



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DEL POSGRADO
EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PROPAGACIÓN DE LA
BROCA DE CAFÉ *Hypothenemus hampei* (FERRARI) EN LA HUASTECA
POTOSINA”**

**TESIS PARA OBTENER GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA

LIC. LUIS ALBERTO OLVERA VARGAS

DIRECTOR DE TESIS

DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

ASESORES

DR. GREGORIO ÁLVAREZ FUENTES

DR. JUAN FRANCISCO BARRERA GAYTÁN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DEL POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**PROYECTO REALIZADO EN
COORDINACIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES Y
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA
CIENCIA Y TECNOLOGÍA.**

**CON FINANCIAMIENTO DE
BECA-TESIS (CONVENIO No. 230829) DEL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA (CONACYT).**

**PROYECTO “PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR ZONAS
VULNERABLES A LA SEQUÍA Y A LAS PLAGAS QUE AFECTAN A LAS
ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN LA HUASTECA POTOSINA, APOYADA EN
IMÁGENES DE SATÉLITE, SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, ANÁLISIS
MULTIVARIADO Y UN MODELO DE SIMULACIÓN CLIMÁTICA”.**

CLAVE: SAGARPA-2004-CO1-186/A-1

**EL POSGRADO MULTIDISCIPLINARIO DEL POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE
POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC) Y LA SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
(SEP)**

*Dedicado a
mi Madre, Karen, Paty, May,
a Haydée,
a Guadalupe*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca.

Al Programa Multidisciplinario del Posgrado en Ciencias Ambientales, a sus profesores, alumnos y administrativos.

A la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades (CCSyH) y a la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y Tecnología (CIACyT).

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) por aceptarme y formarme como profesionista.

A mis asesores, la Dra. Guadalupe Galindo Mendoza (CIACyT) por dirigir esta tesis, reforzar todo el análisis geográfico del proyecto; al Dr. Gregorio Álvarez Fuentes (IIZD) por corregirme y fortalecer los análisis estadísticos; al Dr. Francisco Barrera Gaytán (ECOSUR) por enseñarme los aspectos biológicos de la plaga; y al Dr. Carlos Contreras Servín por ser asesor suplente en el examen previo.

Al Comité Estatal de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí (CESVSLP), en especial al Ing. Francisco Cortina Ruiz, por el apoyo proporcionado en campo.

A la Campaña Contra Broca de Café, especialmente al Ing. Luis Augusto Alejo, por la información proporcionada y por apoyar la posible implementación de este proyecto.

Al Consejo Potosino del Café (COPOCA) por la cartografía proporcionada.

Al Dr. Miguel Aguilar y Dr. Hugo Navarro por apoyarme moralmente en la realización y conclusión de este proyecto.

A mis amigos de la maestría: Nelson, Andrés, Paulina, Juan, Sonia, Toño, Eric, Claudia, Gely, Noé y demás pmpca-ñeros.

A mis amigos de San Luis: Joel, Anibal, Liliana, David Rogelio, Enrique, Daniela.

A mis colegas y amigos geógrafos de la UNAM.

A mis colegas del SINAVEF, en especial al Dr. Cristóbal y Gladys Orozco.

A mi Familia que tanto extraño.

A mi hermosa Haydée.

ÍNDICE

	Págs.
Índice de figuras.....	1
Índice de tablas.....	2
Índice de anexos.....	2
Introducción.....	3
1. Antecedentes.....	7
2. Marco teórico – metodológico.....	23
2.1 Plagas agrícolas.....	23
2.2 Métodos para el control de plagas agrícolas.....	26
2.3 Análisis espacial y modelado en entomología.....	32
2.4 Vigilancia y alertas fitosanitarias.....	36
2.5 Propuesta metodológica para la alerta fitosanitaria.....	43
2.5.1 Recopilación de la información.....	44
2.5.2 Sistematización, verificación y depuración de datos.....	46
2.5.3 Integración al SIG.....	47
2.5.4 Análisis espacial.....	48
2.5.5 Análisis estadístico.....	50
3. Caracterización biológica y ambiental.....	52
3.1 <i>Hypothenemus hampei</i>	52
3.2 Localización.....	55
3.3. Características ambientales.....	55
3.3.1 Rasgos orográficos.....	55
3.3.2 Rasgos climáticos.....	59
3.3.3. Rasgos de uso de suelo y vegetación.....	63
3.4 Características socioeconómicas.....	65
4. Análisis de la broca de café <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari).....	67
4.1 Propagación de la broca de café.....	68
4.2 Análisis espacial y estadístico de la plaga.....	85
4.3 Modelo de alerta para la broca de café.....	94
5. Conclusiones.....	98

6. Referencias usadas..... 100
Anexos..... 109

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1.1 Países exportadores de café y cantidad de exportaciones al año en miles de sacos.....	8
Figura 1.2 Países importadores de café y cantidad de importaciones al año en miles de sacos.....	9
Figura 1.3 Relación entre producción y precios mundiales de café.....	10
Figura 1.4 Superficie cafetalera por estado.....	11
Figura 1.5 Número de productores cafetaleros por estado.....	12
Figura 1.6 Superficie cultivada con café por productor.....	18
Figura 1.7 Propagación de la broca de café en el Mundo.....	19
Figura 1.8 Propagación de la broca de café en México.....	20
Figura 2.1 Niveles de análisis espacial en SIG.....	36
Figura 2.2 Estructura de elaboración de mapas de riesgo.....	41
Figura 2.3 Metodología.....	44
Figura 2.4 Esquema de análisis espacial.....	49
Figura 3.1 Localización de la zona de estudio.....	55
Figura 3.2 Mapa hipsométrico.....	56
Figura 3.3 Mapa geológico.....	58
Figura 3.4 Mapa edafológico.....	60
Figura 3.5 Climogramas de la zona de estudio.....	61
Figura 3.6 Mapa de climas.....	62
Figura 3.7 Mapa de vegetación.....	64
Figura 3.8 Índice de Desarrollo Humano de la zona cafetalera de San Luis Potosí.....	65
Figura 4.1 Superficie afectada y porcentaje de infestación 2000-2007.....	68
Figura 4.2 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2000.....	69
Figura 4.3 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2001.....	71
Figura 4.4 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2002.....	74
Figura 4.5 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2003.....	76
Figura 4.6 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2004.....	78
Figura 4.7 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2005.....	80
Figura 4.8 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2006.....	82
Figura 4.9 Propagación de la <i>H. hampei</i> en el año 2007.....	84
Figura 4.10 Incremento espacial de la broca de café respecto altitud y orientación de ladera entre 2000 y 2007.....	86
Figura 4.11 Condiciones ambientales favorables.....	90

Figura 4.12 Modelo predictivo para el año 2008.....	95
Figura 4.13 Infestación 2008.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

	Págs.
Cuadro 1.1 Estado actual de la cafecultura en México.....	13
Cuadro 1.2 Características ambientales para el cultivo del cafeto.....	15
Cuadro 1.3 Superficie afectada por la Broca de Café en México.....	21
Cuadro 2.1 Clasificación del listado del inventario por tipo de plaga.....	24
Cuadro 2.2 Clasificación de plagas de acuerdo con la NIMF 19 del CIPF.....	25
Cuadro 4.1 Porcentajes de infestación de la Broca de café respecto a las condiciones ambientales..	88
Cuadro 4.2 Coeficiente de correlación Pearson de variables ambientales e infestación.....	91
Cuadro 4.3 Coeficiente de correlación Pearson entre métodos de control e infestación.....	93

ÍNDICE DE ANEXOS

	Págs.
Anexo 1. Ubicación de las zonas cafetaleras a nivel nacional.....	109
Anexo 2. Índice de severidad a la sequía.....	110
Anexo 3. Temperatura de la zona de estudio.....	111
Anexo 4. Precipitación de la zona de estudio.....	112
Anexo 5. Determinación de zonas vulnerables a la plaga de broca de café a través de mapeo participativo en la Huasteca Potosina.....	113

1. INTRODUCCIÓN

México es uno de los principales productores de café a nivel mundial, posicionándose actualmente en el 6° lugar contribuyendo con el 4.6% del total producido (4.5 millones de sacos). Del ese total producido exporta el 75% a 35 países, principalmente a Estados Unidos, Alemania y Bélgica, ocupando el 7° lugar entre los países exportadores. Asimismo es el 3° país en producción de cafés arábicas, solo después de Brasil y Colombia, y fue uno de los primeros en ingresar al mercado internacional el café Gourmet. Además, es el líder mundial en la producción de café orgánico certificado, que por su calidad y proceso de cosecha es uno de los más cotizados en el mercado mundial. (OIC, 2009; Barrera *et al.*, 2004).

El cultivo del café en México es considerado importante por el número de divisas que genera, la mayor parte de la producción es destinada al comercio exterior, la superficie sembrada representa más del 3% de la superficie agrícola del país, por la implementación del café orgánico es un cultivo sustentable y ayuda al mantenimiento de la biodiversidad y en su mayoría es producido por agricultores indígenas. Sin embargo, son más los problemas que actualmente sufre la cafeticultura en México. Ejemplo de ello son, la ausencia de organismos gubernamentales que han creado escenarios de caciquismo y estafa, donde los productores realizan acuerdos directos con el sector industrial, la pulverización de las zonas cafetaleras y el aumento en el nivel de marginación de las personas dedicadas a su cultivo aumentan la problemática. Además, el gasto de producción poco representativo y la competencia del libre mercado internacional han generado una desestabilización económica en los productores y sus familias, lo que genera que las nuevas generaciones estén desinteresadas y activen la migración. Otro efecto es la diversificación de las zonas cafetaleras, donde los procesos de deforestación y cambio de uso de suelo están presentes, lo que genera que el ecosistema se vuelva vulnerable a diferentes fenómenos, como la erosión, la pérdida de nutrientes, la presencia de plagas y enfermedades, entre otros.

Las plagas, considerada como la segunda amenaza más importante de la biodiversidad, representa un gasto extra en el proceso de producción del café, donde este sistema producto es atacado por más de 900 de ellas. Las más comunes son la roya del café, Mal de hilachas, Antracnosis, Chacuatete, Gorgojo del grano y Broca de café, siendo esta última la más dañina para el cafeto, 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).

La propagación de la broca de café en el país fue en sólo 30 años, desde la primera detección en el estado de Chiapas en 1978, hasta los límites boreales de las zonas cafetaleras, San Luis Potosí en el oriente y Nayarit en el occidente, en 1998. Las acciones para evitar la propagación estaban desfasadas 15 años, ya que cuando se implementaron la plaga se encontraba en más de la mitad de los cultivos de café del país. Sólo los estados ubicados en las latitudes mayores (Nayarit y San Luis Potosí) tuvieron la oportunidad de realizar acciones preventivas. Sin embargo, ahora esos estados son afectados en más de la mitad de su superficie cultivada con café.

En el caso de San Luis Potosí, desde 1997 se implementó de la Campaña contra la Broca del Café y hasta junio del 2000, cuando el Estado era considerado libre de la broca del café, las acciones desarrolladas se enfocaron al monitoreo de la plaga en la zona limítrofe al estado de Hidalgo, donde estaba registrada la presencia de la plaga. El monitoreo se hacía a través de la instalación de trampas en el periodo inter cosecha y mediante muestreo directo de fruto en planta durante la fructificación y cosecha del café y muestreo en centros de acopio y beneficios. Asimismo, se aplicaba el control legal mediante la verificación e inspección de cargamentos en Puntos de Verificación Interna (casetas). Algunas de las acciones implementadas en los últimos siete años, con resultados muy satisfactorios, son las usadas dentro del MIP (en el caso de la Broca de café también puede llamarse MIB “manejo Integrado de la Broca”) son principalmente control cultural, control etológico y control biológico (CESVSLP 2007). Estas actividades se complementan con acciones de divulgación y capacitación (Alejo, 2007).

Una de las opciones para efectuar un mejor control y erradicación de la plaga, es realizar acciones en sentido contrario a la dinámica de propagación, es decir, combatir desde las zonas cafetaleras ubicadas en el extremo norte hacia las porciones sureñas. Como se mencionó anteriormente Nayarit y San Luis Potosí son los estados cafetaleros más al norte del país, la diferencia entre estos dos estados radica en aspectos de producción, ya que el primero produce más de 28, 000 toneladas al año de café, mientras que el segundo solo produce 17,000 ton. Esta diferencia podría estar marcada

por la superficie que tiene cada estado, pero Nayarit sólo rebaza a San Luis Potosí por 3,000 ha. Esto se ve reflejado en los rendimientos por hectárea, donde San Luis Potosí presenta los menores del país con 0.79 ton/ha. Además, el número de productores es mayor que la superficie cafetalera, por lo que la mayor parte (82%) de los productores tienen menos de 1 ha; a comparación de Nayarit, que el 45% de los productores poseen entre 4 y 5 has.). Por lo anterior, la zona de selección para la aplicación de los objetivos de esta investigación fue la zona cafetalera del estado de San Luis Potosí, conocida también como Huasteca Potosina.

La Huasteca Potosina (límite boreal de la región cafetalera) fue atacada por la broca de café en 1998, en Tlacoahuque, Matlapa (Diario Oficial de la Federación, 2001). A partir de ese momento entidades estatales, municipales y las propias comunidades, implementaron acciones para combatir la plaga. Se estableció de forma “urgente” la Norma Mexicana NOM-002-FITO-1995 y se emplearon diversas formas de control para atacar a la plaga. Sin embargo, la broca tuvo un crecimiento del 27% anual, perjudicando más de 8,000 mil hectáreas de las 14,035 registradas. Actualmente, la Huasteca tiene infestado cerca de 13,000 ha y el resto podría estar en riesgo de afectación (Alejo, 2007; CESVSLP, 2008).

La importancia del café en la Huasteca radica en tres aspectos: la superficie cultivada (representa el 21.3% de la superficie agrícola de la región), la producción (95% de la producción de estado se genera en la Huasteca) y el número de productores que sobreviven del cultivo del grano (30% de la PEA en el sector primario de la zona). Además, la mayoría de los productores son de las etnias indígenas Tenek y Náhuatl, que según informes del PNUD (2006) presentan un grado de marginación muy alto. Las comunidades afectadas y las que presentan algún riesgo de afectación tienen la preocupación de que la plaga se propague o que los niveles de infestación se eleven y cause pérdidas en hasta el 80% de su producción, lo que significaría una pérdida económica de más de 18 millones de pesos.

Hasta ahora se ha implementado programas de manejo integrado de plagas, donde destaca el trampeo, el control cultural, control biológico, control legal y tácticas fortalecidas con capacitación y divulgación. Las estrategias de control son elegidas en base a una relación beneficio-costos favorable. A pesar de que el uso del MIB ha disminuido el porcentaje de infestación en la zona, las

áreas de propagación siguen incrementándose. Por lo que se considera que la preocupación e implementación de métodos teóricos y técnicos quedan en la fase de control de la plaga, y aunque la meta es la reducción de la broca, no se han determinado las variables que explican la expansión y el brote de ésta, ya que en las implementaciones aplicadas por las dependencias e instituciones que combaten la plaga no está incluida la dimensión espacial.

En función de lo expuesto, este estudio identificará las condiciones naturales que hacen que se reproduzca y propague la broca de café en la Huasteca Potosina; para así generar, a través de análisis espacial y estadístico, la construcción de un modelo de alerta fitosanitaria (apoyados en Sistemas de Información Geográfica y teledetección) que permita controlar, combatir y prevenir de manera integrada (espacio y tiempo) la propagación de la plaga, además de reducir los niveles de infestación en la zonas cafetaleras. El producto servirá para prevenir a las comunidades y a las instituciones interesadas en caso de un ataque masivo de la plaga

Es por esto, que los objetivos del proyecto se enfocan a elaborar un modelo de alerta fitosanitaria a través de un análisis espacio-temporal de la propagación e infestación de la plaga, que muestre las zonas de mayor peligro al ataque de la broca de café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en el Huasteca Potosina. Este objetivo se cumplió con objetivos específicos los cuales fueron 1) Identificar las variables ambientales donde se reproduce la broca de café, a través de puntos referenciados espacialmente y sistemas de información geográfica; 2) Realizar un análisis estadístico que muestre las variables más significativas en la propagación y reproducción de la plaga; y 3) Construir un modelo que integre las variables cualitativas y cuantitativas

1. ANTECEDENTES

De la planta de café se obtiene una bebida agradable e estimulante, donde su consumo se basa en el hábito de generaciones antiguas y está asociado a diversos usos y costumbres de muchas culturas en el mundo. Pertenece al orden Rubiales, de la familia Rubiáceas, del género *Coffea* (Lariére) el cual tiene más de 100 especies conocidas, pero solo se comercializan *C. Arabica* Lariére, *C. Canephora* Pierre ex A. Froehner (Robusta) y *C. Liberica* Hiem. 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).

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 comerciante venecianos y holandeses que comerciaban marítimamente con los otomanos. Su introducción al continente americano fue en el siglo XVIII, aproximadamente entre 1717 y 1720, donde 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).

Actualmente, el café se cultiva en 81 países ubicados dentro de la franja intertropical, ya que son en esas zonas donde existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo del cafeto. La mayor parte de los países productores de café son emergentes, donde 50 de ellos rigen parte de su economía en su exportación, mientras que el mayor consumo (a través de importación) se realiza por países industrializados. Es uno de los productos agrícolas que más se comercializa en el mundo, ocupando el segundo lugar en generación de divisas, después del petróleo, para los países productores. Según datos de la Organización Internacional del Café (OIC), para el 2009 generó ingresos superiores a los 15 mil millones de dólares para estos países. Además, su cultivo, procesamiento, transformación y comercialización genera más de 120 millones de empleos en el mundo (CEFP, 2001; CENICAFE, 2008; Barrera *et al.*, 2004).

La producción mundial está concentrada en cuatro macrorregiones: 1) Centroamérica, Caribe y México, 2) Sudamérica, 3) África central y 4) Sur de Asia. La primera región genera el 16.6% del total mundial producido por 12 países; Sudamérica contribuye con el 46.8% (siete países productores) donde solo Brasil y Colombia producen el 40%; en África, 24 países generan el 17.3%; y Asia con ocho países producen el 18.2% restante. Las mayores exportaciones provienen de Brasil con más de 36 millones de sacos al año (promedio entre 2000 y 2009), Vietnam con 14.6 millones, Colombia con 11.8 millones, Indonesia con 7.1 millones, India con 4.7 millones y México con 4.6 millones de sacos al año (OIC, 2009) (Figura 1.1). En los últimos 10 años, los países asiáticos han subido posiciones en el ranking de exportadores de café mundial, tal es el caso de Vietnam, India e Indonesia, donde casi toda su producción exportada es tipo Robusta, usado para la elaboración de café instantáneo y empieza a ser más comercializado por los países importadores. En contraparte, países como Colombia, México y Costa de Marfil han descendido sus exportaciones en un 3.2, 6.1 y 19.1% respectivamente.

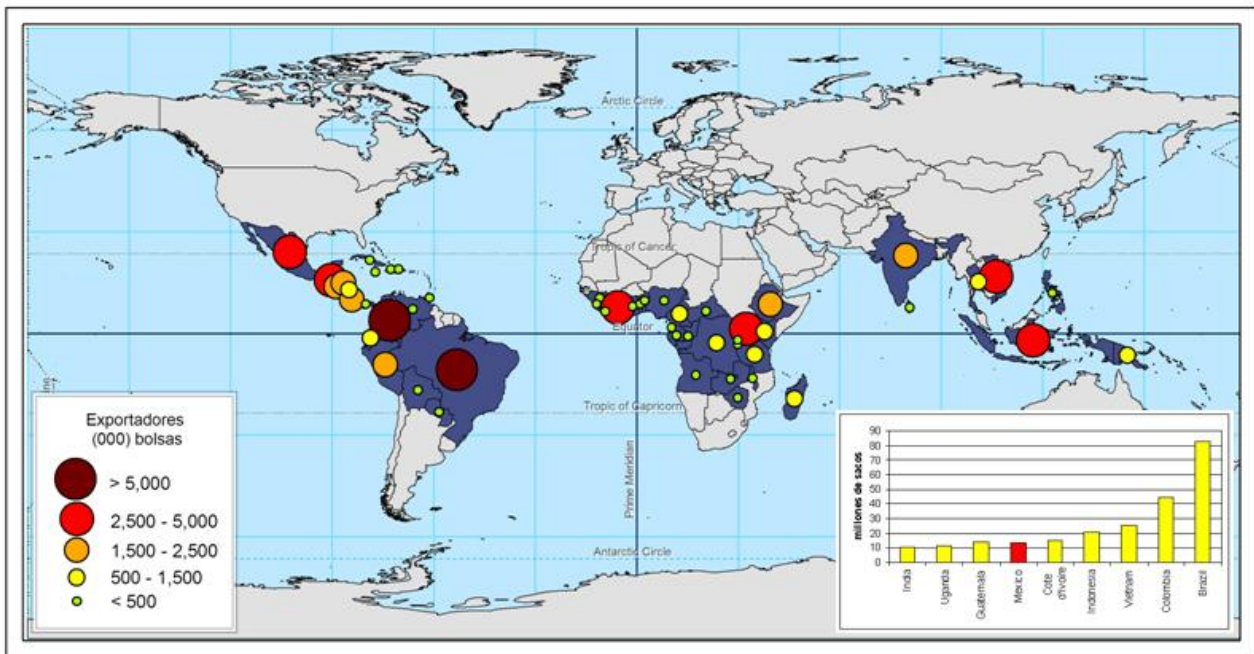


Figura 1.1 Países exportadores de café y cantidad de exportaciones al año en miles de sacos (OIC, 2009).

La mayor parte de la producción mundial (98.8% entre el periodo 2000-2009) es importada a países de primer mundo. Estados Unidos es el principal importador con más de 24 millones de sacos al año (25% de exportaciones), le sigue Alemania con 17 millones de sacos, Japón con 8 millones, Italia

con 7 millones y Francia, España y Bélgica con 4 millones de sacos al año (OIC, 2009) (Figura 1.2.). Estos países y 15 más de la Unión Europea son los centros consumidores y por lo tanto los que ejercen una influencia determinante en la dinámica del comercio del producto. Sin embargo, países como aquellos de Europa Oriental, Rusia, Canadá, Argentina, Chile, Brasil y algunos países africanos y del Medio Oriente han empezado a ascender en el consumo y demanda del grano, aunque todavía sin ningún control en la dinámica de producción (OIC, 2009).

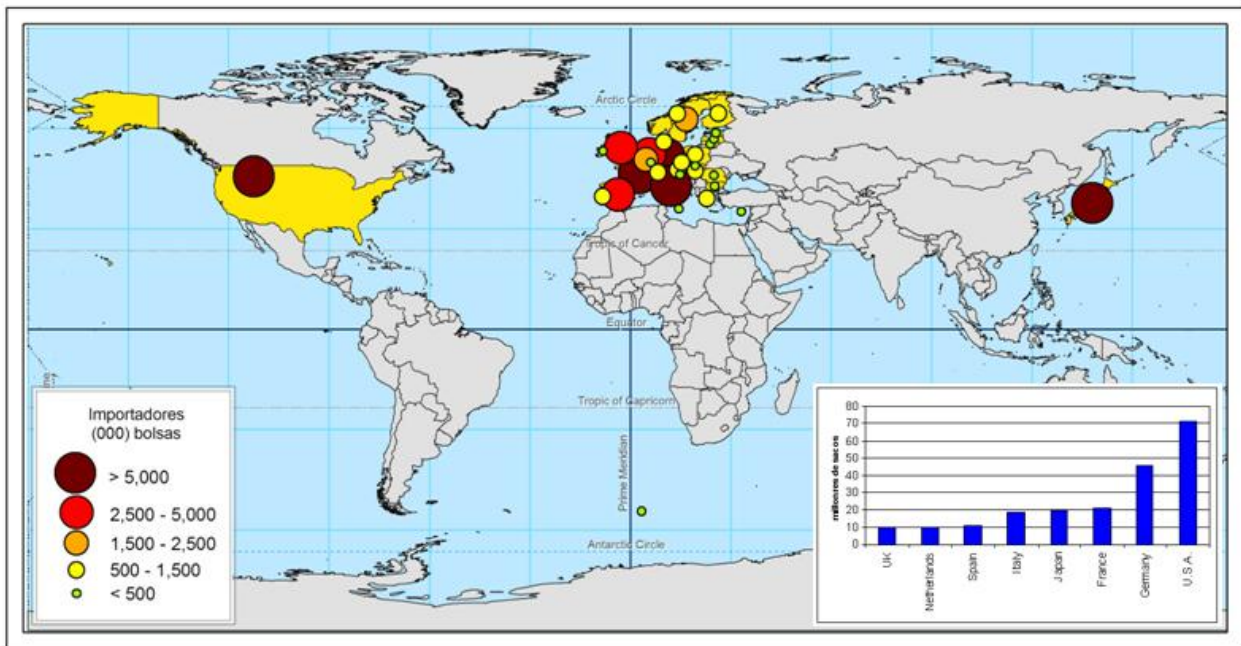


Figura 1.2 Países importadores de café y cantidad de importaciones al año en miles de sacos (OIC, 2009).

