. 111 pp.

Cavazos T., y S. Hastenrath. 1990. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Clim.* 10: 377-386.

Cedeño O. y R. Medina. 1999. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Clim.* 10: 377-386.

CEFP. (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas). 2001. El mercado del café en México. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, Cámara de Diputados. H. Congreso de la Unión. Clave de proyecto: CEF/054/2001

CONABIO. (Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad). 1988. Carta de Climas de la República Mexicana (Clasificación climática de Köppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

CENICAFE. 2008. Historia de la caficultura en América, en:
<http://www.cenicafe.org/index.php?menuid=3>

Conde C., F. Estrada, B. Martínez, O. Sánchez y C. Gay. 2011. Regional climate change scenarios for México. *Atmósfera* 24(1):125-140.

Costa Rica, 1984. Curso fundamentos de la caficultura moderna. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*, Turrialba, Costa Rica, 47 pp.

Costa Rica, 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo de café. Editor Sánchez Vindos. 6ª. Del Instituto de café de Costa Rica. MAG. San José Costa Rica 121 pp.

Coste R. 1969. El café. Editorial Blume. 255 pp.

Díaz O., M. A. Silva-Flores, C. T. Monreal V. y S. Casas. 2007. La Broca del Café y sus Efectos. *Revista Universitarios Potosinos*. 3(7):40-45

Dalmazzone S., C. Perrings y M. Williamson. 2002. Enfermedades y plagas exóticas: una perspectiva económica. *Ekonomiaz* No. 49, 1º Cuatrimestre. Pp 78-95.

de la Rosa W. 1993. Manejo del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. y su efecto sobre la broca del café (*Hypothenemus hampei* (Ferr.) y su parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* Betrem. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 100 pp.

d'Olwer L. N., F. R. Calderón, G. Nava, F. Rosenzweig, L. Cossío Silva, G. Peralta y E. Coello. 1974 *Historia Moderna De México. El Porfiriato; La Vida Económica*; Daniel Cossío Villegas (Editor General), Editorial Hermes, México & Buenos Aires.

Escamilla P. E. 1993. El café Cereza en México. Tecnología de Producción. Universidad Autónoma Chapingo. CIESTAAM-DCR. Chapingo, México. 116 pp.

Gatling H. D. 1970. Distribution of the psyllid vectors of citrus greening disease with notes on the biology and bionomics of *Diaphorina citri* Kuw. *Plant. Prot. Bull.* 18(1): 8-15.

Garduño R. 1999. Aportaciones Mexicanas al Estudio del Clima. *Revista Geofísica*. 51.

Garret K. H., S. P. Dendy, E. E. Frank, M. N. Rouse and S. E. Travers. 2006. Climate Change Effects on Plant Disease: Genomes to Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*. 44: 489-509.

Gay C. (Compilador). 2000. México: Una Visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program. SEMARNAP, UNAM, USCSP. 220 pp.

Gay C., F. Estrada, C. Conde y H. Eakin. 2004. Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el año 2050 en Veracruz (México). *En: García Codrón, J. C., C. D. Liaño, P. Fdez de Arroyábe Hernández, C. Garmenia Pedraja y D. Rasilla Álvarez (eds.). El clima entre el mar y la montaña.* Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, No. 4

Gay C., F. Estrada, C. Conde, H. Eakin y L. Villers. 2006. Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change* 79: 259–288.

Gay C. y F. Estrada. 2007. Cambio climático en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. 31 pp.

Ghini R, E. Hamada, M. J. Pedro, J. A. Marengo y R. R. Gonçalves. 2008. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:187–95.

Gomi T., M. Nagasaka, T. Fukuda y H. Higahara. 2007. Shifting of the life cycle and life history traits of the fall webworm in relation to climate change. *Entomol. Exp. Appl.* 125: 179–184

Gonzales M., A. 1978. Radio y prensa en la campaña divulgativa contra la roya del cafeto. *Nueva agricultura tropical.* Colombia. 30 (1):7-9.

Gonzales J. A. 2004. Dealing with risk: small-scale coffee production systems in Mexico. *Perspectivas latinoamericanas.* No. 1

GRID. 2002. Vital Climate Graphics Africa. Global Resource Information Database, Arendal. Disponible en: <http://www.grida.no/climate/vitalafrica/english/23.htm>

Escamilla P. 1993. El café Cereza en México. Tecnología de Producción. Universidad Autónoma Chapingo. CIESTAAM-DCR. Chapingo, México. 116p.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2009. Normas Internacionales para las Medidas Fitosanitarias. No. 1 a 32. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma, Italia. 473 pp.