La tendencia de consumo de café ha sufrido cambios importantes, esto se observa en la producción mundial, que es 30% más que la de hace 30 años (Figura 1.3). A finales de los setentas la producción no rebasaba los 80 millones de sacos al año; en los ochentas y mitades de noventas el consumo poco frecuente y la incorporación monopólica de nuevas bebidas como refrescos, aguas embotelladas y energizantes, mantuvo la producción entre 90 y 95 millones de sacos al año; ya para finales de los noventas y hasta nuestros días se ha estabilizado la producción, incluso hasta recuperarse y generar más de 120 millones de sacos anuales (CEFP, 2001).

A pesar de la creciente de la producción, los precios del café son inestables debido a que están sujetos a la oferta y demanda impuesta por los países consumidores. Hasta ahora han ocurrido dos series históricas de bajas de precios en el café, una de 1986 a 1993 donde el precio pasó de 200 a 50

centavos de dólar por libra. Esto fue consecuencia del rompimiento del Acuerdo Internacional del Café y la eliminación de las cláusulas económicas para el mercado mundial (CEFP, 2001). La segunda comenzó en 1997 y duró hasta el 2004, durante la cual se registraron los precios más bajos de los últimos 100 años. Las causas fueron la crisis financiera de países asiáticos caracterizada por una devaluación generalizada de sus monedas respecto al dólar y por la abundante cosecha de Brasil, que generó mayores exportaciones de las previstas y comprometidas ante la Asociación de Países Productores de Café. Por otro lado, también han ocurrido alzas en los precios del café (con menor duración que los descensos), siendo en 1986 y 1997 cuando se presentaron cotizaciones por encima de los 200 centavos de dólar por libra, especialmente para los café de tipo arábica. Las razones se debieron a la caída de la producción mundial, ocasionada por el fenómeno climático “ENSO” destacando las heladas en Brasil, la sequía en Colombia y los Huracanes en México y países de Centroamérica (Barrera *et al.*, 2004; OIC, 2009).

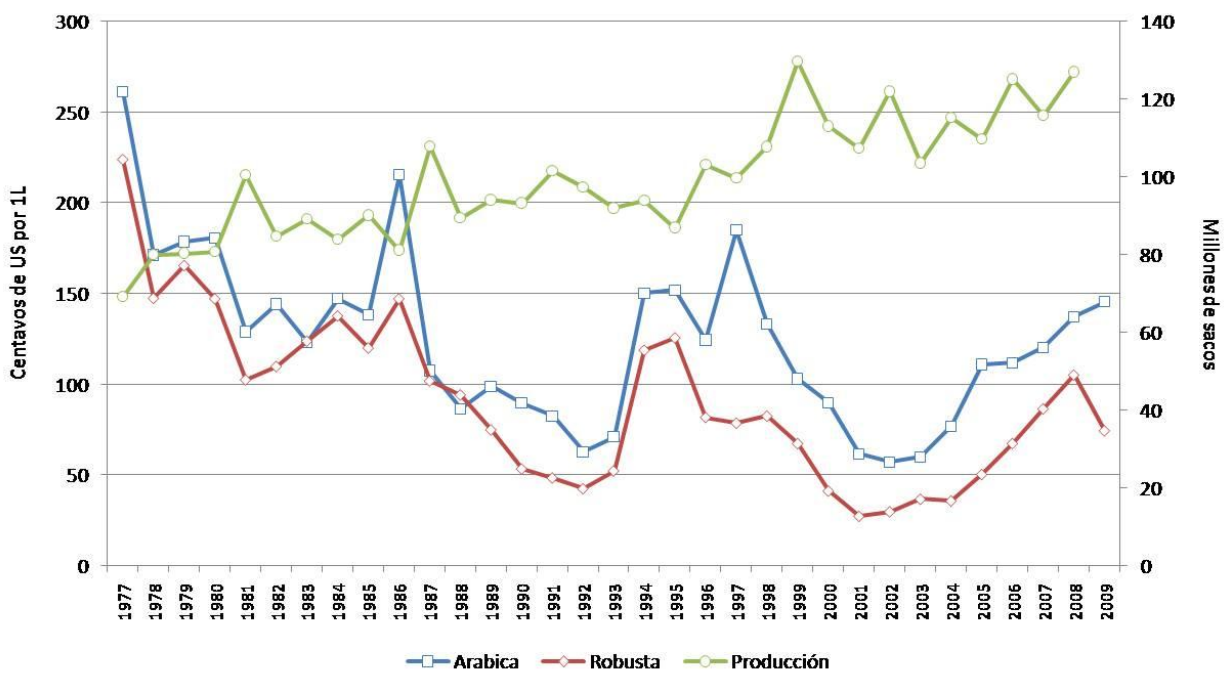


Figura 1.3 Relación entre producción y precios (arabica y robusta) mundiales (OIC, 2009).

Actualmente, los precios del café han tenido incrementos lentos pero constantes, sobre todo en los tipos arábicos, que registran para el 2009 una cotización de 150 centavos por libra; mientras que los robusta tuvieron incrementos hasta 2008 de 110 centavos por libra, pero el año pasado bajo a 74 centavos por libra. Esta volatilidad de precios es el mayor problema que afrontan los productores del

café, que se ven afectados con la cantidad de gastos que se generan de las cosechas que no son suficientes para cubrir los costos de producción (García, 2006).

Históricamente, México empezó a cultivar café en tres series de tiempo diferente: en 1790, con semillas traídas de la Habana, Cuba, se plantaron en la región suroeste de Córdoba, Veracruz; en 1838 los ingleses (con semillas producidas en Arabia) la introdujeron en Michoacán; y en 1846 por la vía de Guatemala se cultivó el cafeto en el Soconusco, Chiapas (ideam). Un siglo después, el café estaba ampliamente distribuido en el país y la bolsa de valores de Nueva York reportaba a México como uno de los principales exportadores (Rodríguez, 2004).

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 (Figuras 1.4 y 1.5) (CEFP, 2001; AMECAFE, 2006).



Figura 1.4 Superficie cafetalera por estado (AMECAFE, 2008)

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 también 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%. De igual forma, entre los cinco primeros estados se concentra el 90% de los productores (Figura 1.4 y 1.5).

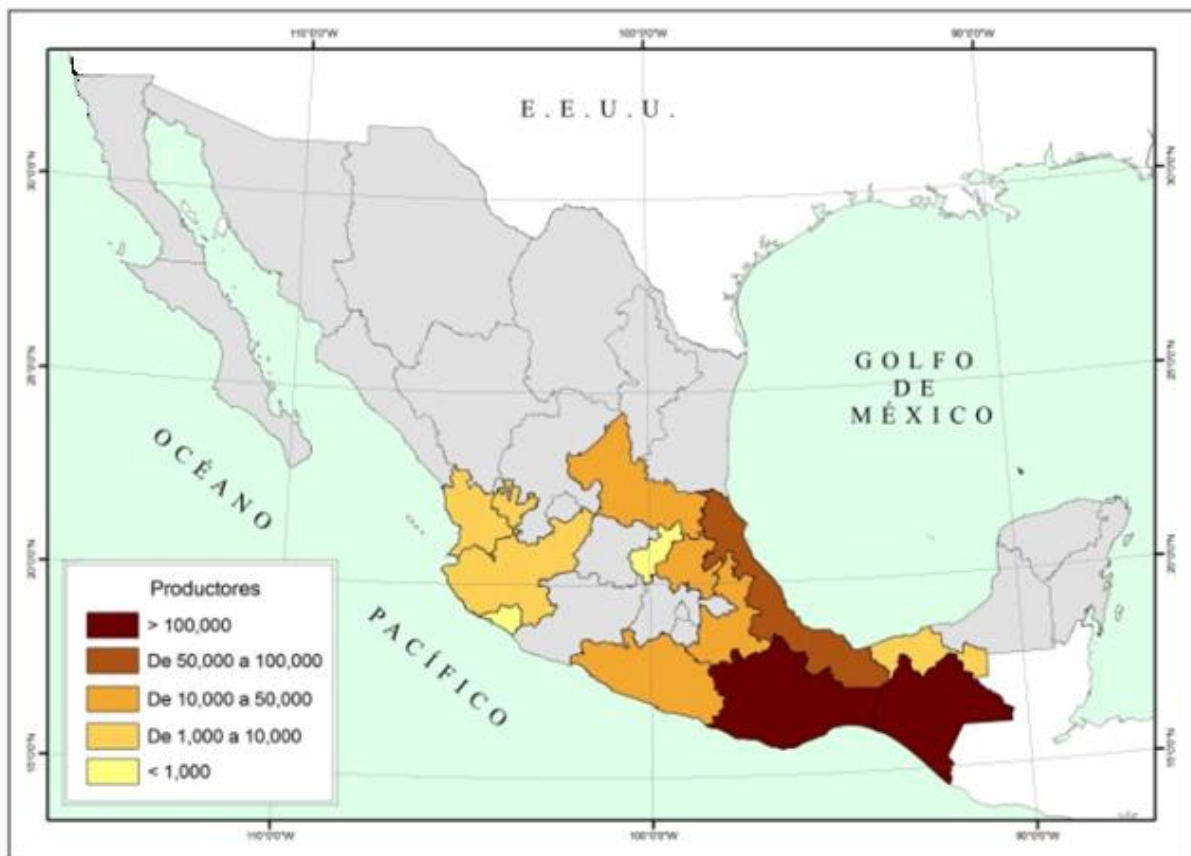


Figura 1.5 Número de productores cafetaleros por estado (idem)

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 ton 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 (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Estado actual de la cafecultura en México. 2008

	Número de productores	Superficie (Ha)	Producción (ton)	Rendimientos (ton/ha)
Chiapas	174,045	244,954.00	512,184	2,04
Veracruz	86,164	138,676.00	290,751	1,9
Oaxaca	101,886	130,721.00	170,028	1,04
Puebla	46,781	67,428.00	298,942	4,26
Guerrero	21,320	40,509.00	49,045	0,94
Hidalgo	34,125	24,636.00	36,990	1,4
Nayarit	5,395	17,256.00	28,436	1,36
San Luis Potosí	17,621	14,035.00	17,833	0,79
Jalisco	1,097	2,635.00	4,153	1,63
Colima	817	1,278.00	2,730	1,01
Tabasco	1,188	991.00	858	1
Querétaro	295	247.00	270	0,9
Total	490,734.00	683,366.00	1,412,220.00	1,52

Fuente: AMECAFE, 2006; SIAP, 2008

Según datos de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2000 - 2007), el café exportado ha ido en menor proporción, ya que para el 2000 se reportaba 283 millones de kilos (representa 4.7 millones de sacos), cifras que fueron disminuyendo hasta el 2005 que reporta la menor cantidad exportada de ese período, con 94 millones de kilos (1.5 millones de sacos). Para 2006 y 2007 hubo un ligero incremento en las exportaciones, reportándose 125 y 135 millones de kilos respectivamente. A pesar de esto, la generación de ganancias fue inversamente proporcional, ya que se reporta que para el 2000 la producción exportada generó solo 663 mil dólares, cifra que se mantuvo reducida hasta 2004 (205 mil dólares). En 2005, se reportó un incremento exponencial de 235 millones de dólares, 2006 cerca de 308 millones y para 2007 351 millones de dólares. Aunque estas cifras no coinciden en gran parte con las reportadas por la OIC, por ser estadísticas generadas por una dependencia oficial del país serán las usadas en este proyecto. Datos oficiales reportan que

México exportaba solo café arábica, pero en 2004 se incluyó la variedad robusta, aunque su incorporación fue en menor escala. Hoy en día, robusta solo cubre el 1.8% del total de las exportaciones.

A pesar de ser un país productor y exportador de café, también existen importaciones, sobre todo de cafés procesados. Para el año 2000 se importó 5.7 millones de kilos (que representa 95 mil sacos), cifra que se elevó para el siguiente año, con 18 millones de kilos. Después del 2002, la cantidad ha ido disminuyendo hasta llegar a solo 1.5 millones de kilos en 2005. La última cifra reportada es para 2007 con 2.4 millones de kilos importados (40 mil sacos). Estas importaciones generaron un gasto no mayor a los 13 mil dólares anuales, pero en 2005 hubo un incremento en los precios, al igual que las exportaciones que realizó el país, reportando para ese año un gasto de 6.8 millones de dólares. Dicha cifra fue incrementándose, hasta llegar en 2007 a 12.5 millones de dólares (INEGI, 2007). En el país, la mayor parte de la producción se exporta, sin embargo, el 25 % de la producción para 2007, podría comercializarse dentro del país. La producción que se queda dentro del país serviría para satisfacer el consumo *per cápita* nacional. Pero al ser mucho más baratos los cafés importados (aunque de baja calidad, rebajados y hasta con problemas fitosanitarios) la población prefiere comprarlos (Ku, 2001).

El café se produce en las vertientes de las cadenas montañosas de estos estados, debajo de la cubierta de un dosel de árboles (Anexo 1). 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, 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, 1997; Barrera *et al.*, 2004; Alejo, 2000).

Como ya se ha mencionado, las principales especies cultivadas en México son la arábica y la robusta. La primera es de mayor importancia en el país, por la calidad del grano (clasificado dentro del grupo “otros suaves”), el valor en el mercado nacional e internacional y por su extensión territorial (cultivada en el 98% de la superficie cafetalera). Las variedades más representativas de la arábica son la Typica, Borbón, Caturra, Mundo novo, Pluma Hidalgo, Maragogype Garnica, Catuai y Catimor; 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). La robusta se cultiva en pequeñas regiones de Veracruz, Chiapas y Oaxaca, produce mayor número de frutos que la arábica, aunque los granos son de menor tamaño. A pesar de que la superficie es reducida, robusta ha empezado a aumentar su producción debido a que es utilizado para la preparación de cafés instantáneos (Pérez, 2005).

Las características ambientales que necesita el café para su crecimiento, floración y maduración (inmersos en la calidad y sabor del café) están representadas en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2 Características ambientales para el cultivo del café.

Característica	Favorece a	La ausencia de, provoca
Temperatura	Crecimiento óptimo del café, con temperaturas entre 16° y 26°C en promedio mensual.	Daños en el café con valores inferiores o superiores de temperatura
Precipitación	Con promedios de 1800 a 2000 mm distribuidas en el año, el café tiene suficiente agua para su desarrollo. La precipitación debe coincidir con el periodo de reposo vegetativo.	Periodos de larga sequía provoca estrés hídrico en la planta, disminuyendo la producción y en algunos casos la muerte del café. En contraparte, precipitaciones mayores a 3000 mm el café se deteriora.
Humedad	Entre 70 y 80% de humedad relativa favorece al crecimiento idóneo del café	Rangos inferiores o superiores a la humedad óptima favorece a presencia de plagas y enfermedades
Luminosidad solar	Requiere entre 1500 y 2500 horas efectivas de luminosidad, donde su intensidad, duración diaria y distribución durante el año (200 a 280 horas durante los meses secos y 100 a 150 durante	La ausencia de luminosidad interfiere en los procesos de fotosíntesis. El exceso acelera la maduración.

	los meses húmedos) son importantes.	
Suelos	Requiere suelos de textura franca, profundos, permeables, además la porosidad (60%) es fundamental para mantener el cafeto sano. El pH idóneo es del orden de 5.0 a 5.5 (ácido).	Suelos poco profundos y de pH básicos interfieren en la calidad y sabor del café.
Altitud	Está directamente relacionado con la calidad, donde los cafetos ubicados entre los 900 y 1300 msnm son los mejores, en sabor, aroma, cuerpo y acidez.	Cafetos cultivados en altitudes menores a los 600 msnm tienen menor productividad.
Latitud	Está relacionado con la luminosidad y la altitud. El cultivo de café sólo se da en la franja intertropical.	
Clima	Los óptimos son cálidos y semicálidos de tipo Am, Af, Ac y C(fm).	Climas Aw (subhúmedos) y C (templados) son limitantes para el crecimiento del café, aunque en México se encuentra bajo estas condiciones.
Viento y topografía	El viento está relacionado con la cantidad de humedad y la topografía con la dirección de la ladera (barlovento y sotavento) que recibe mayor luminosidad.	

Fuente: Castillo *et al.*, 1996; Alejo, 2000.

La importancia del café en México radica en varios aspectos: es el producto agrícola que más divisas genera, con más de 350 millones de dólares; la mayor parte de la producción es de exportación (85% de la producción); la superficie ocupada para su plantación es significativa, con 683 449 hectáreas representando el 3.1% de la superficie agrícola del país; induce a una mejor biodiversidad y por ser un cultivo de sombra protege al suelo de la erosión; y sobresale por su beneficio social al ser en su mayoría cultivados por pequeños productores (< 2 ha/productor) y por el tipo de recolección poco mecanizada, ya que genera empleo a un número importante de personas.

Sin embargo, los problemas que sufre el cultivo del café en la actualidad provienen de diferentes ángulos. En el sentido económico, la competencia con el libre mercado internacional ha hecho que México baje de posición en el ranking mundial, en el 2000 era el 5° país por su producción y exportaciones, mientras que para el 2009 paso al 7° lugar, desplazado por países asiáticos (Vietnam, Indonesia, India). La volatilidad en los precios del café ha sido causa para la desestabilización

económica de los productores y sus familias. Las fluctuaciones dependen de la oferta y la demanda internacional y se intensifica con problemas ambientales y de cambio climático. Para México se han reportado precios de más de 200 y menos de 25 centavos de dólar por libra (OIC, 2009). Actualmente el café está cotizado en 124.9 centavos de dólar por libra (mes de enero 2010).

En el sentido político, la poca presencia de organismos gubernamentales ha generado un escenario de caciquismo y estafa. El Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), creado por decreto presidencial en 1958, trabajaba mediante esquemas de unidades económicas de producción y comercialización que financiaba a pequeños productores, quienes recibían anticipos a cuenta de cosecha y otro tipo de apoyos, mismos que se recuperaban con pago en especie. En 1993 desaparece INMECAFE por la baja de los precios, posteriormente, se crea el Consejo Mexicano del Café, que desaparece en el 2004 por fraude y surge la Comisión Nacional Sistema-Producto Café, que se caracteriza por funcionar a través de acuerdos directos entre los productores y el sector industrial. Hoy en día existen varias instituciones como AMECAFE (Asociación Mexicana de Cadenas Productivas de Café) ANECAFE (Asociación Nacional de la Industria del Café, A.C.), Café de México, entre otros, que tienen como propósito mejorar la comercialización y por ende la calidad de vida de los productores, sin embargo, estas instituciones parece no ser estables y tienden a desaparecer (CEFP, 2001; AMECAFE, 2006).

En el ámbito social, la problemática se centra en que la mayoría de los productores de café son indígenas (66%), de los que sobresalen zapotecos, mixtecos, mixes, mazatecos, totonacos, otomíes, tzetzales, zoques, tojolabales, huicholes y chatinos, los cuales presentan altos índices de pobreza extrema, además de localizarse en zonas de difícil acceso por tener rezagos en la infraestructura básica. Los predios cafetaleros han venido disminuyéndose, ya que para 1978 el promedio de superficie por productor era de 3.48 ha y para 2004 se redujo a 1.38 ha (Figura 1.6). Este fenómeno social responde a la tradición familiar de subdividir los predios para heredárselos a los hijos, y últimamente, al interés de los campesinos de obtener más beneficio de los programas de apoyo del gobierno (AMECAFE, 2008). Además, el sistema cafetalero es de baja tecnificación por lo que la mano de obra (labores culturales y de cosecha) representa el 90% del costo total de producción. Aunado a eso, la desorganización en algunos sectores de la población para formar asociaciones y la

falta de interés de las nuevas generaciones de las comunidades cafetaleras, que prefieren emigrar a los Estados Unidos o a otras partes del país, intensifican la problemática social.

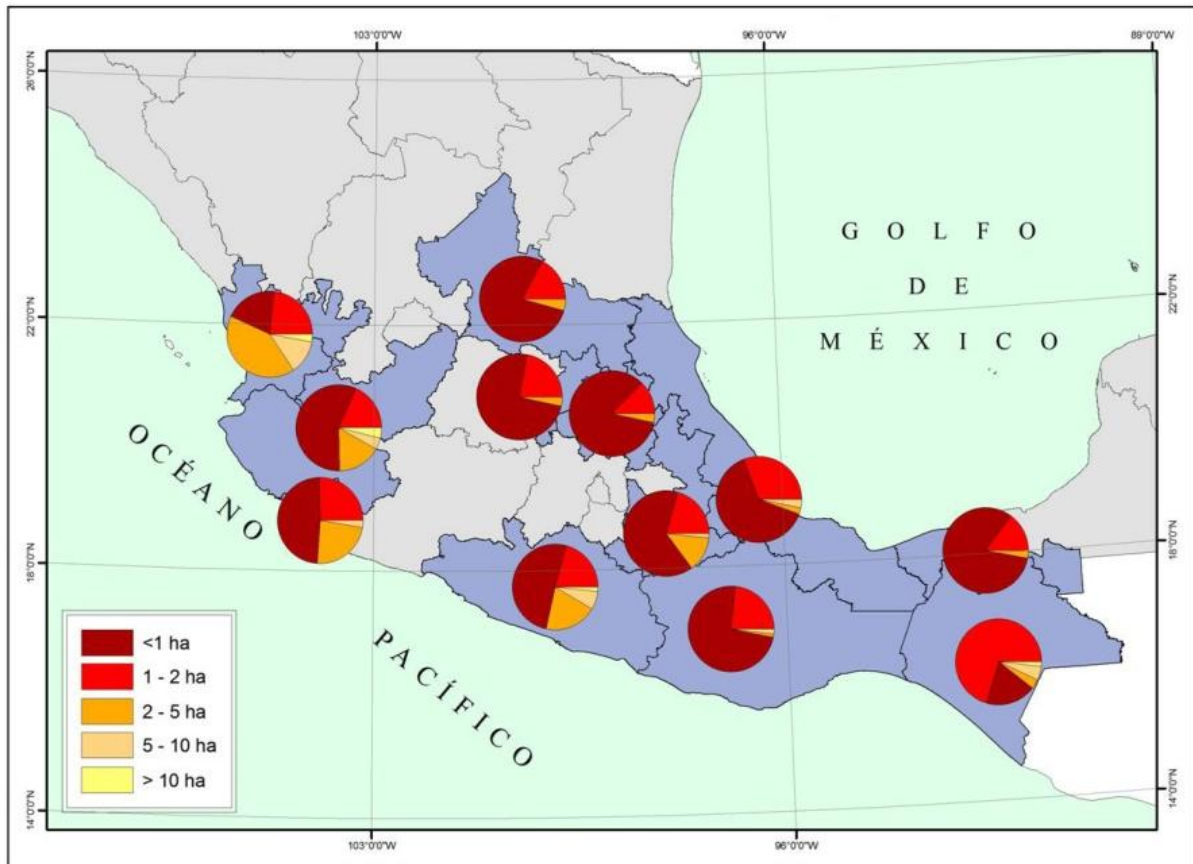


Figura 1.6 Superficie cultivada con café por productor en México (AMECAFE, 2008).

El café es cultivado en tierras comunales, ejidales y privadas, siendo estas últimas donde se presentan las superficies mayores. A nivel nacional, el café es cultivado en un 39% sobre tierras ejidales, seguido de los pequeños propietarios con 35%, los comuneros con 21% y los tipos de usufructo, arrendatarios y tenencia indefinida con 4% (CEFP, 2001).

En el sentido ambiental también existen problemas, como la deforestación y el cambio de uso de suelo; la diversificación del cultivo de café; la falta de cubierta vegetal que genera pérdida del suelo y consecuentemente pérdida de nutrientes para la planta; entre otros. Plagas o enfermedades y el uso de químicos para combatirlas, el cambio climático, entre otros. Como ejemplo, en 1997 se registraron importantes alzas en el precio de café internacional debido a la caída de la producción

mundial ocasionada por el fenómeno del niño, heladas en las partes más cálidas, sequías en sitios húmedos y huracanes en las zonas costeras (CEFP, 2001).

En el caso de plagas y enfermedades del café, las más comunes 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 (*Araeocerus 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).

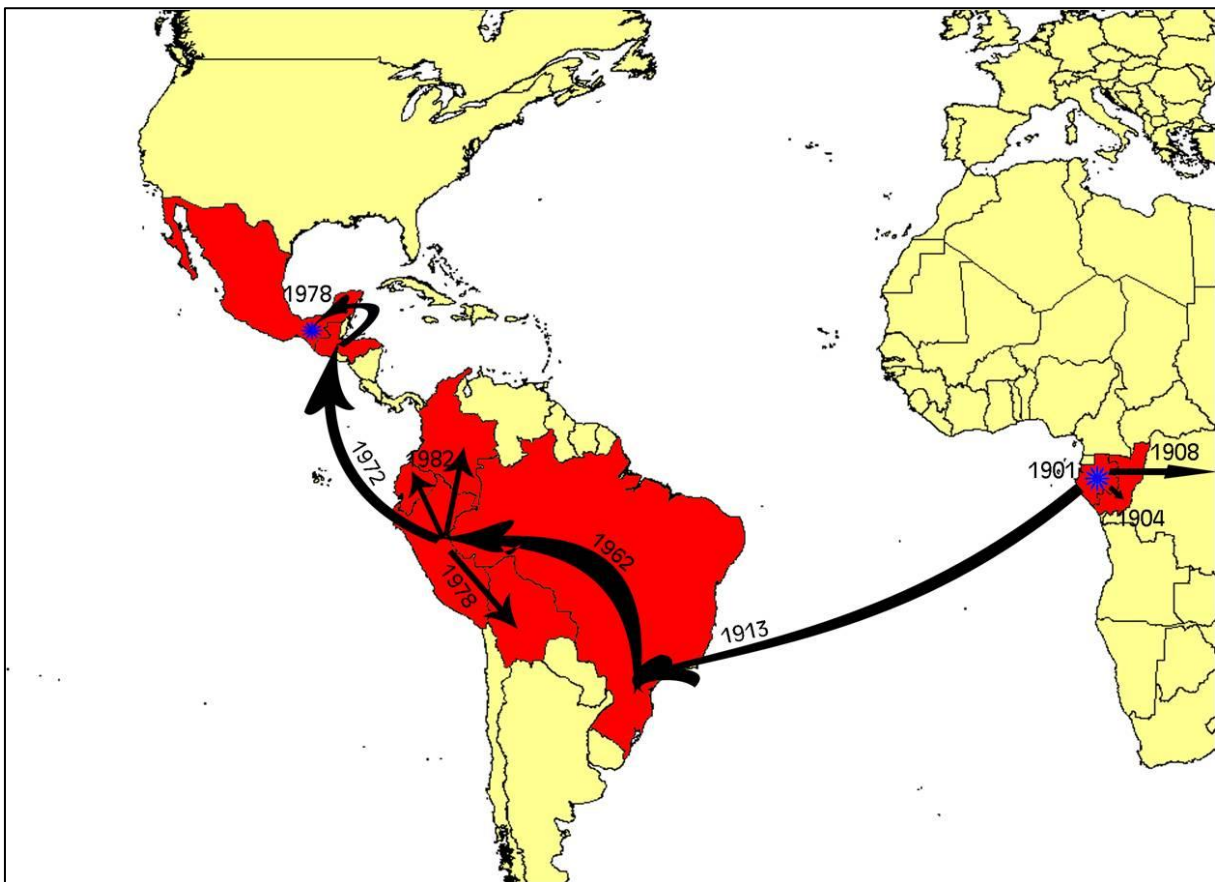


Figura 1.7 Propagación de la broca de café en el Mundo

La plaga de Broca de café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), también conocida con el nombre de barrenador del café, gorgojo del café y taladro de cerezas del cafeto, es el principal problema

entomológico del café, ya que produce baja rentabilidad en el cultivo, disminuye la cantidad en la producción, eleva los costos de producción y altera la inocuidad de la bebida por la presencia de ochratoxinas¹ (Camilo *et al*, 2003; Alejo, 2000; Pascual *et al*, 2002; Romero *et al*, 2007). El primer registro lo reporta Ferrari (1897) en África ecuatorial, principalmente en Guinea y Etiopía, para 1091 se menciona del primer registro de daños en campo, posteriormente llega a Uganda (1908) y se empieza a relacionar como una plaga de importancia económica. Entre 1908 y 1965 la broca se propaga a todas las regiones cafetaleras de África y Asia (Barrera, 2005). Con el intercambio de especies y el avance de los medios de transporte de esa época, la broca llega al continente Americano, específicamente a Brasil en 1913 y a partir de ese momento su dispersión ha sido en la mayoría de las regiones cafetaleras de América de Sur. El primer reporte en Centroamérica es Guatemala en 1971. Actualmente se registra presencia de la plaga en todas las regiones cafetaleras del mundo. (Figura 1.7).

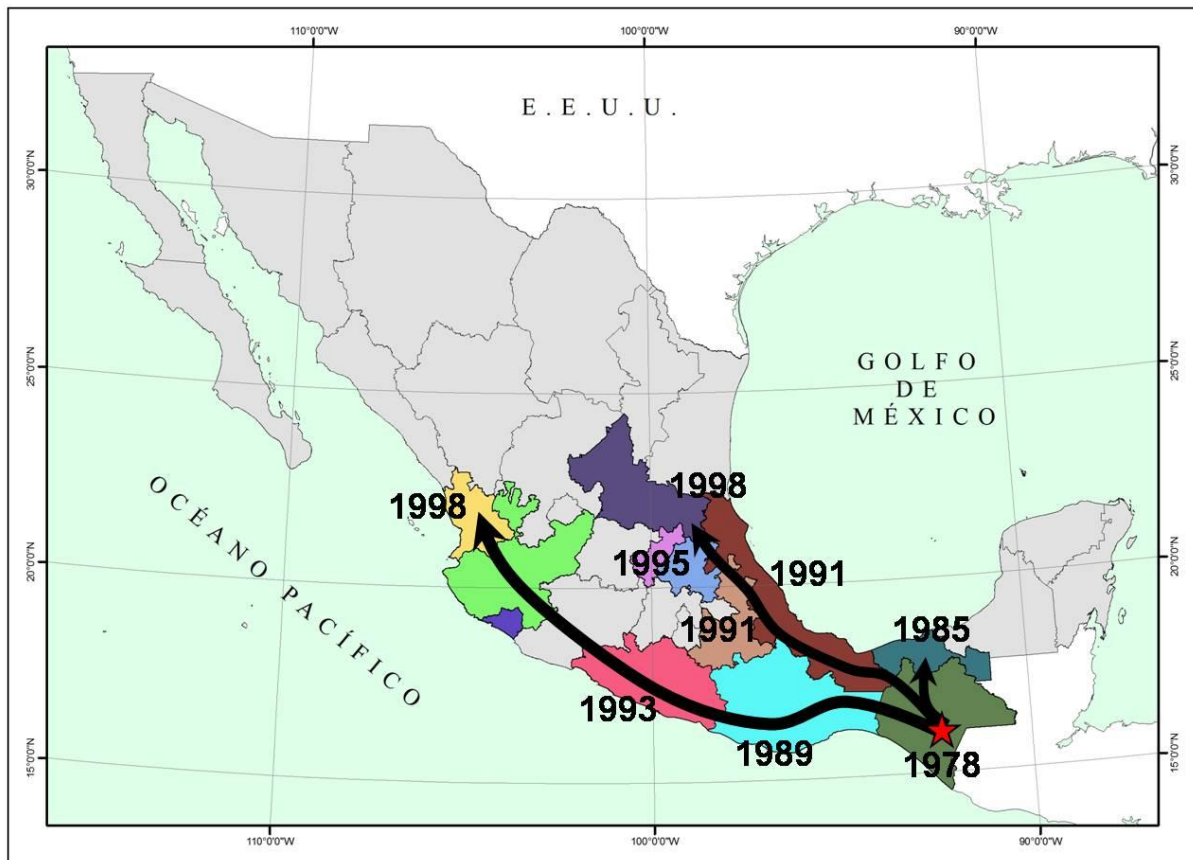


Figura 1.8 Propagación de la broca de café en México (SENASICA, 2006).

En México, la broca de café fue detectada por primera vez en 1978, en el ejido Mixcum, municipio de Cacahoatán, en la región de Soconusco Chiapas. Se mantuvo en ese sitio hasta que en 1989 se reportó en San Miguel del Puerto, Pochutla, Oaxaca; en 1991 en Tezonapa, Veracruz; y en 1993 llegó hasta Atoyac de Álvarez, Guerrero. Para 1994 estaba presente en 97 municipios de 5 Estados: Veracruz, Puebla, Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Figura 1.8). En 1998, llegó al límite más boreal de las zonas cafetaleras del país: San Luis Potosí. Actualmente todos los estados cafetaleros son afectados (Cuadro 1.3), generando pérdidas en más del 56% de la superficie total del país (Ramírez *et al*, 2007; SENASICA, 2008).

Cuadro 1.3 Superficie (ha) afectada por la Broca de Café en México.

Estado	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Chiapas	80,000	90,000	110,000	130,067	130,067	130,067	130,067
Guerrero	36,669	36,669	36,669	36,669	26,529	26,529	26,529
Oaxaca	47,500	47,500	47,500	47,500	47,500	62,000	77,420
Puebla	37,000	37,000	37,000	37,500	37,500	37,500	37,519
San Luis Potosí	924	2,100	2,300	2,549	4,660	5,566	5,566
Tabasco					1,025	1,038	747
Colima							250
Hidalgo	5,500	8,173	8,413	7,908	8,412	8,769	8,769
Querétaro			100	120	140	247	247
Jalisco							1,316
Nayarit	6,967	7,960	7,960	7,960	16,023	16,023	16,072
Veracruz	7,800	15,000	16,000	23,000	46,000	69,000	80,000

SENASICA, 2006

En el caso de Chiapas, principal productor de café, tiene presencia de la plaga en 53% de su superficie, Oaxaca está afectado en el 59.2% de su superficie, Veracruz tiene 57.6% afectado, y la mayor parte de los estados en promedio están afectados en casi o más de su superficie cafetalera. Sin embargo, los datos presentados en el cuadro 1.3 son de 2006, actualmente la superficie afectada es mayor, tal es el caso de San Luis Potosí, que para 2006 se tiene afectación en el 40.3% de su superficie, para el 2009 se reporta una afectación en cerca del 95% de su superficie (Comentado por personal de CESVSLP).

Para combatir a *Hypothenemus hampei* se implementaron acciones de detección y control desde 1995, basados en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-FITO-1995, versión previa a la NOM-002-FITO-2000 (DOF, 2001), que establecen la Campaña contra la Broca del Café. Esta es operada en los estados afectados por Comités Estatales de Sanidad Vegetal, apoyado con recursos económicos tanto del Gobierno Federal (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA), Gobierno Estatal (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos) y los propios productores organizados a través de Juntas Locales de Sanidad Vegetal.

2. MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO

2.1 Plagas agrícolas

Según la FAO (2009) una plaga es cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales. 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 invasivas (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). La mayoría de las plagas, sufren de intensas explosiones poblacionales en periodos de tiempo corto, abarcando uno o más hábitats, produciendo daños considerables. Según Villa (2007), existen 3 tipos de plagas: Ocasionales, presentan aumentos de poblaciones bruscos provocados por las condiciones naturales; Potenciales, cuando se altera la cadena alimenticia y se eliminan sus depredadores; y Migratorias, está presente en temporadas y presentan alta capacidad de movilización. Tradicionalmente, y para el enfoque de este trabajo, definiremos a las plagas a aquel fenómeno que afecta a la agricultura y que ocasiona pérdidas económicas o ambientales.

En los últimos 30 años, la propagación de especies invasivas y enfermedades emergentes ha sufrido un drástico aumento por la acentuación de los desplazamientos transfronterizos de bienes y personas, la liberación del comercio y la falta de políticas efectivas en las fronteras y los cercos fitosanitarios internacionales. Y aún cuando la presencia de plagas parece un problema técnico, administrativo, comercial y/o hasta político, también debe ponerse de manifiesto que el crecimiento de la superficie agrícola siniestrada por plagas (e incluso por fenómenos meteorológicos) se debe al progresivo impacto que se genera en el ambiente. Las plagas pasan de ser un fenómeno aislado, a ser vistos como partes del sistema, ya que los daños que ocasionan pueden ser económicos (pérdida del

patrimonio, de la productividad, y de los ingresos e inversiones), físicos y de salud (utilización de pesticidas) y psicológicos (conmoción y pánico) (Galindo *et al*, 2008).

Bajo ese constante y dinámico intercambio comercial internacional, es necesario determinar las plagas involucradas en la importación de productos agrícolas, así como fortalecer la protección del país mediante acciones de inspección, certificación y vigilancia, y prever medidas fitosanitarias emergentes en caso de detección de alguna plaga. Una de esas medidas, establecidas dentro de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF), es contar con un inventario de plagas (SINAVEF, 2010).

En el caso de México, el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria creó un inventario nacional de plagas, que reporta 1163 plagas reglamentadas, donde el 29.8% son hongos, 29.2% insectos, 13.6% Virus, 9.4% bacterias y 18% restante dividido entre Malezas, Nemátodos, Ácaros, Fitoplasmas, Viroides y demás (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Clasificación del listado del inventario por tipo de plaga (SINAVEF, 2010)

Grupo común	N° de plagas
Hongos	347
Insectos	340
Virus	159
Bacterias	110
Malezas	89
Nematodos	42
Ácaros	27
Fitoplasmas	23
Viroides	10
Sin clasificar	9
Moluscos	3
Mamíferos	3
Algas	1

De acuerdo con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) n° 19 de la CIPF, la lista de plagas se organiza en:

- Plagas cuarentenaria no presente: plaga de importancia económica potencial para el área en peligro aun cuando la plaga no esté presente
- Plagas cuarentenarias presentes: plaga de importancia económica, que si existen no están extendidas y bajo control oficial.

- Plagas no cuarentenarias reglamentadas: plaga no cuarentenaria cuya presencia en las plantas para plantar afecta el uso destinado para esas plantas con repercusiones económicamente inaceptables y que, por lo tanto, está reglamentada en el territorio de la parte contratante importadora (FAO, 2009).

Además se integran dos categorías más (sólo para el país) establecidas por Hojas de Referencia Fitosanitaria (HRF) o por Normas Oficiales Mexicanas (NOM's):

- Plagas de importancia económica sujetas a control oficial: no tienen cuarentena exterior y en la mayoría de los casos, no tiene implicaciones en los productos que se exportan.
- Plagas cuarentenarias presentes que no están sujetas a control oficial: Estas plagas tienen cuarentena exterior, pero no existe ningún programa de control oficial.

En este último punto el listado de plagas reglamentadas presenta 66 plagas con cuarentena exterior (Cuadro 2.2) que están presentes en México, algunas de ellas ampliamente distribuidas y no están sujetas a control oficial, por lo que no cumplen con la segunda categoría establecida por la NIMF n° 19. La mayoría de estas especies se reportan como presentes en México en bases de datos como el CPC (Crop Protection compendium) (CABI, 2010) o el PQR (Pest Quarantine and Retrieval System) de la EPPO (EPPO, 2007). Para las plagas que si están presentes y que tienen establecida una cuarentena exterior en NOM's o HRF's se deben justificar las medidas fitosanitarias para mantener dicha cuarentena en concordancia con el principio de "justificación técnica" establecido en el Acuerdo sobre la aplicación de MSF de la OMC (FAO, 2009). Algunos géneros de malezas (*Echinochloa* spp., *Ipomoea* spp., *Richardia* spp., *Setaria* spp.) y del hongo *Dothiorella* spp. poseen especies presentes en México, pero otras no se han reportado en el país, por lo que es difícil determinar su estatus si no se detalla la especie de cada uno de estos géneros (SINAVEF, 2010).

Cuadro 2.1 Clasificación de plagas de acuerdo con la NIMF 19 del CIPF.

Categorización	Número de plagas	Observaciones
Plaga cuarentenaria no presente	997	Acorde con la NIMF No 19
Plagas cuarentenarias presentes, que si existen no están extendidas y bajo control oficial	48	Acorde con la NIMF No 19

Plaga no cuarentenaria reglamentada	19	Acorde con la NIMF No 19
Plagas de importancia económica sujetas a control oficial	33	No tienen cuarentena exterior o sin implicaciones en el comercio
Plagas cuarentenarias presentes, que no están sujetas a control oficial	66	Con cuarentena exterior en NOM o HRF, pero sin programa de control oficial
TOTAL	1163	

Fuente: SINAVEF, 2010.

Para el cultivo del café, se tiene reportado que poco más de 900 plagas y enfermedades, atacan a este sistema producto. Tan sólo, el 90% de ese número de plagas son insectos (CABI, 2010). Como se menciona anteriormente la Broca de café (*Hypothenemus hampei*) es considerado el principal problema entomológico de este cultivo. Hoy en día su estatus en el país, considerando la norma internacional para medidas fitosanitarias (NIMF) No. 5, es plaga cuarentenaria presente. Aunque el estatus está en discusión, ya que el termino refiere a “plaga de importancia económica potencial para el área en peligro aun cuando la plaga no esté presente o, si está presente, no está extendida y se encuentra bajo control oficial”. Para el caso de la *H. hampei* se encuentra extendida en todas las zonas cafetaleras del país, pero tiene control oficial, por lo que también podría considerarse como una plaga no cuarentenaria presente (FAO, 2009).

2.2 Métodos para el control de plagas agrícolas

La broca del café ha forjado una historia de más de 90 años en la cafecultura de América tropical. Los productores de café de la vasta mayoría de los países cafetaleros de esta región del mundo, saben lo que la presencia de la broca significa daños para la calidad y rendimiento del aromático grano. En un esfuerzo por reducir estas pérdidas, los países afectados llevan a cabo campañas o programas en contra de esta temible plaga. Asimismo, realizan investigaciones para generar conocimientos y tecnologías que contribuyan a crear o fortalecer estrategias y tácticas de manejo (Barrera *et al.*, 2007). En este sentido, los países centroamericanos han diseñado métodos de control para la erradicación y propagación de la broca de café. Guatemala creó la Campaña Nacional Contra la Broca como instrumento legal para su prevención y control. Con la clausura de la Campaña en 1982, la Asociación Nacional del Café absorbe las labores de investigación, se participa en proyectos regionales de investigación sobre broca, coordinado por PROMECAFE. Como producto de estos proyectos, se logra la introducción de los parasitoides de origen africano *Cephalonomia*

stephanoderis, *Porops nasuta* y *Phymastichus coffea*. Se transfiere la tecnología de producción de *C. stephanoderis* a los caficultores, quienes a través del establecimiento de Unidades Rurales de Producción, producen y liberan en campo sus propios parasitoides. Estudios de adaptación reportan el establecimiento de *P. coffea*. Estudios en 2004 y 2005, orientados a evaluar diseños artesanales de trampas para captura de la broca, indicaron que el diseño “Trampa Broca” superó a otros diseños evaluados. El cúmulo de conocimientos generados por la investigación de más de tres décadas, ha contribuido a estructurar el Programa de Manejo Integrado de la Broca, cuya aplicación a escala comercial ha demostrado sus bondades económicas y ambientales para la cafecultura guatemalteca (Campos, 2005). Costa Rica por su parte implementó una estrategia de Manejo Integrado de la Broca del Café que se inició antes de que la plaga fuera reportada en el país en diciembre del año 2000, resultado que se evidencia con las bajas pérdidas experimentadas por los productores en la mayoría de las áreas cultivadas con café. La estrategia ante la broca ha contemplado acciones previas a la detección de la plaga, durante la época de dispersión, así como la labor permanente de investigación y transferencia de tecnología. Las acciones previas a la detección incluyeron la instauración de la Comisión Nacional de Broca en 1998, formulación del Programa Nacional de Prevención y Control Integrado de la Broca, publicación de leyes y decretos, monitoreos de la plaga en la zona fronteriza con Nicaragua y otras áreas del país, puestos de cuarentena en fronteras, así como capacitación a técnicos y productores. Con la detección de la broca se declaró el estado de emergencia nacional y se impidió el traslado de café de zonas con broca a zonas libres de la plaga. Se establecieron puestos de cuarentena desde 2000 hasta 2004 para evitar la diseminación del insecto hacia áreas libres. Se desarrolló una campaña nacional de información y capacitación haciendo énfasis en el MIB. Se intensificó la investigación del comportamiento de la plaga en relación con el ambiente, así como el estudio de prácticas de control cultural, manual, etológico, biológico y químico. Se implementaron parcelas demostrativas que incluían las mejores prácticas de manejo del cultivo. Se estudió el efecto de los ataques de la broca sobre las pérdidas de rendimiento de beneficiado y se implementó un sistema de ajuste de pérdidas por concepto de café brocado. Se implementó el laboratorio de producción de *B. bassiana*. Actualmente se continúa con la capacitación constante al sector cafetalero y se investigan diversas estrategias de control (Rojas, 2007). Honduras, Panamá y El Salvador se basan en acciones legales donde generan campañas de divulgación y establecen programas de Manejo Integrado de la Broca (MIB), que incluyen prácticas culturales, control etológico, control biológico utilizando hongos entomopatógenos como *Beauveria*

bassiana y *Metarhizium anisopliae*, y liberaciones de los parasitoides *Porops nasuta* y *Phymastichus coffea* (Rodríguez, 2007; Pérez, 2007; Hernández, 2007).

También existe PROMECAFE que es una red de investigación y cooperación en café formada por los institutos del café de Guatemala, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Panamá, República Dominicana y Jamaica, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. En 29 años, ha contribuido a mejorar la cafecultura de estos países, conjugando esfuerzos regionales para un trabajo cooperativo y participativo, realizando acciones coordinadas dentro de alianzas estratégicas. Desde 1982, inició un periodo muy importante de investigación y capacitación en broca del café, realizando estudios bioecológicos y de control del insecto, que permitieron orientar programas de Manejo Integrado de la Broca (MIB) y reducir el uso de insecticidas y el costo de combate. Se desarrolló el control biológico con la introducción y multiplicación de parasitoides y entomopatógenos. Se estableció la cría rural de parasitoides y se desarrolló la trampa y los atrayentes de captura. La capacitación y el intercambio de información tecnológica han sido importantes, apoyando a otros países, fuera de la región. Los avances han sido notables, generando mucha información sobre la broca y su manejo en México, Centroamérica y El Caribe. Técnicos y agricultores se familiarizaron con la plaga y la tecnología para su manejo y adoptaron tecnologías participativas (Canet *et al*, 2007).

México por su parte también realiza acciones en contra de la Broca de café y a pesar de que *Hypothenemus hampei* entro al país en 1978, fue hasta 1992 cuando, por parte del gobierno federal, estatal y productores, se empezaron a realizar algunas acciones fitosanitarias aisladas. Las acciones concretas para combatir la plaga se realizaron hasta 1995 cuando se crea oficialmente la norma NOM-019-FITO-1995, la cual tiene como objetivo “prevenir la introducción al territorio mexicano, plagas de importancia cuarentenaria del café (*Hypothenemus hampei*, *Hemileia vastatrix*, *Hemileia coffeicola*, *Virachola bimaculata*, *Fisarium stilboides*, entre otras), mediante el establecimiento de regulaciones y medidas fitosanitarias, por lo cual resulta aplicable a las plantas del cafeto, cereza de café, semillas, cascarillas, grano tostado y sin tostar de café, así como sus envases, empaques, bodegas y medios de transporte”. Las acciones de esta norma estaban basadas en la evaluación de impacto (económico y de producción), así como análisis de riesgo de la plaga. Esta norma sufre una modificación en 2002, donde se agregan otras plagas que dañan el cafeto como *Pseudomonas*

garcae (Mancha foliar bacteriana), *Pseudomonas cichorii* (Bacteriosis de viveros), *Colletotrichum coffeanum* var. *virulans* (Antracnosis del cafeto) y *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo). Además, indica que a través de estudios y análisis técnicos la condición del grano de café sin tostar tiene medidas fitosanitarias suficientes para mitigar el posible riesgo asociado a la importación de este producto (DOF, 1996).

La NOM-019 sirvió como referencia para crear la NOM-002-FITO-2000, que establece la Campaña contra Broca de Café. El objetivo es “implantar regulaciones de carácter obligatorio que se deberán cumplir para confinar y controlar las infestaciones de la broca de café por abajo del nivel de daño económico, así como evitar su dispersión a zonas cafetaleras sin presencia de la plaga”. Para el momento en que se estableció esta norma, la plaga se reportaba en el 55% de la superficie cafetalera (alrededor de 210 municipios), lugares que debían ser zonas bajo control fitosanitario, a las cuales se les debía de aplicar técnicas de muestreo (en campo y en beneficio), identificación y diagnósticos de la plaga (a través de laboratorios certificados y oficiales) y en caso de ser positivos, aplicar medidas fitosanitarias como trampeo, control cultural, biológico, químico y legal. Además, precisa sobre dar capacitaciones a los productores en la aplicación de los métodos de control. En caso de ser zona libre, debía aplicarse las mismas medidas que como si estuvieran afectadas, y en caso de no reportar ningún diagnóstico positivo en dos años, podría declararse oficialmente libre. También hace referencia a la movilización del café, a sus beneficios y a cualquier industrialización que sufra el café. En general, la norma está enfocada en integrar una serie de metodologías (descritas de forma específica en el apéndice titulado Manejo Integrado de la Broca de Café en México), que permitan una mayor eficiencia, sin impactos negativos al ambiente y con pocos recursos económicos.