Ferreira A. J., J. Bueno, y G. Carvalho. 2000. Dinámica poblacional de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) en Lavras, Minas Gerais. *An. Soc. Entomol Brasil* 29(2): 237-244.

Fuhrer J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97: 1-20.

Haarer A. E. 1977. Producción Moderna de café. CECOSA, México, D. F. Pág. 65-73.

Hargreaves H. 1926. Notes on the coffee berry borer (*Stephanoderis hampei*, Ferr.) in Uganda. *Bull. ent. Res.* 16:347-354.

Hernández M. y A. Sánchez. 1972. La broca del fruto del café. Asociación Nacional del Café. Guatemala. Boletín No. 11

Hirts J. M. y J. L. Snell. 1980. Markov random fields and their applications. *Am. Math. Soc.*, Providence, R. I.

IPCC ([Intergovernmental Panel on Climate Change](#)). 1996. Climate Change 1995, the Science of Climate Change. *En: J. T. Houghton et al. (eds)*. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 572 pp.

IPCC-WGI ([Intergovernmental Panel on Climate Change](#)). 2007. Summary for Policymakers. *En: Solomon S. Qin, D., M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averit, M. Tignor y H. L. Miller (eds)*. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 996 pp.

ISIC (Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café). 1976. Manual Técnico del cultivo de café en el Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del café (ISIC). Santa Tecla. El Salvador. C. A. Pág. 23-26.

INMECAFÉ (Instituto Mexicano del Café). 1990. El cultivo de cafeto en México. México, Xalapa, Veracruz.

Jaramillo J. *et al.* 2009. Thermal tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *Plos One*. 4(8): 11.

Javed Z., L. 1987. Epidemiología y control de la roya del cafeto en Centroamérica. Plagas y enfermedades de carácter epidemiológico en cultivos frutales de la región en cultivos frutales de la región centroamericana. CATIE. CR. Serie Técnica. Informe técnico No.110: 17-26.

Klein-Koch C. O, O. Espinoza, A. Tandazo, P. Cisneros y D. Delgado. 1988. Factores naturales de regulación y control biológico de la broca de café (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Sanidad Vegetal (Ecuador)

Kushalappa A. C. y A. B. Eskes. 1989. Advances in coffee rust research. *Annu. Rev. of Phytophatol.* 27: 503-531.

Le Pelley R. H. 1973. Las plagas del café. Primera Edición. Editorial Labor, S. A. Barcelona España.

León J. 1962. Especies y cultivares (variedades) de café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza para Graduados. Turrialba. Costa Rica. 69 pp.

Liogier H. A. 1997. Descriptive flora of Puerto Rico and adjacent islands. Vol. 5. Editorial de la Universidad de Puerto Rico. 436 pp.

Logan J. A., J. Régnière y J. A. Powell. 2003. Assessing the impacts of global warming to forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 130-137.

López A. R., Chamorro, T. G., Gallo, C. A. 1990. Aspectos económicos de la roya del cafeto. *En: 50 años de CENICAFE 1938-1988. Conferencias conmemorativas.* Chinchiná, CO. Pág. 91-96.

Magaña V. O., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate Research.* 9(2):107-114.

Magaña V. O. (ed.). 1999. Los impactos de El Niño en México. México: UNAM/CONACYT.SG/IAI. 229 pp.

Magaña V. O. y T. Morales. 1998. Variabilidad climática y agricultura. *Claridades Agropecuarias.*

Magaña V. O., J. L. Pérez y C. Conde. 1998. El fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur y sus impactos en México. *Revista Ciencias.* 51: 14-18

Magaña V. O., J. L. Vázquez, J. L. Pérez y J. B. Pérez. 2003. Impacto of El Niño on Precipitación in México. *Geof. Inf.* (42) 3: 313-330.

Magaña V. y A. I. Quintanar. 1997. On the use of General Circulation Models to study regional climate. *Proceedings of the Second UNAM-CRAY Supercomputing Conference.* Pág 39-48.

Magaña V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay. 2000. Evaluación de escenarios de regionales del clima actual y de cambio climático futuro para México. *En: Mexico: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México, (V. Magaña Ed.). SEMARNAP, UNAM, USCSP. (C. Gay Compilador) México D. F. Pág. 15-21.*

Marcais B., M. Bergot, V. Pérarnaud, A. Levy y M. L. Desprez-Loustau. Prediction and mapping of winter temperature on the development of *Phytophthora cinnamomi*-induced cankers on red and predunculate oak in France. *Phytopathol.* 94:826–31.

Marco V. 2001. Modelación de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al Manejo integrado de Plagas mediante el método de grados-días. *Aracnet (Bol. S.E.A.)* 7(28): 147-150.

Martínez M., A. C. 1998. El proceso cafetalero mexicano. México, UNAM, *Instituto de Investigaciones Económicas* 18 pp.

McGuffie K., A. Henderson-Seller, N. Holbrook, Z. Kothala, O. Balachova y J. Hoekstra. 1999. Assesing simulations of daily temperature and precipitation variability with global climate models for present and enhanced green house climates. *Int. J. Climatol.* 19:1-26.

Méndez-López. 1990. Control biológico de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) con el hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycetes) en el Soconusco, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 135 pp.

Moguel P. y V. M. Toledo. 1999. "El café en México: Ecología, Cultura Indígena y Sustentabilidad", *El Jarocho Verde*, Red de Información y Acción Ambiental de Veracruz, No. 11. Pág. 3-12.

Morfín V. A. y G. A. Vizcaíno. 2003. Validación de la variedad de café Oro Azteca en Colima. Memoria de Resúmenes. Congreso Nacional de la Sociedad Nacional de Ciencias Hortícolas. IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Internacional. Universidad Autónoma de Chapingo. Dep. de Fitotecnia. 352 pp.

Morfín, V. A., P. G. Castillo y G. A. Vizcaíno. 2006. El cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Colima. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Num. 1. Campo Experimental Ticomán.* 85 pp.

Moreno R, G. 2004. Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 28(107):187-200.

Montoya H., R. 1974. Influencia da temperature e da luz na germinacao, infectividade e periodo de geracao de /*Hemileia vastatrix*/ Berk. et Br; Vicoso (Brasil), Universidade Federal de Vicoso. 60 pp.

Musolin D. L. 2007. Insects in a warmer world: ecological, physiological and lifehistory responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Glob. Change Biol.* 13: 1565–1585.

Muthappa B. N. 1980. Behaviour of *Hemileia vastatrix* during unfavorable weather. *Jour. Coffee Res.* 10: 31-35.

Murphy S. T. y D. Moore. 1990. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. *Biocontrol News Inf* 11: 107-117.

New M., M. Hulme y P. D. Jones. 1999. Representing twentieth –century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961 – 1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, 12: 829-856

Nolasco M. 1985. Café y Sociedad en México. *Centro de Ecodesarrollo*. Pág. 108-109, 148, 412-413.

Nutman F. J. y F. M. Roberts. 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk et Br. *Br. Mycol. Soc. Trans.* 46(1): 27-48.

Oerke, E. C. 2005. Crop losses to pests. *J. of Agr. Sci.* Pág. 1- 13

Oliveira Filho, M. L. 1927. Contribucáo para o conhecimento da broca do café, *Stephanoderes hampei* (Ferr.). Modo de comportarse e ser combatida en S. Paulo-Brasil. *Secr. Agrie, Industria e Commercio/Commissáo de Estudo e Debellação da praga Cafeeira*. 20: 95 pp.

Olvera V., L. A. 2010. Análisis espacial y temporal de la propagación de la broca de café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en la Huasteca Potosina. Tesis de Maestría. 109 pp.

OIC (Organización Internacional de Café). 2009. Estadísticas, en: <http://www.ico.org/>

Ortiz-Persichino C. 1991. Pérdidas por la broca del café en el Soconusco, Chiapas. Informe Técnico. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, 126 pp.

Palma B. E. 2005. Generación de escenarios de cambio climático para la zona centro del estado de Veracruz, México. Tesis de Maestría en Geografía. UNAM. 134 pp.

Patterson D. T., J. K. Westbrook, R. J. V. Joyce, P. D. Lingren y J. Rogasik. 1999. Weeds, insects, and diseases. *Climate Change*. 43: 711-727.

Pedro Jr., M. J. 1983. Effects of meteorological factors on the development of coffee leaf rust. EPPO. Bull, 153-155.

Pérez R. 2005. Impacto económico por daño de la broca de café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) en Santiago Choapan, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma de Chapingo.

Porter, J. H., M. L. Parry y T. R. Carter. 1991. The Potential Effects of Climate Change on Agriculture Insect Pest. *Agricult. Forest. Meteorol.* 57: 221-240.