La inversión que se ha hecho para la eliminación de plagas agrícolas, sea insecto, patógeno o maleza, data de varias décadas atrás. Su combate ha estado a cargo de productores, dependencias de gobierno y privadas, campañas fitosanitarias, instituciones educativas y de investigación, etc., utilizando como estrategias principales el control, el manejo o la disminución, y en algunos casos, la prevención. Estas maniobras se han basado en el esquema de *Manejo Integrado de Plagas* (MIP), que según Velasco (1995) es un enfoque ecológico que se considera a la plaga y a las interacciones de ésta con los factores bióticos (parasitoides, depredadores, entomopatógenos) y bióticos (temperatura, humedad, luminosidad, viento). Este método indica que las plagas no pueden

erradicarse de forma definitiva, ningún control aplicado de forma aislada puede tener resultados satisfactorios, por lo que el control eficaz debe ser combinado con otros tipos de control, tales como el biológico, químico, legal, manual y cultural. A pesar de que el MIP fue diseñado para justificar el uso de plaguicidas, el camino hacia el desarrollo sustentable hizo que varios enfoques (Manejo Biológicamente Intensivo, Manejo Ecológico de Plagas, Enfoque Total del Sistema, Manejo Integrado de la Biodiversidad, entre otros) dieran otra perspectiva al MIP, donde el bajo costo, la rentabilidad, el uso de tácticas terapéuticas y la protección al ambiente eran sus principales estrategias (Barrera, 2007)

Hablando más específicamente de las operaciones del MIP, el muestreo es la medida para conocer los porcentajes de infestación de la broca en un cafetal, haciendo que estos se puedan comparar un ciclo a otro, a fin de saber la reducción (o el aumento) de los niveles de infestación después de realizar las acciones de control. Para utilizar los métodos de muestreo más convenientes, se debe considerar los aspectos de la biología y de hábitos de la plaga, entre los que destacan: muestreo al azar simple, sistemático, al azar estratificado y secuencial. El muestreo debe ser realizado 150 días después de la floración y hasta el momento de la cosecha, en toda (o casi toda) la superficie cafetalera. En base a los resultados, se determinará la superficie a la que se le aplicará control biológico, que son los que presentan niveles de infestación mayores al 5% (Comentado por el personal de la campaña). El trampeo (también conocido como etológico) es un método de control mediante el uso de trampas, su desarrollo se basa en la fenología y biología del insecto, por lo que su eficacia radica en la captura de brocas hembra durante el período en el que no hay frutos susceptibles. Las trampas utilizan una mezcla de alcoholes (etílico y metílico) que funcionan como atrayentes, que cuelgan dentro de una botella de plástico con ventanas (1 o 3 ventanas). La densidad de trampas es de 16 por hectárea, estas deben colocarse en la parte media del follaje del cafeto, en un transecto que puede ser lineal o en forma *zig-zag* separado cada 20 o 30 metros. Las trampas deben ser revisadas semanalmente. El control biológico consiste en la aplicación de hongos entomopatógenos, aplicados con una aspersora, a catetos dañados. Las condiciones de aplicación dependen del porcentaje de infestación registradas en el muestreo (>5% sin aplicación, 5-17% 1 aplicación, < 17% 2 aplicaciones) y se deben realizar entre los 80 y 120 días de la floración. El hongo que más se usa es *Beauveria Bastiana*, por su agresividad con la plaga, pero existe *Spicaria javanica* y *Metarrhizium anisopliae*. Además, se usa la aplicación de enemigos naturales, que son

importados de África (región de origen de la plaga), criados y liberados en las zonas afectadas. Los más usados en el país son *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, *Prorops nasuta* Weterst y *Heterospilus coffeicola* Shtmiedesnecht. El control cultural es considerado como fundamental en la reducción de la broca, por lo que consta de la recolección, tratamiento y destrucción de los frutos sobrantes de la planta y suelo después de terminada la cosecha. Además, se debe regular la sombra (50% de paso de luz), control de maleza para que la recolección sea más fácil, fertilización para evitar menos floraciones y uniformidad varietal que consiste en uso de variedades con floración temprana y tardía. Estas actividades, además de reducir los daños de la plaga, incrementan significativamente el rendimiento y la calidad de la cosecha; y deben ser realizadas por el productor y supervisadas por el personal de la campaña contra broca de café. La capacitación que reciban los productores sobre los métodos de muestreo y control es de suma importancia, ya que los objetivos y metas establecidas en el MIP, son en gran parte desarrolladas por los afectados. Por esto, es importante que los productores sean constantemente capacitados en temas técnico-operativos. Esto se realiza a través de talleres y pláticas que se dan durante todo el año. La divulgación de la campaña se hace por medio de spots de radio, carteles, pintas en bardas, anuncios panorámicos, trípticos y volantes. Cada uno de ellos tiene información referente al reconocimiento de la plaga, a la inscripción del productor a los talleres y a las acciones que se deben realizar. Por otra parte, las supervisiones se realizan con el objetivo de detectar áreas de oportunidad para mejorar las actividades de control, además de detectar algunos malos funcionamientos en la campaña y así poder corregirlos. Por último, la evaluación de la campaña y las operaciones que se llevan a cabo serán realizadas por la Dirección General de Sanidad Vegetal, por la delegación estatal de SAGARPA o por un especialista fitosanitario externo a la campaña. En base a los resultados de la evaluación, se determinara la efectividad de las acciones de control, las necesidades financieras y de operación, entre otras (DPF, 2008).

Sin embargo, el MIP ha funcionado con un enfoque reduccionista y sus métodos solo se centran en el control y reducción de las plagas, sin considerar la eliminación de ellas de forma completa. Por este motivo, y al ser las plagas parte de un sistema complejo, Barrera (2007) incursiono una nueva perspectiva de manejo: Manejo Holístico de Plagas (MHP). Significa que el estudio y el manejo de las plagas no debe limitarse solo a su biología, comportamiento o control, sino a establecer las relaciones causales entre éstas y otros componentes (Barrera, 2007); estudiar un “trozo de la

realidad” con todos sus aspectos físicos, económicos, sociales, biológicos y políticos (García, 1986; Barrera, 2007).

2.3 Análisis espacial y modelado en entomología

Posiblemente, el aspecto más importante involucrado en el proceso lógico de planeación y administración de cualquier actividad basada en recursos naturales es la interpretación, medición e interrelación de una amplia gama de factores integrantes. La mayor parte de la información empleada en la toma de decisiones y planeación está referenciada espacialmente. La necesidad de desarrollar modelos espaciales para la toma de decisiones, ha generado el requerimiento de sistemas que posean la capacidad de manipular extensas bases de datos espaciales y temporales, al mismo tiempo permitir el análisis y modelaje algebraico de éstas (FAO, 1999; Lindsay, S/F, citado en López, 2005).

A lo largo de la historia, con el propósito de eliminar o contrarrestar las pérdidas ocasionadas por las plagas, el ser humano ha desarrollado diversas tecnologías y ha implementado infinidad de programas de control. Dentro de esto, el desarrollo relativamente nuevo, de dos tecnologías de análisis de patrones espaciales, como los son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, ha abierto nuevos caminos en estudios de entomología aplicada. Los SIG han facilitado a entomólogos, ecólogos y demás interesados en la sanidad vegetal, el análisis de aquellos patrones espaciales complejos que presentan una variación temporal. Tal vez, uno de los principales usos de los SIG dentro de la entomología aplicada está vinculado con el estudio de las relaciones entre las explosiones poblacionales de insectos (“outbreaks”) y las variables ambientales (Cigliano, 2003).

Los antecedentes sobre entomología aplicada y utilización de los SIG y la teledetección se pueden clasificar de tres formas: a) Donde sólo hace uso del SIG. En los primeros estudios el uso de SIG está vinculado a determinar las relaciones entre explosiones poblacionales de insectos y las variables ambientales como son el clima, suelo, tipo de cultivo, uso de la tierra, tipo de vegetación (Kemp *et al.*, 1996; Cigliano *et al.*, 1995; Johnson, 1989). b) Dónde sólo se usan las imágenes de satélite. En estos estudios se ha empleado el índice de vegetación normalizado, (NDVI, índice que evalúa diferentes niveles de “verdor” de la vegetación) a partir de la imágenes LANDSAT, NOAA y

MODIS para determinar áreas en las cuales las condiciones son propicias para el desarrollo de la plaga, asociado con la distribución de las precipitaciones (Bryceson, 1989; Voss *et al.*, 1997; Magor *et al.*, 1997; Cressman, 1997). c) Dónde se aplican ambas técnicas (SIG e imágenes de satélite). Aquí se han desarrollado sistemas de alerta fitosanitaria donde se definen aquellas zonas propicias para el establecimiento de la langosta, y donde es utilizada para prevenir posibles ataques de esta plaga, apoyados en la identificación de biotopos (Hielkemay Snijders, 1993; Miranda *et al.*, 1996; Lecoq *et al.*, 1997, Lecoq, 2000; Hunter & Deveson, 2002, Hunter, 2004). Sin embargo, son muy pocos los estudios realizados con visión espacial integral u holística, es la correlación tanto de variables ecológicas, entomológicas y socioeconómicas. Tampoco se correlaciona los brotes de la plagas con el grado de impacto que ha sufrido ese espacio (Galindo *et al.*, 2008).

Dentro de muchas áreas de la ciencia se ha tratado de definir a los SIG de acuerdo a las aplicaciones que se le den. Existen términos globales en donde definen al SIG como un sistema de bases de datos en el cual la mayoría de los datos están referidos espacialmente, y operados por un conjunto de procedimientos para contestar preguntas sobre entidades espaciales de la base de datos (Smith, 1987; Burrough, 1986). También existen definiciones más funcionales: conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, intercambiar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar y mostrar datos espacialmente referenciados. Para este estudio, enfocándolo a cuestiones entomológicas, el término de SIG es el que permiten integran bases de datos de las más diversas clases y fuentes, modelos de análisis de datos biofísicos, socioeconómicos, estadísticos, espaciales y temporales, sistemas de apoyo a la decisión, equipos y programas informáticos y los recursos humanos en el marco institucional donde opere el sistema. Una de las utilidades más importantes del SIG es su capacidad para elaborar modelos del mundo real a partir de las bases de datos digitales y utilizarlos para simular el efecto de un proceso específico en el tiempo para un determinado escenario. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que influyen en ellas, o para exponer las posibles consecuencias de las decisiones o proyectos de planificación que repercuten en la utilización y ordenación de los recursos (FAO, 1999).

Por otro lado, los modelos generados en un SIG deben de establecer un conjunto de relaciones que se utilizan para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad

empírica. Dicho de otra forma, es la representación simplificada de una realidad. Para que los modelos puedan decir algo del objeto que representan, es necesario construir una relación simétrica entre las realidades, es decir, la relación de correspondencia entre el objeto real y el modelo deben ser al menos parcialmente reversibles y permitir la traducción de algunas propiedades del modelo a la realidad (Felcimo, 2005). La mayoría de los modelos son estáticos, en donde las propiedades representadas permanecen con valores inmutables. Por ello, el uso de los modelos dinámicos o de simulación hacen acceder a la capacidad de experimentar independientemente del sistema real, permitiendo la independencia temporal y repetir el experimento el número de veces arbitrario (López, 2005).

Para determinar la presencia y distribución de las plagas se puede utilizar modelos multivariados, que son operaciones que nos permiten representar sistemas (abiertos o cerrados) y donde se pueden observar las relaciones más o menos intensas y determinantes con un entorno en el cual es a veces difícil distinguirlos (abstraerlos, separarlos). Sin embargo, sabemos que esos modelos son complejos por la gran cantidad de variables que se pueden utilizar y por supuesto esto dificulta tomar decisiones adecuadas para el control, la predicción o comportamiento de los fenómenos naturales (Galindo, 2007). Para ellos, el uso de los Sistemas de Información Geográfica ayuda a precisar la ubicación de los procesos y fenómenos geográficos, asimismo nos permiten observar interacciones entre estos procesos que modelan y dan un significado al espacio geográfico.

Al usar sistemas de información geográfica y la teledetección en los procesos de modelación, se debe enfocar el análisis de una forma espacialmente. El análisis espacial según Oliver Dollfus es fundamental para entender los procesos existentes dentro de una zona en particular, debido a cada elemento que la conforma es localizable y diferenciado, donde lo importante es su situación en relación a un conjunto, en el cual se inscribe y las relaciones que tiene con los diversos medios de los que forman parte (Santos, 2000). El análisis espacial es principal objeto de estudio de la geografía, es la plataforma de la que se parte para analizar todas las relaciones que se presentan en la superficie terrestre y está conformado por múltiples manifestaciones que es su propia espacialidad y temporalidad nos llevan a una totalidad en una proporción similar de la realidad.

El análisis espacial está conformado por cuatro premisas: Localización, que se refiere al ¿Dónde?; Causalidad, que hace referencia al ¿Por qué?; Temporalidad, refiriéndose al ¿Cuándo?; y Conectividad, al ¿Con quién más? Estos cuatro elementos están relacionados directamente entre ellos. Más técnicamente, la localización funciona por medio de las coordenadas geográficas, que son representados a través de líneas imaginarias (latitud, Longitud), puede presentar diferentes tipos de proyecciones de acuerdo a la ubicación del fenómeno y presenta escala, elementos que caracterizan el conocimiento cuantitativo real del fenómeno. La causalidad da conocimiento de las causas y características del fenómeno de un espacio determinado, dando así la razón por la que sucede. La conectividad determina las características principales del fenómeno y muestra su comportamiento en el lugar y en otros posibles escenarios parecidos, para con esto predecir escenarios futuros. La temporalidad es fundamental dentro del análisis geográfico, ya que implica la creación de escenarios y su constante renovación o transformación, dando así paso a la comparación entre fenómenos de un mismo espacio.

Incorporando el análisis espacial dentro de los sistemas de información geográfica, se puede hablar de diferentes fases en el proceso de análisis. Cuando se habla de inventarios¹ en donde queda inmerso parte de la localización, temporalidad y condición del fenómeno en estudio se hace un uso intensivo dentro de los SIG; cuando se habla de análisis¹, donde se incorpora la causalidad del fenómeno, se crea tendencia y se modela, se hace un uso medianamente del SIG, ya que empieza a incluir criterios y experiencia de(l) (los) analizador(es); y cuando se llega a la gestión¹ la aplicación del SIG es mínima, ya que aquí solo se muestran resultados y se toman decisiones en los niveles más altos de la gestión.

También dentro del análisis espacial en el SIG se puede hablar de una complejidad analítica, donde el nivel más bajo se realizan operaciones como la consulta y depurado de datos y se ordenan la información, especificando que no se genera nueva información; en un nivel de complejidad media las funciones van orientadas a la sobreposición de las diferentes capas de información que se hayan obtenido del primer nivel, se busca conectividad entre ellas y así llegar a una posible causalidad del fenómeno en estudio, en este nivel se puede llegar a generar nueva información; por último, en una complejidad alta del análisis, se llega a comprender los procesos causales, se generan modelos espaciales y de simulación que pueden llegar a dar alternativas y los nuevos datos generados dan

paso al conocimiento de condiciones en espacio y tiempo de otros sitios parecidos (Galindo *et al*, 2008).

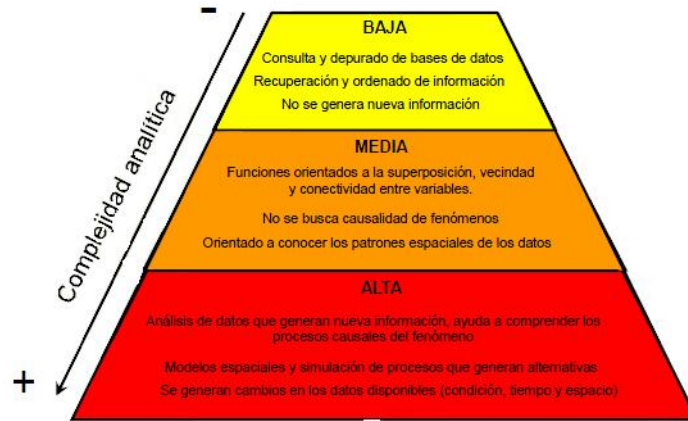


Figura 2.1 Niveles de análisis espacial en SIG

El proceso del análisis de la información geográfica en un SIG, es una interacción entre las preguntas planteadas en el proyecto de trabajo, las respuestas obtenidas y las funciones del sistema utilizado.

2.4 Vigilancia y alertas fitosanitarias

El trabajo realizado en el control de las plagas agrícolas en México, a lo largo de más de 100 años, se ha transformado y adecuado a los tiempos y exigencias de cada etapa de la vida nacional. Las políticas para la protección fitosanitaria en el país tienen origen en 1900. En 1927 recibió el nombre de Oficina Federal para la Defensa Agrícola, la cual en ese año formuló la Ley Federal de Plagas, el Reglamento de Policía Sanitaria Agrícola y diversas cuarentenas que constituyeron los ordenamientos jurídicos de las actividades fitosanitarias de aquella época. Posteriormente, se transformó en Departamento de Defensa Agrícola adscrito a la Dirección General de Agricultura. En 1949, dadas las necesidades de una mayor asistencia fitosanitaria al campo y el crecimiento de la institución, por acuerdo presidencial se transformó en Dirección General de Defensa Agrícola. En 1964 cambió su denominación a la Dirección General de Sanidad Vegetal, dentro de la estructura de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos no había presentado cambios en su organización hasta que en 1984, la administración de ese entonces inició la tarea de reorganizar a la Secretaría en

su conjunto, a fin de lograr que su estructura respondiera a las demandas que implicaba el desarrollo rural integral. Dentro del Programa de Desarrollo Rural Integral juega un papel importante el control y erradicación de plagas, enfermedades y malezas, cuyos daños representan un porcentaje significativo de la cosecha potencial, es por esto, que en ese mismo año se efectuó una revisión profunda de la estructura de la Dirección General de Sanidad Vegetal planteándose la necesidad de contar con una organización acorde a las demandas fitosanitarias que reclamaba el agro mexicano y congruente con el funcionamiento global de la Secretaría, por ello, en marzo de 1985 se formalizó su estructura. Hasta el año de 1992, las tareas encargadas en combinar los esfuerzos a nivel internacional para combatir la introducción de plagas y enfermedades entre los países, eran desempeñadas por las Direcciones Generales de Sanidad Vegetal, Salud Animal y Protección Forestal, mismas que a fines de ese año, debido a los lineamientos de modernización administrativa establecidos por el Ejecutivo Federal, se transfieren en cuanto a estructura, funciones y recursos dando origen a la Coordinación del Servicio de Cuarentena Vegetal y Animal, misma que en julio de 1993 reordena su estructura ocupacional quedando integrada como Coordinación Ejecutiva de Inspección Fitozoosanitaria Internacional en Puertos, Aeropuertos y Fronteras. En septiembre de 1995, se crea la Dirección General de Inspección Fitozoosanitaria en Puertos, Aeropuertos y Fronteras, en donde se refuerzan los métodos de control para evitar la posible internación de productos y subproductos de origen animal, vegetal y forestal que constituyan un riesgo fitozoosanitario al sector agropecuario del país, en el marco de la apertura comercial. El 10 de julio de 2001 se publica el Reglamento Interior de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) por lo que la Comisión Nacional de Sanidad Agropecuaria cambia de denominación a Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) adquiriendo nuevas atribuciones y conservando la misma estructura (SENASICA, 2003).

Hoy en día, SENASICA es el órgano orientado a realizar acciones de orden sanitario para proteger los recursos agrícolas, acuícolas, y pecuarios de plagas y enfermedades de importancia cuarentenaria y económica, así como regular y promover la aplicación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación de los alimentos y la calidad agroalimentaria de éstos, para facilitar el comercio nacional e internacional de bienes de origen vegetal y animal. (SENASICA, 2008). En 1994 se crea la Ley Federal de Sanidad Vegetal, este ordenamiento representa el fundamento para la

ejecución de las facultades del SENASICA en materia de sanidad vegetal, dirigida a promover y vigilar la observancia de las disposiciones fitosanitarias; diagnosticar y prevenir la diseminación de las plagas que afectan a los vegetales, sus productos o subproductos; establecer medidas fitosanitarias; y regular la efectividad biológica, aplicación, uso y manejo de insumos, así como el desarrollo y prestación de actividades y servicios fitosanitarios. Estas disposiciones son aplicadas a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal que tiene como principal objetivo “determinar y dirigir con calidad las políticas en materia de prevención, control y erradicación de plagas que afectan a la agricultura, en un esquema productivo de cadena agroalimentaria y el uso apropiado y sostenible de los recursos naturales, mediante la elaboración e implantación de programas y medidas fitosanitarias y la constatación, supervisión y evaluación de la condición fitosanitaria de los productos agrícolas procurando su transformación y la generación de valor agregado a fin de hacerlos más competitivos en el mercado nacional e internacional”(SENASICA, 2009).

La Dirección General de Sanidad Vegetal trabaja por medio de campañas fitosanitarias, las cuales se establecen en cada entidad federativa, de acuerdo a las prioridades de cada plaga y del sistema-producto al que ataquen. Actualmente, existen 16 campañas que trabajan en la mayor parte del país. Uno de ellas es la campaña contra Broca de café, que trabaja en 11 de los 12 estados cafetaleros del país. Los objetivos de esta y todas las demás campañas se enfocan en instrumentar métodos para conservar y/o mejorar los estatus fitosanitarios de tal forma que se logre un apoyo a la competitividad de la agricultura nacional.

Una de las partes más importantes que implementan las campañas fitosanitarias son la elaboración de los muestreos, operaciones que indican el estatus de la plaga y su área de distribución, con lo cual se puede generar diagnósticos y concluir si los métodos que se aplican dan resultados positivos. Galindo *et al* (2008) menciona la importancia de los muestreos y explica que en todo análisis espacial el área de distribución y más precisamente el área de distribución específica en donde el espacio geográfico no sólo es el soporte físico de la biosfera, sino en donde la especie está presente e interactúa de forma directa con el ambiente. Si la especie es lo que confiere realidad al “área de distribución”, al espacio que ocupa (en virtud de las interacciones que entre ambas entidades se establecen, como partes de un sistema integrado), entonces el área de distribución y su ocupante comparten un destino común. El área de distribución, al igual que la especie, tiene propiedades

ontológicas: nace (con el nacimiento del ocupante), se modifica a través del tiempo y si desaparecen algunas de las variables o categorías del espacio o bien evoluciona la especie o esta queda latente o en casos extremos desaparece. Por esto resulta fundamental delimitar el área de distribución y de emplazamiento para poder hacer la correlación con el resto de las variables espaciales que propician no sólo su presencia, sino el desarrollo de cada etapa fenológica.

Las políticas referentes a la sanidad vegetal están sufriendo modificaciones, donde se están enfocando los esfuerzos, en cuanto a medidas fitosanitarias, a que las actividades pasen de ser proactivas a preactivas. Por ese motivo, se ha incorporado el concepto de vigilancia epidemiológica fitosanitaria, que tiene como finalidad establecer un conjunto de actividades técnicas, que permiten reunir y analizar información relacionada con la distribución y el comportamiento de las plagas reguladas, así como identificar, evaluar o predecir cambios en su comportamiento y recomendar las estrategias para su prevención, control y erradicación. Esta vigilancia servirá para determinar la incidencia, severidad, prevalencia, dinámica poblacional y distribución geográfica; así como los indicadores y parámetros que fundamenten la priorización de programas fitosanitarios para prevenir y controlar daños al patrimonio agrícola del país, por medio de la notificación y reporte sobre la sospecha o confirmación de brotes a través de la búsqueda activa de esta información mediante muestreos dirigidos a poblaciones agrícolas susceptibles o en riesgo (González, 2008).

Con todo esto, SENASICA basado en leyes y artículos internacionales (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria) y nacionales (Reglamento interno de SAGARPA y Ley Federal de Sanidad Vegetal) creó el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF), que tiene como funciones: Recopilar información para definir el inventario nacional de plagas reglamentadas y su epidemiología; Identificar problemas fitosanitarios para priorizar programas, necesidades de investigación y transferencia de tecnología; Documentar, detectar y alertar en forma oportuna los brotes de plagas reglamentadas; Detectar rutas migratorias y/o establecer la regionalización epidemiológica de dispersión de plagas y requerimientos bioclimáticos; Simular con criterios espaciales y temporales escenarios de riesgo fitosanitario para la toma de decisiones en materia fitosanitaria; Elaborar mapas descriptivos que permitan visualizar la ubicación espacial de focos de infestación; e Implementar una plataforma informática para el manejo coordinado de plagas reglamentadas y su epidemiología.