Quinn W. H. y V. T. Neal. 1992. The historical record of El Nino events, in Bradley, En: Raymond S. and J. Philip D., (eds) *Climate Since A. D. 1500*. Pág. 623-648.

Ramírez M. y B. Reyes. 2000. 3ª Reunión Nacional de la Campaña contra la Broca del Café. Tepic, Nayarit, México, 110 pp.

Rayner R. W. 1961. Germination and penetration studies of coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.) *Ann. Appl. Biol.* 49: 497-505.

Rayner R. W. 1972. Micología, Historia y Biología de la roya del cafeto. Costa Rica. IICA-CATIE, *Publicación Miscelánea* 94: 68.

Renard M. C. 1993. La comercialización internacional del café. Universidad Autónoma de Chapingo. Colección Cuadernos Universitarios, Serie Ciencias Sociales Núm. 11.

Rodriguez M. K. y R. G. Moreno. 2002. Supervivencia relativa de las razas II y XXII de *Hemileia vastatrix*. *Cenicafé* 53(3): 252-265.

Santoyo Cortés V. H., Díaz, C. S. y Rodríguez, P. B. 1995. Sistema Agroindustrial Café en México, diagnóstico problemática y alternativas. Universidad Autónoma Chapingo.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2004. Campaña contra la broca del café. <http://web2.senasica.sagarpa.gob.mx/xportal/dgsv/cfito/Doc164/>

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2008. Campañas nacionales. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. En: http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/campanas_nacionales.html

SINAVEF (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria). 2009. El cambio climático y su influencia en las plagas agrícolas. *Climatología Sanitaria*. Informe 2009. 17 pp.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2007. Producción anual del sistema producto café. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En: <http://www.siap.gob.mx>

Silva M.C. do, V. Várzea, G. L. Guerra, A. H. Gil, D. Fernandez, A. S. Petitot, B. Bertrand, F. Lashermes y M. Nicole. 2006. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. *Braz. Journal Plant. Physiol.* 18(1):119-147.

Sponagel K. W. 1994. La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de Café Robusta en la Amazonía Ecuatoriana. Giessen, D.E., Wissenschaftlicher Fachverlag. 185 pp.

Sweetmore A., G. Rothschild y S. Eden-Green (eds.). 2001. Perspectives on pests: Achievements of research under the UK Department for International Development's Crop Protection Programme, 1996-2000. 125 pp.

Trenberth K. E. 1997. The definition of El Niño. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78: 2771-2777.

Ticheler J. H. G. 1961. Etude analytique de l'épidémiologie du scolyte des graines de café, *Stephanodewes izarnpei* Ferr., en Côte d'Ivoire. Meded Landbouwhogeschool, Wageningen 61, 149.

Vázquez-Aguirre J. L. 2000. Caracterización Objetiva de los nortes del Golfo de México y su variabilidad interanual. Tesis de licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México.

Velasco A. L. 1890. Geografía y Estadística de la República Mexicana, Tomo III, Geografía y Estadística del Estado de Veracruz Llave; México, Oficina de la Secretaría de Fomento. Pág. 61-127, 157-159.

Velasco J. D. 1979. Anotaciones sobre la biología de los diferentes tipos de roya. La roya del cafeto. Universidad de El Salvador. 122 pp.

Virtanen T., S. Neuvonen y A. Nikula. 1998. Modelling topographic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) with a Geographical

Information System: predictions for current climate and warmer climate scenarios. *Journal of Applied Ecology* 35: 311-322.

Villaseñor L. A. 1987. Cafecultura Moderna en México. Agrocomunicación Sáenz Colín y Asociados. Editorial Futura, S. A. México. Pág.71-78.

Villarreal R. C. 1981. Formación de la variedad Garnica. *En: Resúmenes de material informativo del cultivo de café*. Instituto Mexicano del cultivo de café, Garnica. Pág 3-5.

Waibl L. 1936. La Sierra Madre de Chiapas; México.

Watson R. T., M. C. Zinyowera y R. H. Moss (eds.). Climate change 1995. Impacts, Adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. Pág. 427-467.

Waterhouse D. K. y K. R. Norris. 1989. *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *En: Biological control pacific prospects. Supplement 1. Australian Centre for International Agricultural Research*. Pág. 56-75.

Wood R. A. 1998. The weather almanac. Detroit

Yamamoto K. 1948. "Assim falou a vespa da Uganda". Guía pratico para o combate biologico a broca do café. Sao Paulo, Brasil, Biblioteca Agropecuaria Brasileira. 79 pp.