Uno de los insumos que SINAVEF trabaja actualmente para la vigilancia epidemiológica es a través de mapas de riesgo fitosanitario y boletines de alerta, donde sus principales insumos para el diagnóstico y la predicción son el uso de sistemas de información geográfica e imágenes de satélite. Por ejemplo, los mapas de riesgos epidemiológicos elaborados tienen como objetivo ubicar sitios potenciales para la presencia de plagas reglamentadas y reconocer la intensidad probabilística de daño, con el fin de establecer medidas fitosanitarias preventivas. Además, ubicar las zonas agrícolas de los principales sistemas productivos en riesgo, definir los hospederos potenciales, reconocer las condiciones físicas-climáticas óptimas en donde las plagas se reproducen y habitan, identificar las zonas que cumplan condiciones de confort térmico para cada plaga y localizar las principales zonas dañadas por la posible afectación de la plaga y cuantificar el daño (económico-ambiental). La metodología usada para la elaboración de estos mapas es a través del uso de tres grupos de variables: hospederos, condiciones ambientales óptimas y modelos biológicos (figura 1.5). La variable de hospederos se diseña para obtener la densidad relativa de cultivos hospedantes susceptibles a las plagas que potencialmente se pueden establecer en ellos. Son creados a partir de bases de datos del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). La información es exclusiva para cultivos agrícolas, que señala superficie sembrada y cosechada, rendimientos, productividad; la cual es reportada para cada municipio del país. Para conocer los hospederos de las plagas se usan fuentes como el Inventario Nacional de Plagas del SINAVEF, el Crop Protection Compendium y literatura científica. Los hospederos primarios y secundarios se integran dentro de una base de datos las cuales se incorporadas dentro de un SIG. Por su parte, los modelos biológicos con los que trabajan están basados en información climática, donde se generan los mapas de grados días de desarrollo (GDD) y el mapa de condiciones de índice normalizado de vegetación (NDVI). El mapa de GDD, representa el confort térmico idóneo para que la plaga crezca y sobreviva. El potencial para que se reproduzca la plaga está determinado por los grados días o por el número de días favorables para la infección (de huevo a adulto). Además incluyen el dato de temperatura base (TB) inferior y superior umbral. Los datos de TB y GDD se obtuvieron de literatura científica y del Insect Development Database (NAPFAST, 2007). Del ERIC III se extraen base de datos de temperaturas máximas y mínimas de todas las estaciones del país que hayan tenido registro por más de 30 años. Se promedian estas dos para sacar la temperatura media por día de cada estación. En un SIG se programan a través de fórmulas los datos para obtener los grados días mensuales y acumulados por estación,

posteriormente se interpolan para su representación. Dependiendo de los GDD que registra cada plaga se diseño un dominio que representa el número de generaciones que se formarían en un año.

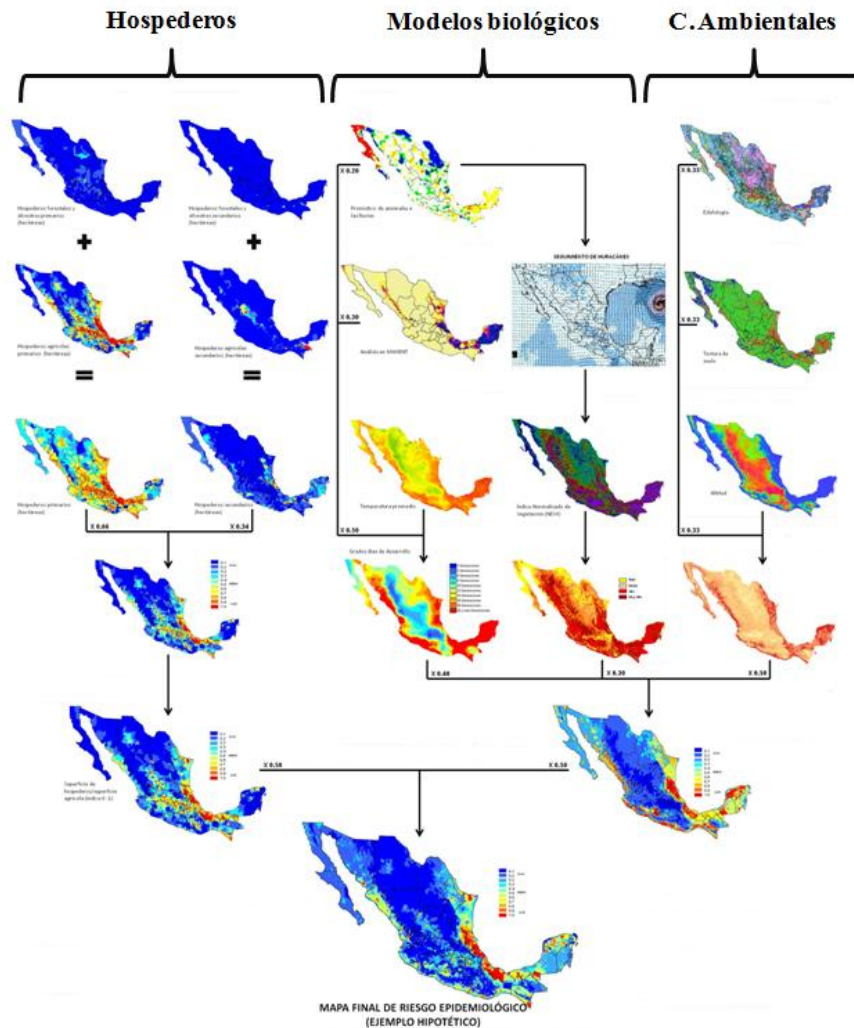


Figura 2.2 Estructura de elaboración de mapas de riesgo (SINAVEF, 2010)

El mapa de condiciones ambientales óptimas lo obtienen de reportes epidemiológicos, fichas técnicas y de literatura en general, precisando con los datos de muestreo de cada plaga. Una vez que se reconocen las variables (ambientales) que influyen en la localización de una plaga se recopila cartografía temática de diferentes fuentes (INEGI, CONABIO, etc.). Con métodos de decisión multicriterio aplicados en SIG, se extraen cada una de las variables, dándoles rangos de decisión, a partir de eso se genera un índice que muestra el nivel de influencia de cada mapa temático. Por último, y para obtener el mapa de riesgos fitosanitarios, son combinados los mapas de hospederos

potenciales, el de las condiciones ambientales óptimas y el modelo biológico a través de sobreposición y análisis multicriterio (SINAVEF, 2010).

Uno de los primeros ejercicios de vigilancia fitosanitaria proviene de Estados Unidos, quien generó los primeros mapas de riesgos a plagas, publicados por la Cooperative Agricultural Pest Survey Program (CAP's), difundidos a partir del programa NAPFAST y elaborados dentro de un proyecto de investigadores de la Universidad de Carolina del Norte (USA), APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) y la compañía de informática y tecnología ZedX, inc. El funcionamiento de este proyecto es través de mapas de hospederos de plagas y modelos biológico, generando a través de estos dos el mapa de riesgos. La base teórica-metodológica con la que trabajan es parecida a la de SINAVEF, solo que en esta última se incorporan más herramientas al análisis espacial. También, en la Unión Americana se desarrollo un programa que diera seguimiento en “tiempo real” algunas de las plagas y enfermedades que atacan a este país. El programa fue diseñado a partir de que en 2004 E.U. fue atacado fuertemente por la roya de la soya, generando pérdidas millonarias a productores de la región. A partir de eso, científicos del área fitosanitaria crearon el PIPE (Plataforma Integrada de la Información de Plagas para la Extensión y Educación). Dicha plataforma trabaja a partir del ingreso de datos que realizan científicos y productores, y a partir de modelos biológicos y climáticos, se generan mapas con los sitios que pudieran tener problemas de plagas (Cardwell, 2009).

Internacionalmente se han elaborado programas y proyectos que tratan de predecir la presencia de plagas, un ejemplo es el diseñado por la FAO, que trata de dar seguimiento de la plaga de Langosta del desierto en la región del norte de África y Sur de Europa. Este proyecto denominado “Locust watch” monitorea casi el 20% de la superficie terrestre, generando diagnósticos e informes sobre la posible migración de la Langosta. En el continente Americano, Argentina tiene su SINAVIMO (Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas) y trabaja a partir de modelos predictivos en 10 plagas que ponen en riesgo la calidad de sus productos agrícolas.

Específicamente, en México también existe otras dependencias que trabajan con la vigilancia fitosanitaria, este es el Sistema de Alerta Fitosanitaria del Guanajuato (SIAFEG) que tiene sus inicios en 2003 y se establece como un instrumento para evaluar el impacto de las principales plagas

y enfermedades de los cultivos de ese estado, prediciendo el comportamiento de las plagas y generando recomendaciones para el manejo de esos organismos y buscando una complementariedad de los esfuerzos de las instituciones que trabajan en el proyecto. Las razones principales por las que se decidió emprender ese proyecto se basaron en la falta de herramientas metodológicas que permitieran dimensionar adecuadamente los principales problemas fitosanitarios desde un punto de vista económico, ecológico y social, y evaluar el impacto de las acciones que actualmente se desarrollan en el área. También se habla de la necesidad de optimizar los recursos materiales, humanos e informáticos, además de dar la oportunidad de aplicar conocimientos y tecnologías de vanguardia, como son los modelos de simulación, que permiten utilizar información agroclimática disponible y predecir el comportamiento de los organismos dañinos para aplicar medidas de prevención y control (SIAFEG, 2004).

SIAFEG trabaja a partir de la integración de información como conjunto de bases de datos cartográficas, climáticas edafológicas, de cultivos y de enemigos biológicos; genera modelos dinámicos de crecimiento vegetal de varios cultivos y del comportamiento de diversos enemigos biológicos; además de crear esquemas de monitoreo permanente de los componentes clima, enemigo biológico y cultivo, mediante la aplicación de modelos de predicción y la toma de datos en campo. Los modelos que genera este sistema están enfocados en prevenir al gusano de raíz del maíz (*Diabrotica virgifera zea* K. y S.), Gallina ciega (*Phyllophaga ravidata*), Chapulín (*Sphenarium purpurascens* y *Melanoplus differentialis*) y roya del frijol (SIAFEG, 2004).

A menudo, durante las investigaciones para ubicar las zonas de riesgo de introducción y establecimiento de una plaga, es más preciso observar en la región donde surge el problema de infección o las fuentes donde predomina el parásito, que en las zonas que pueden ser afectadas. En muchos de los casos, las decisiones de las dependencias encargadas de la sanidad vegetal se enfocan más en aplicar medidas donde hacen uso de pesticidas y trabajan con poca información sobre donde está localizada la densidad más grande del parásito, y en muchos casos no considera los factores implicados en su movimiento (Cardwell, 2009).

2.5 Propuesta metodológica para la alerta fitosanitaria

La metodología a continuación descrita tiene como propósito formar parte de un nuevo método de vigilancia fitosanitaria, particularmente de la Broca de café, donde se incorpore el análisis espacial y temporal de la plaga, para así entender su comportamiento y propagación, dando más elementos para el control y erradicación de la misma.

Hasta ahora se ha documentado que la propagación e infestación de la broca de café está relacionado con condiciones externas (aspectos físicos-ambientales, sociales y económicos) e internas (fenología del insecto). Estas condiciones, que pueden ser variables cualitativas o cuantitativas, deben ser ordenadas e integradas de forma conjunta, estableciendo niveles de significancia a cada variable, para así llegar a un análisis más preciso sobre el comportamiento espacial de la plaga. Bajo este contexto, la metodología se dividió en diferentes etapas operativas, donde bases de datos fueron la principal fuente para el análisis espacial, siendo este reforzado por análisis estadísticos.

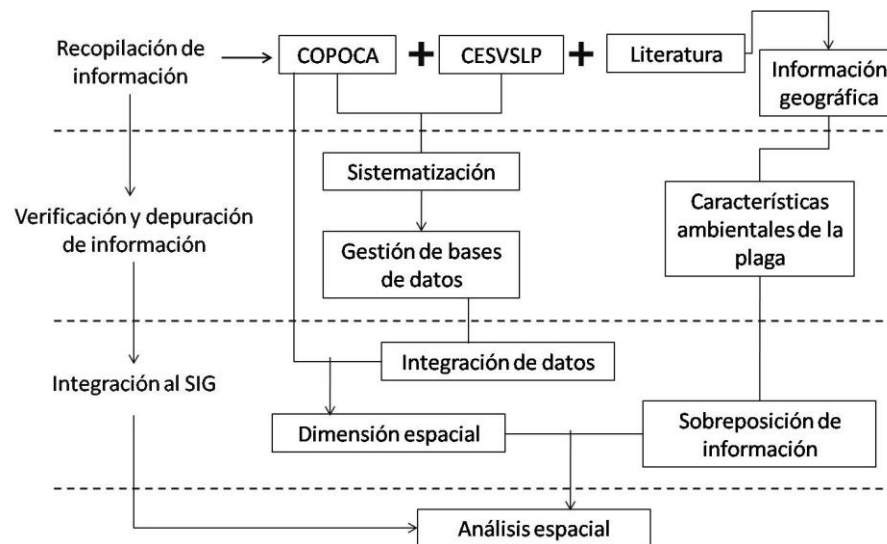


Figura 2.3. Metodología

2.5.1 Recopilación de la información

La información recabada para este proyecto provino de tres fuentes importantes. La primera provino del Consejo Potosino del Café (COPOCA), que administra el Padrón Estatal de Productores de Café del estado, dicho padrón es una base de datos que tiene la característica de tener todos (o casi todos)

los predios referenciados del Estado. Además, cuenta con información como la localidad en la que se encuentra, nombre del productor, superficie declarada y medida, altitud del predio, entre otros. Estos datos se encuentran concentrados en archivos digitales lo que hace que puedan ser visualizados en un sistema de información geográfica. En total, la base de datos, contiene 50 variables relacionadas con la producción del café. Del Comité Estatal de Sanidad Vegetal, específicamente de la Campaña Contra Broca de Café, se obtuvo dos fuentes de información: reportes técnicos mensuales y anuales y la base de datos de muestreo y exploración de la plaga. La primera, contiene datos alfanuméricos, donde solo se extrajo información cuantitativa como niveles de infestación, ubicación, inversión realizada para cada sitio, tipo de control de la plaga y áreas afectadas. Estos datos se reportan para los años de 2000 a 2003 y su escala se reporta solo a nivel de localidad. La segunda fuente de información son las exploraciones y muestreos que ha implantado la campaña, con fechas que datan del 2004 al 2008. La importancia de estos datos es que ubican el porcentaje de infestación y las áreas afectadas a nivel de parcela. Además, cuenta con información como el tipo de control realizado y la superficie aplicada, el nombre del productor, el tipo de capacitación recibida, la fecha de muestreo, el número de predios, entre otros. El total de variables que contiene la base de datos es de 39. Por último, de diferentes instituciones gubernamentales y académicas se obtuvo curvas de nivel, infraestructura vial, cuerpos y corrientes de agua, datos y límites municipales, toponimia y datos socioeconómicos de INEGI, todos a escala 1:50,000 y de fechas actualizadas (2002 y 2005); edafología, geología, uso de suelo y vegetación, humedad, datos por localidad, fisiografía e índice de marginación, información a escala 1:250,000 y 1:50,000 de CTREIG; cartas climáticas, temperatura, precipitación e índice de sequía del Instituto de Geografía y datos de temperatura, humedad y precipitación del Servicio Meteorológico Nacional; y datos de producción de café por municipio, precios diarios y mensuales, exportaciones y producción cosechada y sembrada de SEDARH y SIAP. También se recopiló información sobre la fenología y comportamiento a través de una revisión bibliográfica precisa sobre la fenología del insecto, etapas y condiciones de reproducción, condiciones físico-climáticas para su propagación, clasificación taxonómica, origen y hospederos; afectaciones reportadas, a nivel internacional, nacional y local, reportes históricos, etc.; y métodos de control, como campañas contra la plaga, eficiencia, tipos de control, etc. Esto se hizo con el fin de seleccionar las variables de las fuentes de información antes mencionadas, es decir si la literatura reporta que la broca de café se desarrolla más rápidamente en

sitios con temperaturas mayores a 28°, se localizará en la cartografía los sitios que tengan esa temperatura y se le considerará como una zona potencial para la aparición de la plaga.

2.5.2 Sistematización, verificación y depuración de datos

La mayor parte de la información estaba sistematizada (principalmente en hojas de cálculo), pero se encontraba en forma desorganizada, por lo que el primero paso fue ordenarla de acuerdo a la fuente que se obtuvo, agrupándolas en nuevas hojas de cálculo y separándolas por años (2000-2008). De la base COPOCA se extrajo todas las variables dejando solo un identificador (ID) para recocer el predio del cual fue extraída esa información. Los datos fueron exportados a una hoja de cálculo donde se realizó una exhaustiva revisión de formato, donde abreviaciones, letras en mayúsculas o espaciados entre nombres y datos de superficies exageradas eran verificadas y corregidas. Para dar un uso adecuado a los datos, según los objetivos del trabajo, las variables se redujeron de 50 que reportaba el padrón cafetalero original a solo 10, de las que sobresalen el nombre del productor, la superficie medida y declarada, sus coordenadas proyectadas y la clave de la parcela.

De los reportes técnicos mensuales se extrajo solo datos referentes a los niveles de infestación, su ubicación y las acciones de combate que se aplicaron. Toda la información, por ser analógica¹, era capturada en hojas de cálculo separándolos por el mes de los datos. Una vez terminada la revisión y captura se agruparon por años (en algunos casos los datos fueron sumados y promediados cuando la ubicación se repetía en varios meses) y se verificaron con los reportes anuales. Cuando se presentaban desfases entre los reportes, se optaba por trabajar con los generados de los informes mensuales, ya que estos contenían información más precisa de la ubicación y fecha de toma de dato. La información obtenida presentaba ubicación por nombre de localidad, pero no reportaba coordenadas geográficas, ya que la campaña no había incorporado a sus muestreos datos de GPS (hasta 2004 se incorporo el uso de la herramienta). Por esta razón se busco darle dimensión espacial a los datos a través de cartas topográficas INEGI escala 1:50,000. El procedimiento consistió en encontrar un punto de referencia (localidad, nombre del ejido o municipio, etc.) en el mapa, una vez localizada se leían las coordenadas y se capturaba en la base de datos. Para los datos de exploración y muestreo de la campaña, la información se encontraba sistematizada en hojas de cálculos. La característica de esta base es que registra las coordenadas del predio donde se realizó la exploración

y específica su porcentaje de infestación. Este formato empieza a aplicarse a partir del 2004 a la fecha. Al igual que los datos del COPOCA, la información de estos muestreos y exploraciones fue revisada y verificada con los informes técnicos anuales, además de corregir errores gramáticos, abreviaturas, dobles espacios y datos métricos exagerados. Las bases de datos originales reportan 39 variables, de las cuales se seleccionaron 27 para este estudio, de las que sobresalen tipo de control aplicado, hectáreas muestreadas, porcentaje de infestación, nombre de productor y localidad donde se encuentra.

Respecto a la información cartográfica, se seleccionaron variables que la literatura reportaba como importantes para la reproducción y propagación de la plaga. La cartografía al provenir de varias fuentes presentaban diferentes escalas de despliegue, para la información con escala 1:50,000 se realizó uniones de datos vectoriales hasta cubrir por completo la zona de estudio. Para este caso se trabajó con 8 cartas (F14D31, F14D32, F14C39, F14C29, F14D21, F14D11, F14C19 y F14B89). La unión de cartas se realizó en el programa ILWIS 3.3 a partir de la herramienta “glue segment map” y el procedimiento se realizó según el manual de referencia (ITC, 1997). Para la información con escala 1:250,000 se realizaron cortes a solo el área de estudio, ya que este tipo de cartografía cubre en un solo mapa la totalidad del estado. El procedimiento se hizo en el programa ArcGIS 9.2, donde el mapa de predios referenciados de COPOCA era sobrepuesto a cada mapa temático. El procedimiento de extracción de capas viene definido en el manual de referencia ArcGIS 9.2 y la herramienta usada es “clip” (ESRI, 2004). Además, con la información cartográfica recopilada se generó nuevos mapas, esto a partir del uso de algoritmos integrados en los SIG. Tal es el caso de la generación del Modelo Digital de Terreno (MDT) que se crea con la interpolación de las curvas de nivel, o el mapa de pendientes que se hace a partir de una ecuación entre distancia y altura. Los procedimientos más específicos se encuentran en el manual de referencia de ILWIS 3.3.

2.5.3 Integración al SIG

Una vez hecho la gestión de los datos, la información de la campaña contra broca de café y del COPOCA fueron integradas en una sola base. Para realizar dicha operación se tuvo que seleccionar una variable que estuviera presente en ambas bases, para ese caso fue el nombre del productor. Una característica relevante para la unión de las base de datos es que los nombres deben ser exactamente

iguales en las dos fuentes, por lo que fue importante depurar y corregir con anticipación ese elemento. El procedimiento técnico consistió en exportar las hojas de cálculo a formato Access[®], una vez desplegadas ambas bases en el programa, se estableció con la herramienta “relaciones” un vínculo, especificando solamente las columna usadas para la unión (nombre de productor). Hecho esto, los datos fueron revisados uno por uno para no tener desfase entre la información y en caso de haberlos, corregir desde la fuente original y volver hacer el procedimiento antes descrito. Por último, el programa generó una sola base de datos, mostrando el número total de relaciones entre ambas fuentes, el cual fue exportado como archivo Dbase (.dbf) para que pueda ser leído en cualquier SIG. En la base de datos final se reportó 38 variables para el análisis.

Para asociar la base de datos final al mapa de predios del COPOCA, el archivo Dbase (.dbf) fue añadido al programa ArcGIS 9.2, donde con la herramienta “join” se unió con la variable ID (identificador), el cual fue dado antes de exportar los datos para su depuración, y así dar la dimensión espacial a los datos trabajados. De esta forma, se obtuvo el mapa de predios cafetaleros con el nivel de infestación provocado por la broca de café y si recibe algún tratamiento para controlarla. Este procedimiento se hizo para cada año, a partir de 2000 hasta 2007.

Para fortalecer el análisis del comportamiento ambiental de la plaga, el mapa de predios fue sobrepuesto con los mapas de temáticas diferentes (altitud, pendiente, temperatura, etc.). Este procedimiento fue hecho en el sistema de información geográfica ArcGIS 9.2 con la herramienta “intersect”, donde toda la cartografía sobrepuesta tenía que tener la misma proyección cartográfica. De esta forma, el análisis espacial se realizaría asociando los niveles de infestación con las condiciones ambientales, el tipo de control aplicado, las capacitaciones realizadas y demás variables integradas en la base de datos final. En total, se tuvo 49 variables para 9792 datos.

2.5.4 Análisis espacial

La variable central para realizar el análisis fue el porcentaje de infestación, que según la campaña contra broca de café es el nivel de afectación en un área determinada. El porcentaje de infestación va estar estrechamente relacionado con las condiciones ambientales que se reportan en la literatura y que deben ser parecidas a las generadas de la sobreposición entre las capas temáticas y los sitios que

reportan presencia de la plaga. Estas condiciones ambientales, son específicamente datos de climatología, ya que estos cambian constantemente y tienen relación directa con el comportamiento fenológico y de desarrollo de esta y todas las plagas. Por este motivo se analizará las relaciones entre las condiciones climáticas y los niveles de infestación. Por otro lado, se analizarán que efecto tienen los métodos de control y capacitación contra la broca de café y si estos repercuten en los niveles de infestación y con la propagación del insecto por la zona. Además, se analizará algunas políticas, tanto fitosanitarias y de comercio, y si estas tienen alguna relación con la infestación. Todo este análisis será manejado dentro de un contexto de temporalidad y se tratará de encontrar variables que influyan directamente con el problema de infestación (figura 3.2).

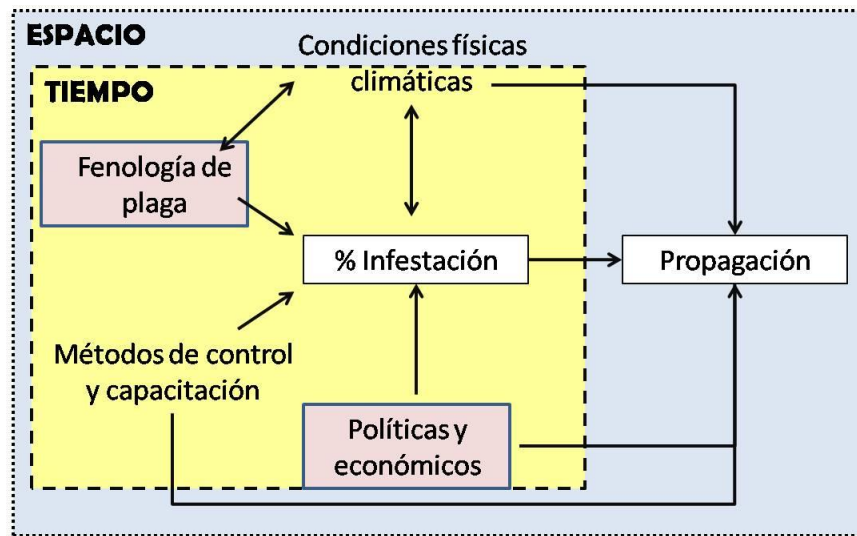


Figura 2.4 Esquema de análisis espacial

Por último, relacionando este análisis de infestación por años, se tratará de encontrar su relación con la propagación del insecto en el espacio, si presenta alguna estrecha relación con los sitios donde se reporta la plaga, es decir si el relieve, las pendientes, la orientación de la ladera y demás características físicas, influyen en dicha propagación. Además, se analizará como la aplicación o no de los métodos de control han reducido o aumentado la propagación de la plaga y si también las políticas influyen directa o indirectamente con el fenómeno. De esta manera se podrá establecer relaciones en tiempo y espacio de los dos fenómenos de interés en el proyecto: infestación y propagación de la broca de café.

El análisis espacial se maneja dentro de los SIG ArcGIS 9.2 e ILWIS 3.3., de la sobreposición y relación que se establezca entre variables, generará nueva información, la cual se reportará en gráficas, tablas, visualización, etc. Se realizarán ponderaciones de los datos para representar el análisis, estableciendo rangos de muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo nivel de infestación. Estos métodos técnicos son para la mejor interpretación y análisis espacial de los datos. En el caso de no existir una relación completamente directa entre las variables y los datos reportados en la literatura, se tomarán los datos trabajados en el SIG, ya que las condiciones en las que se presentó la plaga, están específicas en el nivel de infestación registrada por la campaña contra la broca de café.

2.5.5 Análisis estadístico

La información de COPOCA y del CESVSLPP que fue integrada, depurada y ordenada en una base de datos, y que sirvió para el análisis espacial, se le aplicará un análisis estadístico para generar un modelo de regresión lineal múltiple. Para eso la base de datos fue exportada al programa estadístico SAS[®]. Se realizó análisis de componentes principales, donde el número de variables tuvo que ser reducido a solo las más representativas. Para el caso de los datos homogéneos y con medias parecidas, el análisis de componentes fue partir de una matriz de covarianza, con datos heterogéneos y variables aleatorias diferentes se aplicó una matriz de correlación. Para las variables cuantitativas, las bases de datos se procesaron en un concentrado de información, en donde se agruparon todas las variables reconocidas con el análisis de componentes principales.

La base de datos tendrán un identificador (ID) para reconocer el punto, nivel de infestación, coordenadas (obtenidas de cartas de INEGI o a través del muestreo de CESVSLP) y “n” variables. En este procedimiento, la variable dependiente (Y) fue el nivel de infestación y su explicación provino de las variables independientes (X) (Herrera *et al*, 2005). El modelo general utilizado fue el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p + \epsilon_i$$

Donde:

Y_i = Variable dependiente

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ = Variables independientes

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_p$ = Parámetros de la ecuación de regresión

ε_i = Error aleatorio

Los procedimientos se elaboraron en base al manual de referencia (SAS, 2002) y al establecido por Herrera y Barrera (2005). Para poder hacer la interfase entre el programa y los datos, la base de datos se ordenó en el procesador Excel.

Para las variables cualitativas se usará un análisis de regresión logística. El procedimiento es similar al de regresión múltiple, solo que las variables dependientes tendrán formato binario, es decir, solo podrá tener dos posibles valores: 0 – 1. El valor 1 significará presencia de la característica de interés, el valor 0 la ausencia. Los datos serán almacenados en el ordenador Excel y su análisis será en el programa SAS según los procedimientos marcados en el manual. El modelo general utilizado para este análisis es:

$$\text{Ln } [p/1-p] = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n$$

Donde:

P = Es la probabilidad del que ocurra el evento de interés

$b_0, b_1, b_2 \dots b_n$ = variables dependientes

3. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA Y AMBIENTAL

3.1 *Hypotthenemus hampei*

La Broca de café es un coleóptero del tamaño de una cabeza de alfiler de color negro, el cual tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Clase: Insecta
Orden: Coleóptera
Suborden: Polyphaga
Superfamilia: Curculionoidea
Familia: Scolytidae
Subfamilia: Ipinae
Tribu: Cryphalini
Género: *Hypotthenemus*
Especie: *hampei*

H. hampei tiene metamorfosis completa, es decir, presenta cuatro diferentes fases que se desarrollan y reproducen en el interior del grano: huevo, larva, pupa y adulto. Los huevos son de forma elíptica, de color blanco brillante y cambian a amarillos conforme avanza su desarrollo, sus dimensiones son de 0.5 mm de largo y 0.2 mm de ancho. Se calcula que las hembras ponen entre 10 y 120 huevos y su crecimiento en días (de 35 a 190 días) varía dependiendo de las condiciones ambientales. Las larvas son blancas, vermiformes y ápodas, es ligeramente curvo y adelgazado en la parte inferior, presenta mandíbulas y llegan a medir entre 0.79 mm en machos y hasta 2.0 mm en hembras. Las pupas son parecidas a las larvas, de color blanco, no muestran actividad, en esta fase se define su cabeza, las patas y las alas, sus dimensiones son entre 1.3 y 1.8 mm. Los adultos son robustos, de forma cilíndrica, de color oscuro, están cubiertos por setas y sus antenas son geniculadas. Los machos llegan a medir 1.25 mm de largo y 0.6 de ancho, las hembras son más grandes con dimensiones de 1.8 mm de largo y 0.8 mm de ancho (Velasco, 1995; Alejo, 2000; Gómez, 1994).

El ciclo biológico comienza cuando la hembra perfora el fruto por la corola, el tiempo de perforación depende de la especie y estado del café (se calcula entre 6 a 10 horas), llega hasta el endospermo, donde excava galerías y deposita los huevecillos. Después de siete días de oviposición se convierten en larvas, estas se transforman en pupas en 14 días y en 10 días más se convierten en adultos y abandonan el grano afectado. Se calcula que el ciclo dura 28 días aproximadamente, dependiendo de las condiciones físicas y climáticas, por lo que se podrían dar hasta siete generaciones por año. (Velasco, 1995; Alejo, 2000; Gómez, 1994).

Hay condiciones ambientales específicas, especialmente la temperatura y la humedad, que influyen en el desarrollo y propagación de la plaga. La broca es altamente sensible a la humedad relativa, ya que entre 84 y 93% el insecto puede doblar el tiempo de sobrevivencia, mientras que puede morir rápidamente a humedades inferiores (20 a 40%). La humedad relativa óptima para que la broca de café sobreviva y se desarrolle es entre 90 y 95% (Baker *et al*, 1994). Es así, que las mayores infestaciones se van a encontrar en plantaciones sombreadas, ya que la humedad es mayor que en las de menor sombra o cuando estén expuestas a corrientes de aire. Aunque debe considerarse que no depende de la humedad ambiental como otros insectos, ya que mientras el fruto permanezca en el árbol mantiene cierta humedad. De hecho, se ha reportado que si el interior del fruto llega a tener humedad de 20% la broca puede sobrevivir, pero si sale al exterior muere (Gómez, 1994, Alejo, 2000).

El ciclo biológico de la broca es influenciado por las temperaturas, mientras más alta sea la temperatura se puede elevar el número de generaciones por año, caso contrario si la temperatura es baja, ya que la perforación del fruto es lenta y el inicio de la postura se alarga. Las temperaturas óptimas son entre 20° y 30° C, si las temperaturas son excesivamente elevadas (más de 35°) o bajas (menor a 15°) la plaga reporta inactividad y en algunos casos su muerte.

Las precipitaciones también influyen, aunque indirectamente, a la fructificación del cafeto. Se ha registrado que una sequía después de la floración es perjudicial para la formación de frutos, y a su vez a la plaga, porque reduce el número de frutos disponibles para su multiplicación. Las primeras lluvias de la temporada juegan un papel importante como factor disparador en la emergencia de la plaga, ya que las brocas que quedaron de la cosecha anterior pueden reproducirse en la siguiente (Barrera *et al*, 1987; Gómez, 1994).

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*, 2003). La rapidez o la lentitud del ciclo de vida de la broca depende de estas condiciones (Camilo *et al*, 2003). Según Bustillo *et al* (1998) los frutos de café empiezan a ser susceptibles al ataque de la broca, cuando su peso seco es igual o

mayor al 20%, lo cual se logra cuando los frutos alcanza entre 100 y 150 días de desarrollo después de la floración. Los daños en el fruto del café se manifiestan por la caída prematura de los frutos, lo que genera la reducción de la producción de granos. Sin embargo, el daño con mayor impacto es cuando la hembra coloniza frutos en estado maduro, ya que la perforación, la construcción de galerías y la oviposición se realiza en el endospermo, causando mayores pérdidas (Alejo, 2000).

Hasta ahora, la broca de café ataca a todas las variedades y especies de café, aunque algunos estudios han demostrado que existe preferencia por solo algunas (Romero *et al*, 2007). *H. hampei* prefiere *Coffea canephora*, mejor conocida como robusta, ya que los frutos tienen el exocarpo y endocarpo más delgado y el mesocarpo más acuoso. Además, mencionan que el período de fructificación de robusta es más largo, lo que genera que el fruto tenga grados de maduración todo el año, proporcionando a la plaga un espacio más óptimo (Gómez, 1994).

También se le ha encontrado en otros hospederos, tal es el caso de las leguminosas *Cajanus cajan* y *Dialium lacortianum* y en maíz (*Zea mays*). También se ha reportado en otras plantas de donde se alimenta de semillas, frutos y vainas, aunque en ningún caso el insecto llegó a reproducirse. Sin embargo, aunque no genere ningún daño a otros hospederos, son elementos que puedan ser medios potenciales de dispersión.

Para el caso de su diseminación, varios autores (Oliveira, 1927; Yamamoto, 1948; Baker, 1984; citados en Gómez, 1994) mencionan que la broca no se propaga realizando vuelos largos, ya que solo tiene desplazamientos de 5 o 6 cafetos (20 a 30 metros). Por lo que su dispersión es favorecida por factores antrópicos, ya sea por el transporte de frutos infectados a centros de abastecimiento, a través de canastas e implementos utilizados en la cosecha y por el agua utilizada en el beneficio del café, que después es depositada a los ríos.

3.2 Localización

La Región Cafetalera de la Huasteca Potosina (RCHP) se encuentra al oriente del estado de San Luis Potosí, entre las coordenadas extremas 21° 09' y 21° 47' latitud norte (UTM 2,340,00 y 2,409,000) y 99° 09' y 98° 40' longitud oeste (UTM 484,000 y 534,000). La superficie cafetalera estimada es de 14,035 hectáreas para el 2007, según el Consejo Potosino del Café (COPOCA), y se distribuye en 7 municipios: Aquismón con 21.4%, Axtla de Terrazas 1.0%, Coxcatlán 1.7%, Huehuetlán 2.1%, Matlapa con 7.2%, Tamazunchale 26.2% y Xilitla con 40%. Esto representa el 99.6% de la zona cafetalera para el estado. La RCHP limita con 8 municipios del propio estado en la porción oriente, norte y noroeste, y con los estados de Querétaro e Hidalgo al sur y suroeste (Figura 3.1)

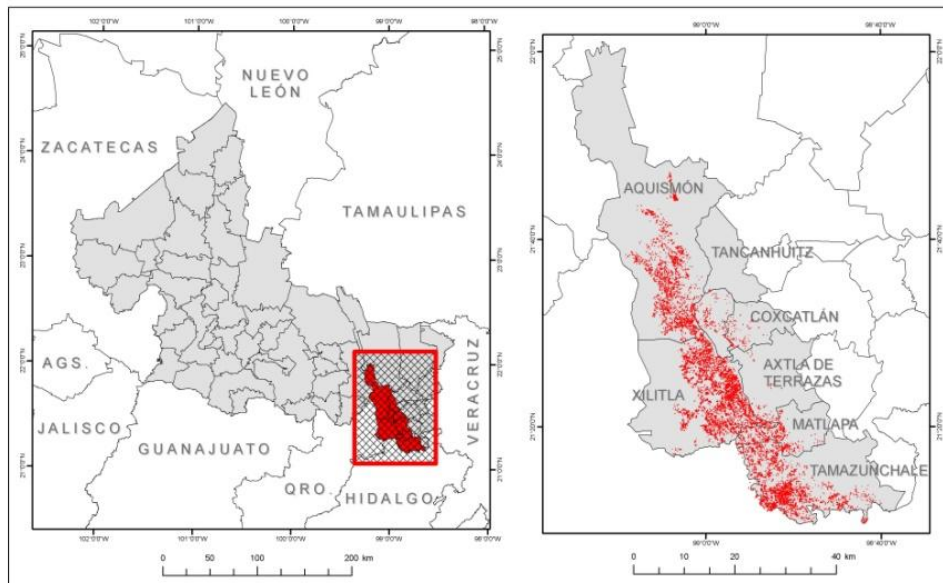
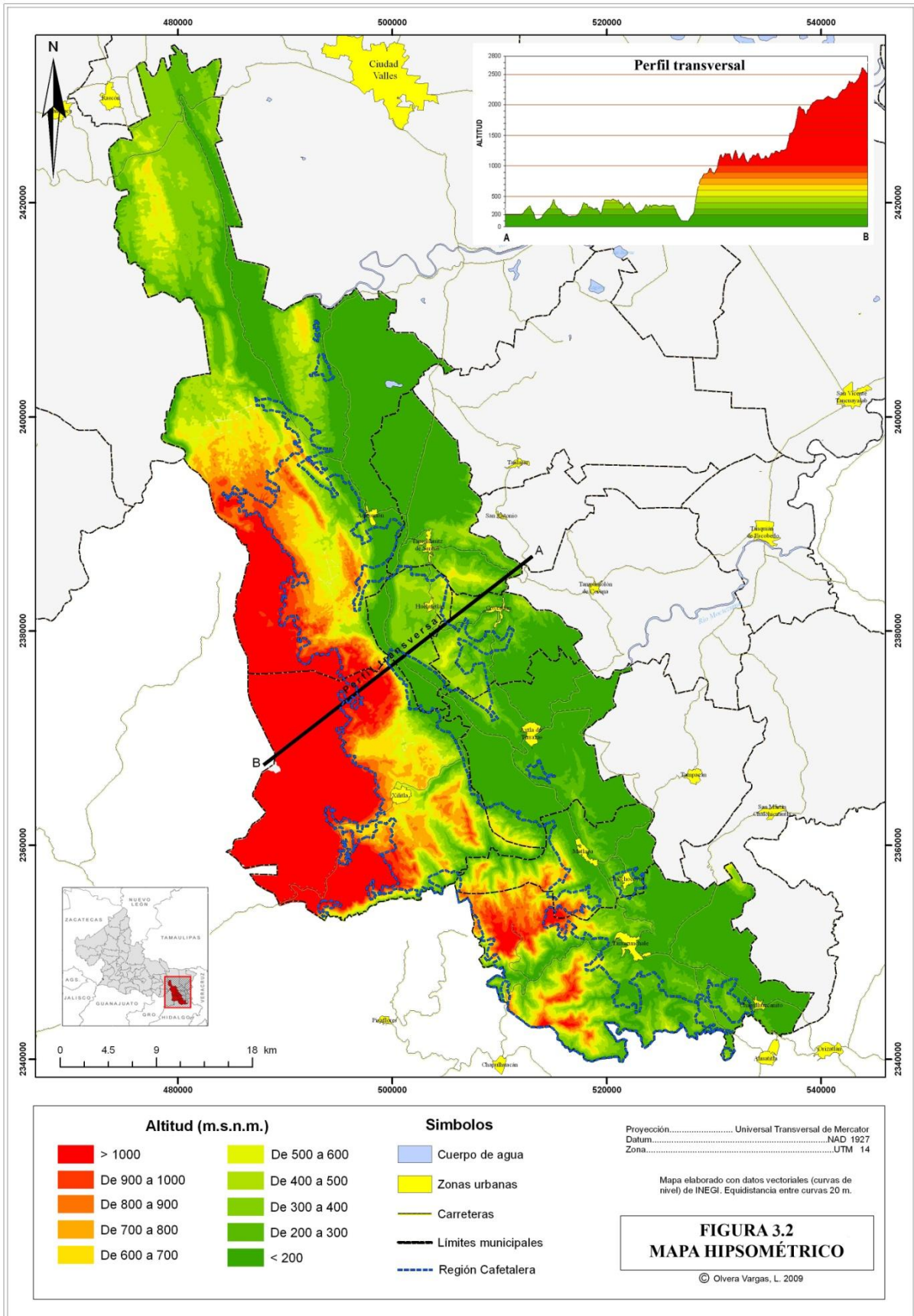


Figura 3.1. Localización de la zona de estudio.

3.3 Características ambientales

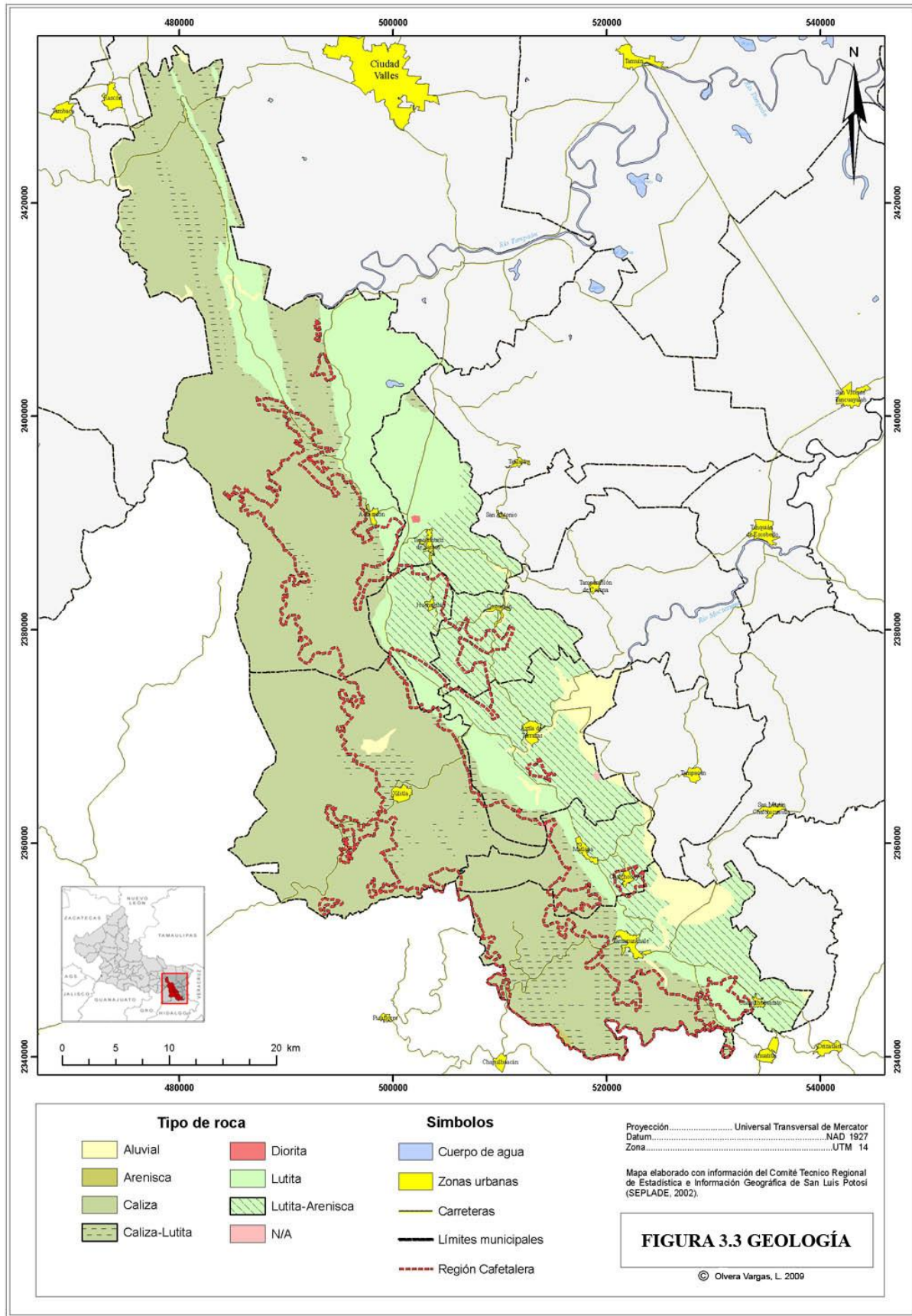
3.3.1 Rasgos orográficos

La RCHP se localiza al extremo noreste de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, cercana con los límites de la Planicie del Golfo de México. En la zona se puede observar paisajes como: lomeríos suaves de pendientes moderadas, valles intermontanos y valles de laderas tendidas en las partes bajas; piedemontes que presentan fuertes disecciones y acumulaciones aluviales; y las zonas altas, donde el relieve es abrupto y escarpado.



La zona cafetalera se encuentra desde los 80 msnm y hasta más de 1200 msnm, el 70% del cafeto está entre los 400 y 800 msnm, el 20% en altitudes mayores a los 800 msnm y el resto en zonas menores a los 200 msnm. Por sus características geológicas, las zonas por encima de los 400 msnm predominan las laderas con pendientes mayores a los 15° y en zonas menores a estas altitudes, se observan valles fluviales con reducida inclinación. Además, en las superficies cumbreles se encuentran valles intermontanos (pendientes menores a 3°) que son aprovechados para la agricultura. Debido a la forma de los plegamientos, la dirección de las laderas son predominantemente NE y SW (Figura 3.2).

La morfología de este lugar data del Cretácico y principios del Terciario, los levantamientos orogénicos y el retiro de los mares dio origen a plegamientos sedimentarios, de forma ondulada y paralelos, conocidos como anticlinales (crestas o cimas) y sinclinales (concauidades). La flexión en los anticlinales hace que la roca (predominantemente caliza) sea más susceptible a la erosión, por lo que la estructura de esta zona está constituida por dos flancos residuales y un valle en el centro. Los plegamientos de la zona están formados por antiguas rocas sedimentarias marinas, que sufren procesos de disolución por el agua, lo que define a la zona como cárstica. El llamado Carso Huasteco (subprovincia) presenta fuertes grados de disección en la roca, inclusive desarrollando fuertes cañones y mogotes (rocas picudas). También, por la solubilidad de la roca, se encuentran grutas, pozos y dolinas (depresiones), estas últimas al desplomarse el techo de la caverna forma los conocidos “sótanos”. En la RCHP los diferentes eventos geológicos de tipo orogénico, asociados al relleno de las cuencas oceánicas, dieron origen a estratos sedimentarios. Formadas durante el Mesozoico y el Cenozoico, las rocas se encuentran de forma cronoestratificada con más de 2000 metros de espesor. La mayor parte de la zona pertenece al Cenozoico, específicamente formadas en el cretácico superior, predominando rocas caliza, caliza-lutita, lutitas, y algunas lutita-arenisca del jurásico medio (Figura 3.3). Las calizas se encuentran en las partes donde el relieve es abrupto, y predominan por arriba de los 400 msnm, sobre franjas con dirección NW-SE. Estas rocas se caracterizan por tener residuos calcáreos de organismos, con frecuencia contienen minerales de dolomita, partículas arcillosas y arenosas; son de color gris claro y crema y están dispuestas en estratos gruesos y masivos. Las caliza-lutitas son de color gris claro a gris oscuro y rojizo, tiene concreciones calcáreas, algunas de ellas fosilíferas, se encuentran sobre la misma franja que las calizas, pero sobre los lechos de los ríos más disectados.

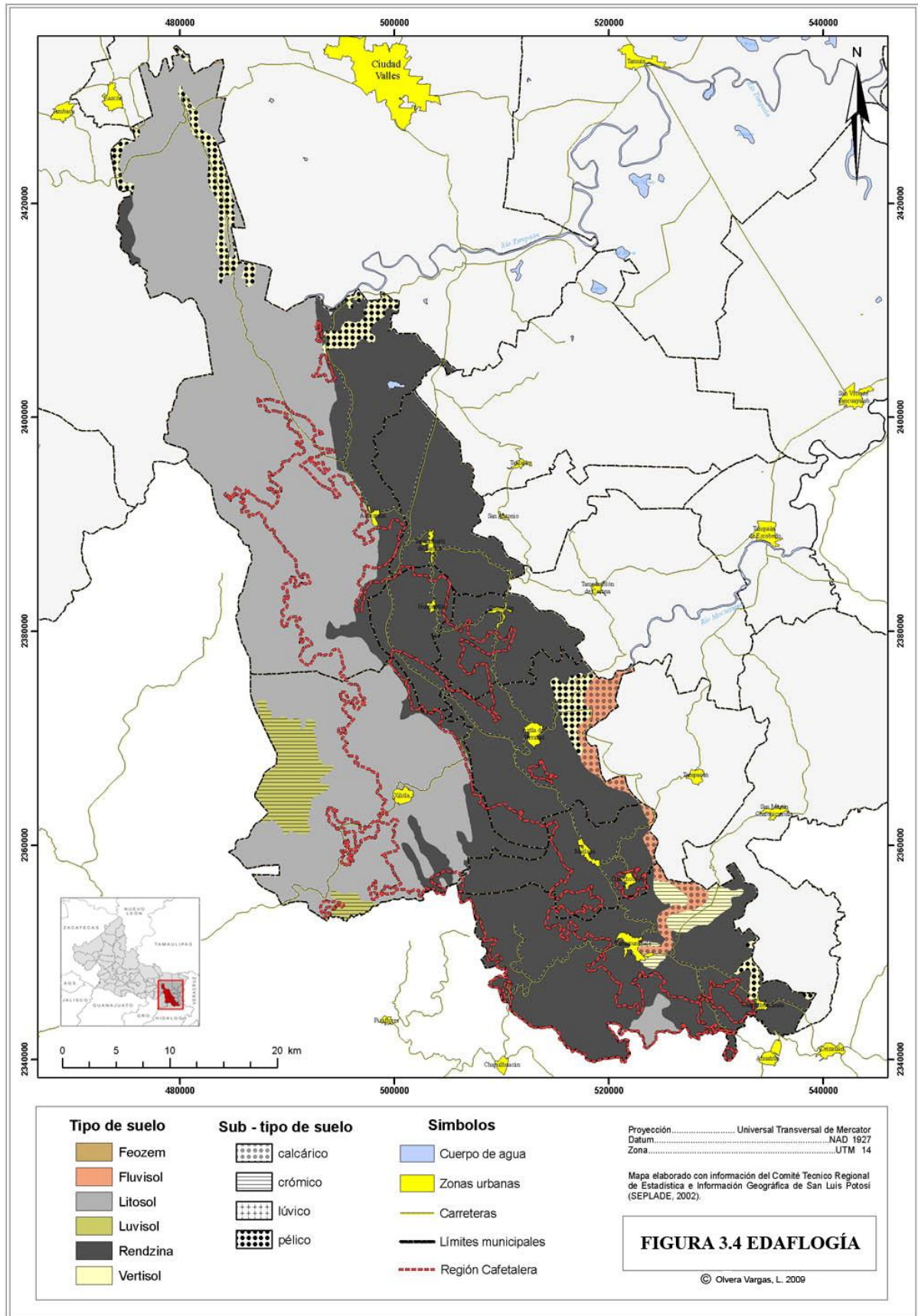


Las lutitas ocupan un reducido espacio en la zona cafetalera, se localizan sobre los valles intermontanos de la parte baja de la Sierra, son de color gris claro a oscuro y presentan residuos calcáreos. Las lutitas-areniscas se presentan sobre los lomeríos de Huehuetlán y Coxcatlán, son de color gris e intemperizan en amarillo ocre, están constituidas por una secuencia areno-arcillosa en estratos que van de delgados a gruesos (INEGI, 2002b; Lugo, 1989).

Referente a los suelos, en la RCHP predominan los rendzina y litosoles (Figura 3.4). Estos suelos se encuentran dentro de un paisaje cárstico, lo que hace que tengan altos contenidos de carbonatos, derivados de calizas y lutitas que son intemperizados por la acción del agua y la temperatura. La mayoría de los suelos de esta región tienen fases líticas, son de origen residual, someros y de desarrollo moderado o incipiente. Las diferentes asociaciones vegetales (predominantemente selvas) los proveen de grandes cantidades de materia orgánica en forma de humus y es en parte por esta circunstancia que los suelos en su mayoría son de color oscuro. Los litosoles tienen una cobertura del 55% en la zona cafetalera, presentándose arriba de los 500 msnm sobre pendientes mayores a los 30°, están asociados con rendzinas y luvisoles crómicos (Figura 3.4). Son suelos someros, rocosos, de textura fina y media, presentan una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica. Por su desarrollo en laderas abruptas se erosionan con mucha facilidad y sus rendimientos para la agricultura son bajos. Las rendzinas, principalmente calcáricos, se encuentran en el resto de la zona cafetalera, con altitudes que van entre los 700 msnm y menores a los 200 msnm, y están asociados con litosoles, vertisoles y feozem (Figura 3.4). Son someros en las partes con laderas abruptas y medianamente profundos en los valles y lomeríos, son oscuros y con altos contenidos de materia orgánica en el horizonte supsuperficial, de textura media a fina y están limitados por una capa de roca calcárica con altos contenidos de carbonatos. Son susceptiblemente a la erosión y sus rendimientos son medianamente bajos.

3.3.2 Rasgos climáticos

Los principales tipos de clima que se encuentran en la zona, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), corresponden a cálidos húmedos y subhúmedos y semicálidos húmedos. En la parte baja (altitudes menores a 400 msnm) de la RCHP predominan el clima tipo cálido húmedo con lluvias monzónicas en verano Am, seguidas por una franja de tipo cálido húmedo con lluvias abundantes todo el año Af(m) entre los 700 y 200 msnm.



En las partes más altas (mayores a 600 msnm), y por el efecto orográfico, se encuentra el tipo semicálido humedo con lluvias abundantes todo el año (A)C(fm). Solo en una pequeña parte al sur de la RCHP se encuentra el clima tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw2 (Figura 3.6). La temperatura disminuye conforme se eleva la altitud, por lo que en las zonas más bajas se reporta una temperatura media anual mayor a los 24°, con una mínima de 18° y una máxima superior a los 30° en verano. En la zona intermedia (altitud entre los 300 y 800 msnm) se tienen temperaturas medias anuales que van entre los 20° y 24°, donde su mínima es de 14° a 18° y una máxima de 26° a 30°. En altitudes superiores a los 800 msnm se registra una temperatura media anual de 19°, con mínimas mayores a los 12° y máximas que no rebasan los 25° en verano (Anexo mapa 1). A pesar de que en la zona no se registra niveles de sequía, estudios recientes (Proyecto SAGARPA) han demostrado que parte de la RCHP puede llegar a presentar un índice de severidad a la sequía fuerte, sobre todo en los años donde se reporta fenómeno del “niño” (anexo mapa 2).

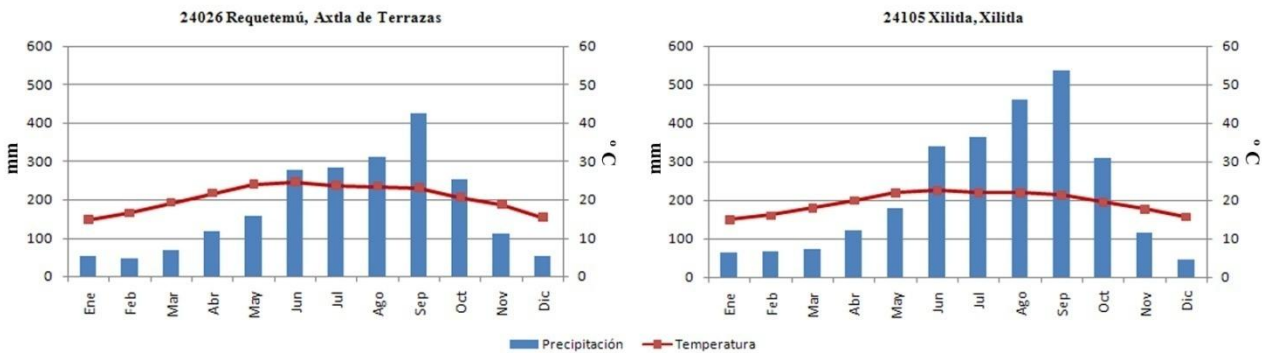
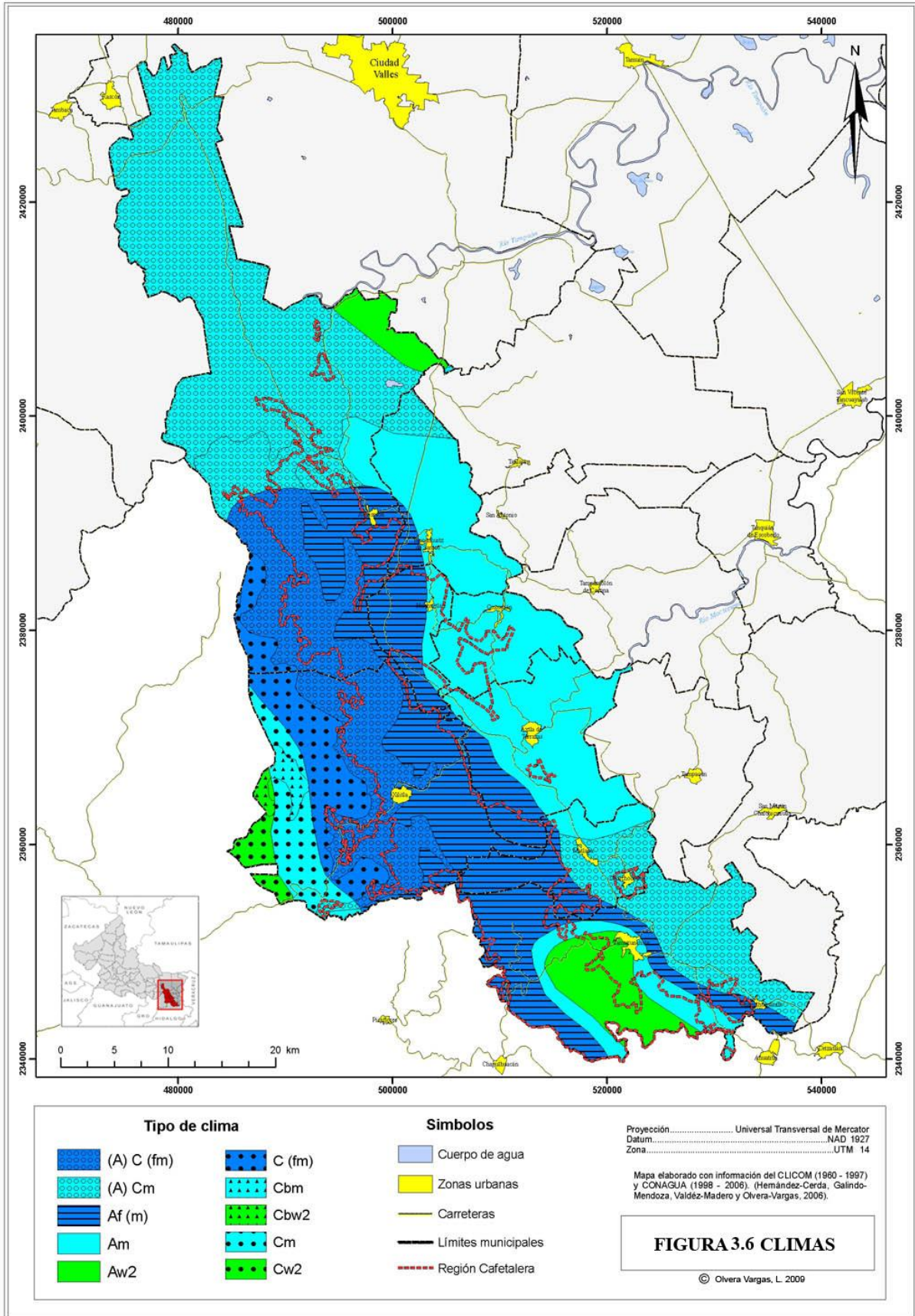


Figura 3.5. Climogramas de la zona de estudio

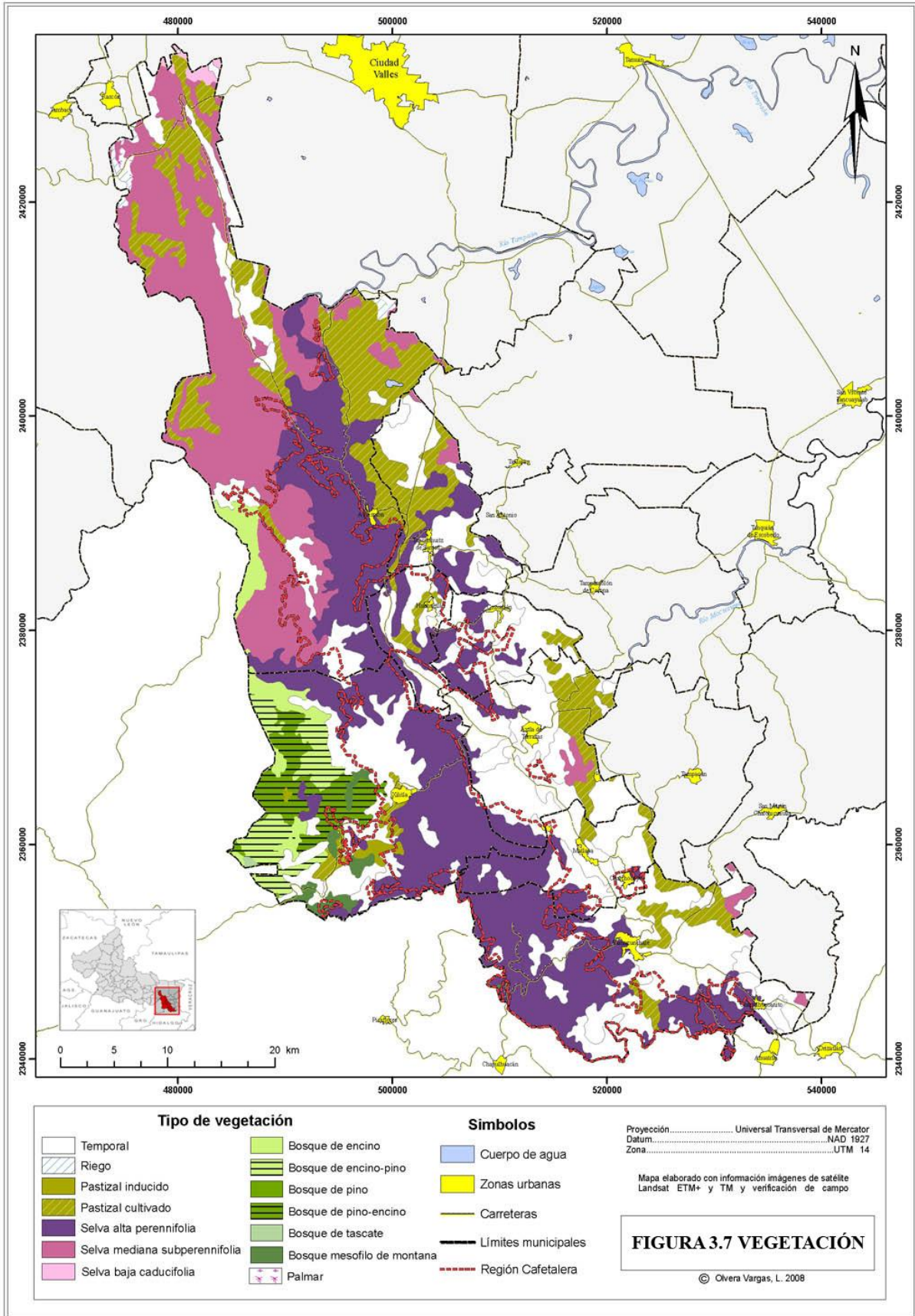
Como resultado de la humedad y la presencia de la barrera orográfica, la mayor parte de la RCHP presenta precipitaciones superiores a los 2000 mm anuales. En la parte más baja, se reportan precipitación media anual inferior a los 1800 mm, siendo los meses más lluviosos entre junio y octubre. La parte central, distribuida en un franja con dirección NW-SE y paralela a los niveles altitudinales, se registran precipitaciones medias anuales de entre 2200 y 2400 mm, y en las partes altas, específicamente al norte de Xilitla, hay una zona con más de 2800 mm al año, presentándose la temporada de lluvia entre Junio y Octubre, siendo septiembre la más lluviosa con más de 500 mm (anexo mapa 3). En la Figura 3.5 se observa las diferencias entre precipitaciones de dos sitios que se encuentran a menos de 30 km.



En cuanto a la humedad relativa de la RCHP se registran porcentajes que van de 50 a 90%, donde en altitudes menores a 500 msnm se registra menos del 60%, entre los 500 y 1000 msnm 80% y a más de 1000 msnm humedad superior al 80%. Esto se debe al avance de las masas húmedas provenientes del Golfo de México, que en su ascenso por la Sierra Madre Oriental, provoca nublados y lluvias a lo largo de todo el año. A ello hay que añadir la humedad que trae consigo la presencia de ciclones en verano-otoño y de nortes en invierno (anexo mapa 4).

3.3.3 Rasgos de uso de suelo y vegetación.

La vegetación de la RCHP está asociada de forma directa con el tipo de clima y la altitud. Según Rzendowski (1978) la Huasteca Potosina es el límite boreal de las selvas tropicales, por que se encuentra vegetación de tipo arbóreo con alturas de 20 a 50 metros. En el extremo norte de la zona, predominan las selvas medianas subperennifolias, donde se pueden observar algunas especies predominantes como el palo santo (*Dendropanax arboreus*), chaca (*Bursera simaruba*), volantín (*Zuelania guidonia*), cedro (*Cedrela odorata*). En este tipo de selva se puede encontrar vegetación secundaria herbácea y arbustiva, lo que indica un grado de perturbación media. En la parte central y sur de la zona abundan las selvas altas perennifolias, con especies como *Bursera simaruba*, *Parmentiera aculeata* y *Piscidia communis*. Estas especies han ido desapareciendo y el estrato ha empezado a ser más bajo, donde se encuentran principalmente *Brosimum alicastrum* (ojite), *Heliocarpus velutinus* (jonote), *Ceiba pentrandia* (pochote) y *Ficus* sp (higerón). Muchas de estas especies se usan para la sombra de los cafetos, pero principalmente se usa *Inga edulius*. En unas pequeñas porciones de la RCHP se encuentran bosque encino y pino-encino, donde predominan la especie *Quercus*. (INEGI, 2002). La RCHP ha sufrido intensos cambios de uso de suelo y vegetación en los últimos 30 años, ya que se tiene registrado pérdidas de hasta un 60% en la cobertura primaria, por lo que las selvas se encuentran asociadas con vegetación secundaria, principalmente arbustiva y arbórea (Galindo *et al*, 2005). En el 30% de la RCHP se desarrollan actividades agropecuarias, que a pesar de lo accidentado del relieve, se ha incrementado considerablemente. Predominan pequeñas parcelas donde se siembra maíz, frijol, calabaza, chile y palmilla, estos tipos de cultivo están destinados al consumo propio de cada productor. También en la zona se puede observar algunas zonas con pequeñas áreas de pastizales, sobre todo en los valles intermontanos, que sirven de alimento para el poco ganado que se practica en la Huasteca sur (Figura 3.7).



3.4 Características socioeconómicas

La Región Cafetalera de la Huasteca Potosina está integrada por 602 comunidades, que corresponde a 179,776 habitantes, que es el 7.4% de la población total del Estado, y que representa poco más de 34,000 hogares. La población femenina representa el 49.3% y el resto es conformado por varones. Las localidades son pequeñas, el 83% tienen menos de 500 habitantes, el 12% entre 500 y 1000 habitantes, y el resto son las cabeceras municipales con 1000 hasta 5600 habitantes. Es predominantemente indígena, principalmente de las etnias Tenek y Náhuatl, y representa el 58% de la población de la zona (INEGI, 2005b).

Esta Región representa una de las más marginadas del estado y del país, ya que estas comunidades que se dedican al cultivo de café el 37.6% presentan grados de marginación muy alto, el 58.4% alto, el 3.6 medio y solo 2 comunidades registran marginación baja. El PNUD (2006) evidencia que los municipios donde se encuentran estas comunidades cafetaleras presentan índice de desarrollo humano (IDH) por debajo del promedio nacional (0.7883). Axtla de Terrazas es el que tiene más alto índice con 0.7143, ocupando el lugar 20 de los 58 municipios del estado, Tamazunchale registra un índice de 0.6945 ocupando el lugar 30, Coxcatlán y Xilitla presentan índice de 0.6769 y 0.6763 respectivamente; Matlapa y Huehuetlán tienen 0.6617 y 0.6611 respectivamente. El municipio de Aquismón ocupa el lugar 57 de los 58 municipios del estado, presentando un índice de 0.6008, solo por encima de Santa Catarina. Además, Aquismón registra el índice más bajo de ingreso¹ comparándose con países de África (Figura 3.8).

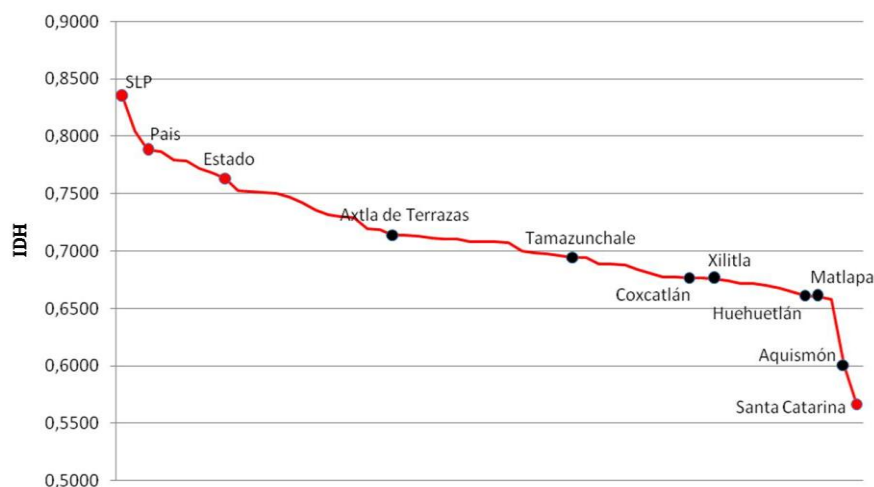


Figura 3.8 Índice de Desarrollo Humano de la zona cafetalera de San Luis Potosí (PNUD, 2006)

Las comunidades de la RCHP también presentan altos índice de aislamiento, donde el 50.4% se encuentran alejados más de 10 km de algún tipo de carretera pavimentada, el 20.2% está entre 3 y 10 km y el resto se encuentran a menos de 3 km alejados de alguna vía pavimentada.

Estas comunidades reciben apoyos alimenticios por parte del gobierno, específicamente de Liconsa y Oportunidades, siendo beneficiados el 17.7% de la población. En cuestiones de acceso a servicios de salud el 16.4% tiene IMSS o ISSSTE. Mientras que en cuestiones de educación el 68% saben leer y escribir, pero el 82% sólo llegó a los primeros niveles de primaria (INEGI, 2005).

Respecto a las actividades económicas de la región, el porcentaje de Población Económicamente Activa es del 23.9%. Dentro de este porcentaje, el 72% ejerce alguna actividad dentro del sector primario, el 11.3% realiza actividades dentro del sector secundario y el 16.7% está en el sector terciario. Desglosando estos datos, y haciendo énfasis en la población que se dedica al cultivo del café, Xilitla es el municipio que más gente tiene ocupada en el sector cafetalero, con 5443 productores, y que representa el 57.8% de los agricultores del municipio. Tamazunchale registra 4138 personas dentro de la cafecultura, que representa al 36.5% de las personas ocupadas en el sector primario. Aquismón tiene el 26% de sus agricultores dedicados al cultivo del café (representa 2162 productores), mientras que Matlapa tiene 810 productores (21.4% de la PEA en el sector primario). Huehuetlán tiene 284 agricultores en la producción del café, Coxcatlán 233 productores y Axtla de Terrazas con solo 139. Como se observa, el café es una fuente importante de ingresos para algunos municipios, principalmente para Xilitla, Tamazunchale y Aquismón, por lo que muchas de las familias de la región dependen de la comercialización del aromático.

4. ANÁLISIS DE LA BROCA DE CAFÉ *Hypothenemus hampei*

Según fuentes oficiales, como son SIAP, SAGARPA y AMECAFE, en la Huasteca Potosina se reportan entre 17 y 19 mil productores (cada una de las dependencias maneja sus propios datos y no coinciden entre ellos). El Consejo Potosino del Café a su vez reporta 17,328 productores (datos de 2006) y dentro de la base de datos que se proporcionó a este proyecto, existen 13,167 productores. Al momento de hacer la unión entre ésta y la base de datos del CESVSLP, la base de datos se redujo a 9,792 productores, que significa el 74.3% de los datos de la base proporcionada por COPOCA. Para el caso de la base de datos original del CESVSLP, se reportaban datos de 10,230 productores, 28.4% menos que la base del COPOCA. Al momento de ser unida con la otra base de datos (COPOCA) se redujo la información a 9,792 productores, lo que significa que 95.7% son datos originales. Para esta fuente de información se usó más variables, de las 38 reportadas, se seleccionaron 27 (71%). De la cartografía temática, se trabajó con 11 variables. En resumen, se tenía una base de datos para cada año, con 49 variables y 9,792 datos (filas), y cada uno de los datos representa un productor y una parcela (con diferente superficie, de acuerdo al tamaño de dicha parcela).

Como se mencionó anteriormente, uno de los datos más importantes para el análisis de la propagación de la plaga es el porcentaje de infestación. Dentro de los 9,792 datos, se reportaban diferente número de parcelas afectadas cada año. Para el 2000 se trabajó con 843 parcelas (representa el 8.6% de los 9,792 datos), 853 parcelas (8.7%) para el 2001, en 2002 se usaron 1240 parcelas (12.6%), 2003 con 700 (17.3%), 2546 parcelas (26%) para 2004, 3118 (31.8%) para 2005, 4217 (43%) en 2006 y para 2007 se trabajó con 3610 (36.8%). En este caso, el número de parcelas dependía de si estaban o no infestadas de broca de café. En la mayoría de los casos, ninguna parcela tiene datos continuos, es decir que entre 2004 a 2007 se tenga reportado el porcentaje de infestación. Esto puede entenderse como que en un año está y en otro desaparece la plaga, en observación realizadas en campo, se dedujo que es porque la campaña a veces no tiene presupuesto para recorrer todas la zona cafetalera y realizar muestreo en todas las parcelas, por lo que recurre a los productores y en algunos casos, éstos por falta de interés o tiempo no realizan dicho muestreo. En cualquier de los casos, la información se trabajó con ese número de datos, que a pesar de ser una parte representativa, puede servir de referencia para realizar un análisis espacial.

La Figura 4.1 describe dos fenómenos diferentes: el porcentaje de infestación de la broca de café y la superficie afectada. El porcentaje de infestación ha tenido un comportamiento polinómico entre 2000 y 2007, teniendo dos años críticos, donde se reportan infestaciones en promedio de 20% en 2001 y 17% en 2002. Posteriormente, las infestaciones bajaron considerablemente en el 2003 con 4%, pero en 2004 volvieron a elevarse hasta 10.5% en promedio, después de esa fecha la infestación ha ido reduciéndose cada año, llegando actualmente a 2.5% en promedio. En cambio, la superficie afectada ha crecido exponencialmente con el paso de los años, reportándose afectaciones en menos de 1000 hectáreas en 2000 y llegando actualmente a casi el 100% de la superficie cafetalera afectada.

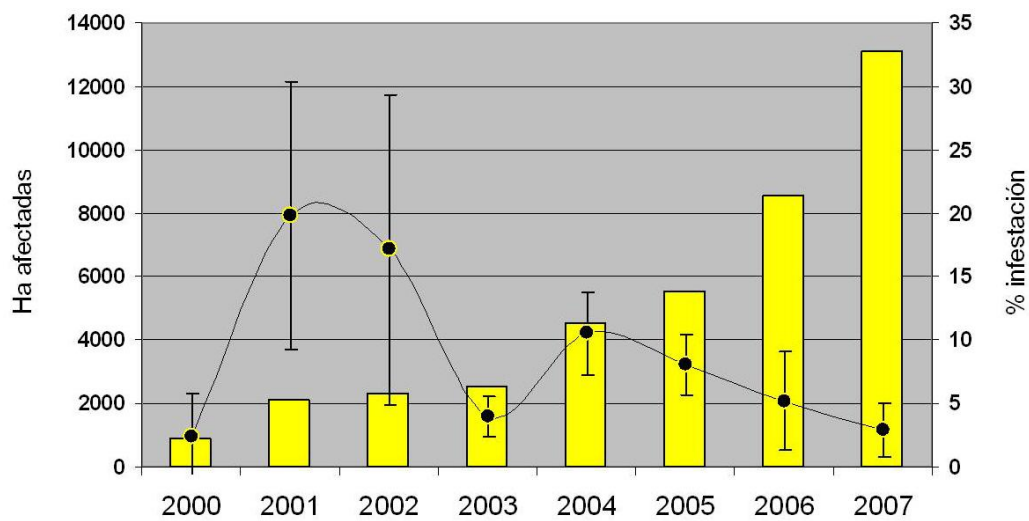


Figura 4.1 Superficie afectada ■ y porcentaje de infestación ●

4.1 Propagación de la broca de café

Para el año 2000 la campaña contra la broca de café reportó daños en 924,5 hectáreas, siendo los municipios afectados Xilitla con 668 Has (representa el 72.3% de las afectaciones de ese año), Matlapa con 246 Has (26.7%) y Axtla de Terrazas con solo 9.2 Has (1%). El problema se concentró entre los límites de estos municipios (Figura 4.2). En el primer municipio, la broca de café se presentó en 12 comunidades, sobresaliendo Pilahuehuevo, ejido El Cristiano, con infestaciones que van de 30 a 35% (aproximadamente 40 ha. con ese porcentaje). La comunidad de Ahuehuevo, ubicada en el mismo ejido, presentó porcentajes del 6% en aproximadamente 10 ha. El resto de las comunidades tuvieron infestaciones menores al 2%. En el municipio de Matlapa, el número de

comunidades afectadas fue de nueve, donde se reportaron infestaciones de 1% en Tlacoahuque, ejido de Cuaquentla, en cerca de 25 ha. El resto de las comunidades presentaron infestación menor al 1%. En Axtla de Terrazas solo se reportó en la comunidad de Las Cuevas, con porcentajes menores al 1%. En promedio, la infestación para el 2000 fue de 2.4% (Figura 4.2).

Las condiciones ambientales en las que se presentó *H. hampei* para el año 2000 fueron las siguientes: la altitud de las parcelas afectadas están ubicadas entre los 100 msnm en la parte más baja y 400 msnm en las partes más altas, presentándose el porcentaje de infestación más alto entre los 300 msnm. El 85% de las parcelas afectadas se encontraban en zonas con relieve medianamente abrupto (entre 12° y 35°) y solo un 15% de las parcelas en zonas con pendientes menores a 5°. En cuanto a la dirección de la ladera, la mayor parte de los sitios miran hacia la planicie del Golfo de México (N-NE). Debajo de las 843 parcelas subyacen suelos de tipo rendzinas y litosoles, con características texturales finas a medias (arcillo-limosas), donde en algunos sitios son someros (sobre todo en las partes donde hay mucha pendiente). En el primer tipo de suelo es donde se encuentran los cafetales con mayor porcentaje de infestación, siendo esta un elemento importante para el análisis.

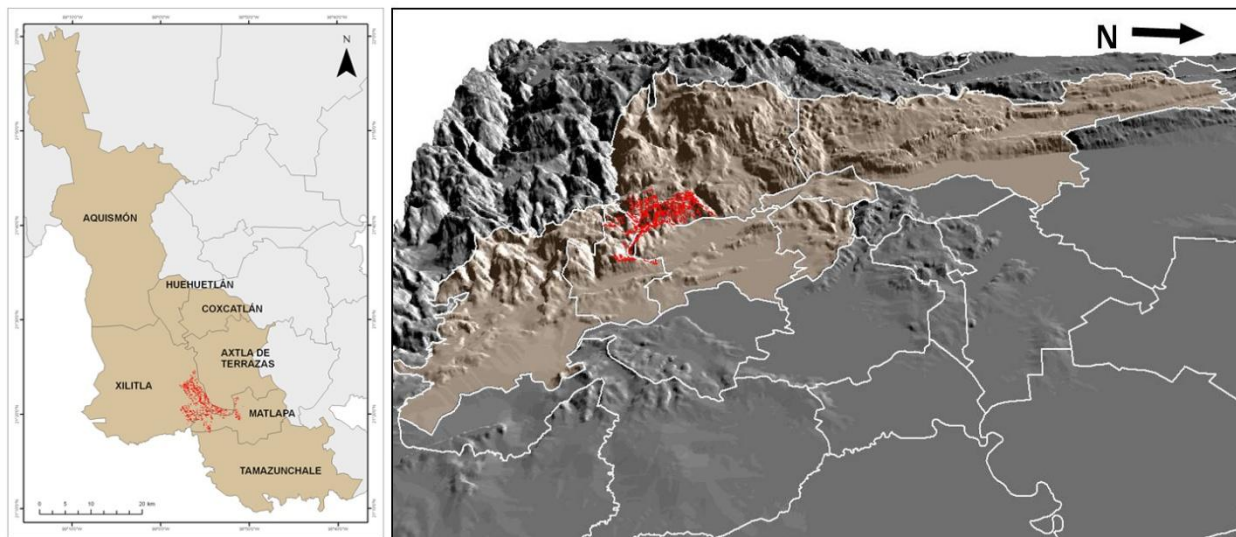


Figura 4.2 Propagación de la *H. hampei* en el año 2000

Las temperaturas para ese año en la zona de estudio fueron cálidas, entre 24° y 26°, y aumentaron hasta 30° en los meses más calientes con una reducción hasta los 16° en los meses más fríos. Para este año, la infestación mayor (1.6% de infestación) se registró en la isoterma de los 24°. En cuanto

a precipitación, se registraron en promedio desde 2200 mm, en las partes más bajas de la RCHP, hasta 2600 mm. La mayor infestación se presentó en la isoyeta 2400 mm. Esto generó una humedad relativa de 76% en promedio para toda la zona, situándose los mayores niveles de infestación en sitios con humedad de 79%.

En el aspecto social, ese año fueron afectados alrededor de 850 productores (4.9% del total de productores cafetaleros para el estado), que representan el 35.4% de la población económicamente activa de esas localidades que se dedica a la agricultura, con un grado de marginación que va de alto a muy alto. La mayoría de estas comunidades se encuentran asiladas en un nivel muy alto (más de 10 km de una carretera pavimentada), y la mayor parte de los productores son indígenas, principalmente náhuatl. El 14.8% de las parcelas afectadas son de mujeres y el resto los dueños son del sexo masculino y la mayoría de los productores rebasan los 40 años de edad (INEGI, 2000).

Durante el año se muestrearon más de 3000 ha, colocándose cerca de 1010 trampas (control etológico) sobretodo en las áreas afectadas. Se realizaron cuatro cursos, donde se capacitó a más de 80 productores y se imprimieron cerca de 1200 trípticos con información para el combate de la plaga y 500 carteles, además se emitieron 120 spots de radio. Se aplicó control cultural en la totalidad de las parcelas afectadas y no se reporta el uso de insecticidas. Se inició el control biológico con la dispersión de 300 dosis de *Beauveria bassiana* y se pusieron algunos puntos de control en las carreteras principales. Todo este manejo de la plaga de la broca de café representó un gasto de \$746,080 pesos, los cuales SAGAR aportó 192,627 pesos, Gobierno del Estado de SLP \$289,314 y los cafeticultores 264,140 pesos. (CESVSLP, 2000).

Para el 2000, el SIAP no reporta datos por municipios en la producción de café, solo por estado. En este caso, San Luis Potosí reportó 16, 622 toneladas, con rendimientos de 0.8 ton/ ha, generando un valor de la producción de 33.2 millones para ese año (SIAP, 2000).

En el año 2001 se reportó afectaciones por la Broca de café en 2,100 ha siendo el 14.9% de la superficie cafetalera del estado y 1,175 más que el año anterior. Los municipios afectados son Xilitla con 949,2 ha (45.2% de lo reportado para ese año), Matlapa con 802 ha (38.2%), 245.7 ha para Tamazunchale (11.7%) y Axtla de Terrazas con 102.9 ha (4.9% del total afectado para el 2001). El problema se situó entre los límites de estos municipios y al Suroeste de Tamazunchale (Figura 4.3).

En el primer municipio las comunidades que más resaltan son Xaltitla con porcentajes de 34 y 36% en 20 Ha, Otlaxhuayo con infestaciones superiores al 35% en cerca de 70 ha y Ahuehuevo con 10% de infestación en 35 ha. El resto de las comunidades (13 más) presentan porcentajes entre 5 y 2 %. Para el municipio de Matlapa, las comunidades más afectadas son Tancuilín y Tlacoehuaque con infestaciones superiores al 40% en 70 ha y Zacayo con 22% de infestación en 15 ha. En las siete comunidades restantes los niveles van entre 4 y 1%. Tamazunchale, municipio que se sumo este año en la problemática, reporta daños en cuatro de sus comunidades, siendo Xaltipa la que más infestación reporta con 35% en 10 ha y Paguayo con 3% de infestación. El resto tiene menos de 2% de afectación. Para el caso de Axtla de Terrazas se reportan las infestaciones más altas para ese año, donde en la comunidad de Tenexio se reportan porcentajes de infestación superiores al 70% en más de 10 ha y Las Cuevas presenta 21% de daño en 5 ha. Los porcentajes de infestación promedio para este año son los más altos de la temporalidad manejada en este proyecto con 20%, teniendo máximos de hasta 75% en algunas parcelas.

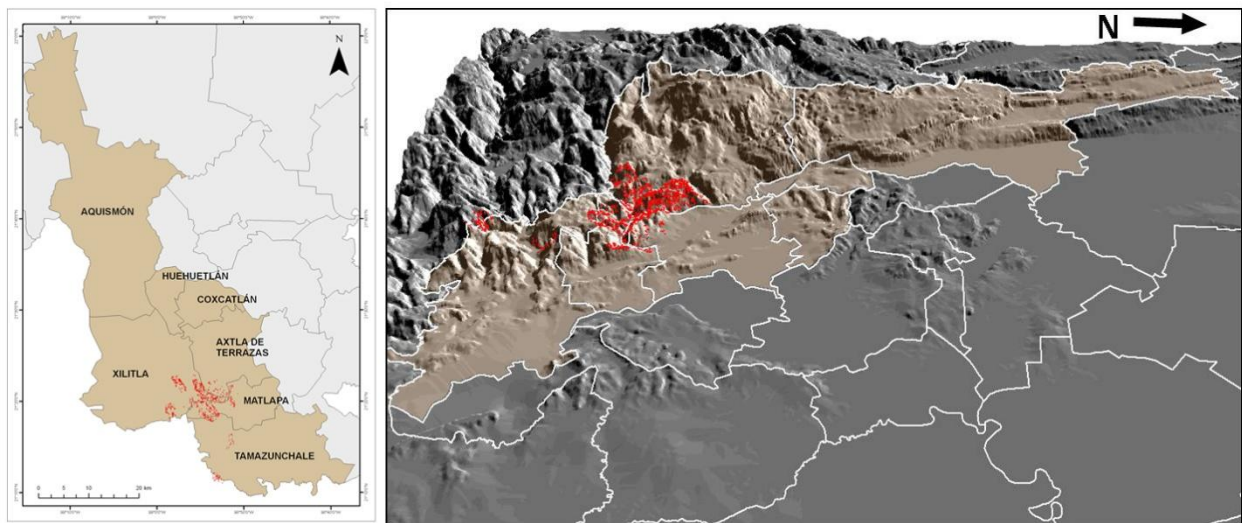


Figura 4.3 Propagación de la *H. hampei* en el año 2001

En cuanto al comportamiento de la broca de café en las diferentes condiciones ambientales respondió a altitud entre 600 y 120 msnm se encontraron las comunidades afectadas, solo que entre 400 y 200 msnm se reportan los mayores porcentajes de infestación. Estos últimos, tienen pendientes menores a 5°, lo que refiere a que son cafetales ubicados en valles aluviales, las parcelas que tienen menor porcentaje de daño (alrededor del 50% de las parcelas afectadas para este año) se encuentran entre 15° y 20° de pendiente. En cuanto a la dirección de la ladera, los sitios más afectados no presentan o están ligeramente orientados hacia el NE, el resto tienen orientación hacia

el N-NE y SE. Las 2,100 ha afectadas subyacen sobre suelos de tipo Rendiza y Litosoles, predominando el primero en un 75% de las parcelas dañadas. En este caso, las infestaciones más altas se encuentran en pequeños valles, por lo que se pensaría que los suelos que existen en esa zona son Fluvisoles, sin embargo por la escala de la cartografía no se reporta ese tipo. Por último, los suelos fueron formados por rocas sedimentarias, principalmente calizas y en pequeñas porciones por lutitas.

La broca tuvo un comportamiento parecido al año anterior, donde cerca del 90 % de la zona afectada se presentaron en sitios con temperaturas medias anuales entre 22° y 24°, clasificadas como semicálidas, con mínimas de 14° y máximas de 28° en promedio anual. El rango pluviométrico general fue de 2300 mm, que es donde más afectación hay, hasta los 2500 mm por año. Los lugares con mayor afectación presentan humedades relativas entre 74 y 79% donde se registraron hasta 35% de infestación.

Las áreas infestadas, afectaron a el 43.1% de los productores cafetaleros considerados como PEA (respecto al total de la población de las comunidades afectadas) y que se dedican al sector primario. La mayor parte de las comunidades presenta grados de marginación alta (60%) y muy alta (39%), solo una comunidad tiene grado medio; y se encuentran con un nivel de aislamiento (alejados de carreteras pavimentadas) alto a muy alto, que significa entre 10 y más de 10 km. Predomina la gente indígena y de los afectados el 14.2% (157 productores) es del sexo femenino (INEGI, 2000).

El gasto para el combate de la broca de café para el año 2001 fue de 876,000 pesos, de los cuales aportó SAGARPA \$288,000, Gobierno del Estado de San Luis Potosí \$288,000 y cafeticultores, a través del CESVSLP, \$300,500. Dicho presupuesto sirvió para muestrear 3,000 ha, incluyendo las parcelas afectadas. Se realizaron muestreos en 120 centro de acopio; se instalaron 5,000 trampas para el control etológico (3,600 de estas trampas fueron proporcionadas por el COPOCA). Se realizaron 36 cursos de capacitación a productores; se transmitieron 180 mensajes de radio para la divulgación, se imprimieron 1,500 trípticos y 500 carteles; y se colocaron 2 anuncios panorámicos. En el control biológico se aplicaron 2,629 dosis, sobre todo en las hectáreas afectadas y se realizó control cultural a partir de tratamientos hidrotérmicos (CESVSLP, 2001).

En el 2001 se generó una producción de 20,191 toneladas, donde Tamazunchale contribuyó con el 32%, Aquismón con el 27.2%, Xilitla con 24.2% y Matlapa con 9.8% de la producción para ese año. En cuanto a los rendimientos, los más altos los tuvo Tamazunchale y Matlapa, con 1.23 y 1.26 ton/ha. En promedio para el estado fue de 1.05 ton/ha, lo que representa un valor de la producción de 25.5 millones de pesos (SIAP, 2001).

En el 2002, se reportó daño en 2,300 has que representa el 16.3% de la zona cafetalera del estado, y siendo 200 has más que el año anterior. El municipio con mayor afectación fue Xilitla, presentando en 1,127 has daños por la plaga, le sigue Matlapa con 810 has, Tamazunchale con 260 has y Axtla de Terrazas con 103 has afectadas. El problema se encontró entre los límites de estos cuatro municipios, solo que en Xilitla se presentaron problemas en la parte norte del municipio (Figura 4.4). En este último, las comunidades con más infestación fueron Otlaxhuayo con 70% de infestación en 7 ha, Xaltitla con 40% en 20 ha y El Naranjal con 21% en 5 ha. En este caso, las comunidades restantes (15 más) se elevaron los porcentajes de 8 a 5% en promedio. En la parte norte de Xilitla, comunidad Rancho Nuevo se reportan infestaciones con 0.5% en 32 ha. En Matlapa, Tlacoahuque reporta infestaciones de 26% (redujo en un 35% la infestación en las parcelas de esta comunidad), Tancuilin presentó 4.7% de daño (89% menos de infestación que el año anterior) y Cuaxilotitla presenta un porcentaje de 4.7. El resto de las comunidades presentaron niveles menores al 1%. En el municipio de Tamazunchale, Xaltipa y Paguayo elevaron sus niveles de afectación a más del 60% en 10 ha y la comunidad de Poxtla presentó infestaciones del 16% en 12 ha. El resto se mantuvo en porcentajes menores al 1%. En Axtla de Terrazas no se tiene reporte de los niveles de infestación. Para este año, hubo una reducción en los niveles de infestación (con respecto al 2001) teniendo un porcentaje promedio de 17.2, aunque también se tuvieron máximos de 70 y 72%.

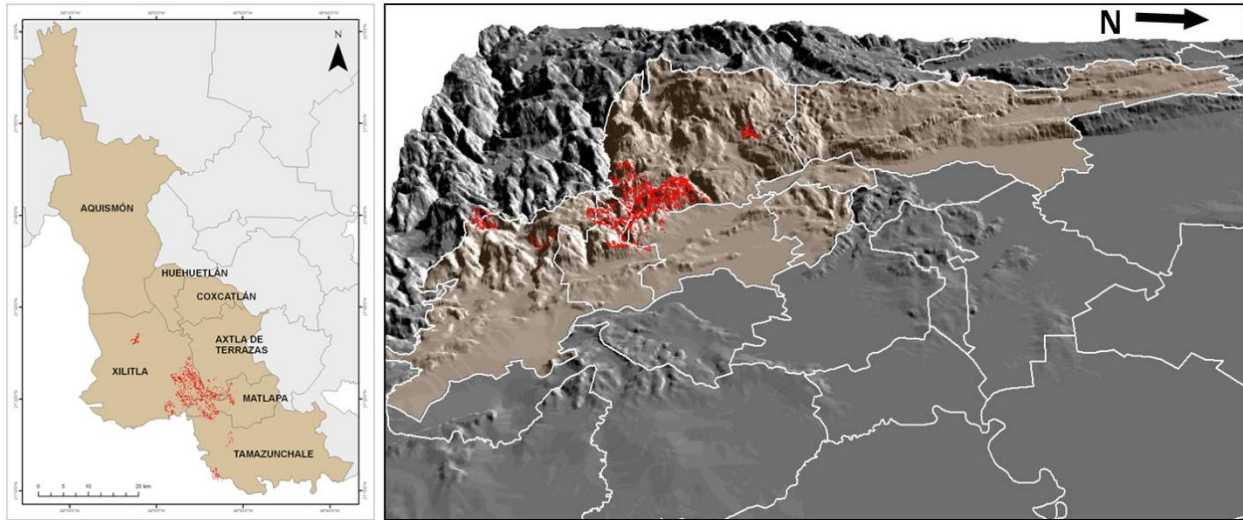


Figura 4.4 Propagación de la *H. hampei* en el año 2002

La Broca de café tuvo un comportamiento similar al del año pasado, en cuestiones ambientales. La altitud donde se concentró la mayor infestación fue entre los 300 y 1400 msnm, y solo en la parte norte de Xilitla llegó hasta los 700 msnm, aunque la infestación fue menor a 0.5%. Las pendientes donde se ubicó el mayor daño son en sitios con menos de 5°, donde la mayoría no tiene dirección de pendiente y algunos orientados hacia N-NE y SE.

La temperatura para este año reportó promedios entre 25 a 27° C, teniendo infestaciones desde 10 hasta 26%. Los rangos de precipitación se establecieron sobre isoyetas que van de 1700 mm hasta los 2000 mm en promedio al año. Este año se registró menor cantidad de lluvia, por lo que los niveles pluviométricos son bajos. Los sitios más afectados son los que registraron lluvia entre 1900 mm y 2000 mm. La humedad relativa de los sitios afectados varió entre los 70 y 83%, concentrándose los niveles más altos entre 80 y 83% con porcentajes de infestación de hasta 70%.

Los productores afectados para el 2002 fueron 1250 (7.2% de los productores del estado), los cuales representan el 45.2% de la PEA (respecto al total de la población de las comunidades afectadas) y que se dedican a la agricultura. El 60% de las comunidades afectadas presenta grado de marginación alto (65%) y el resto muy alto. Se encuentran aislados en la gran mayoría, donde solo dos comunidades están a menos de 1km de alguna carretera pavimentada. De los productores afectados, 140 corresponden al sexo femenino (11.2% de los productores) (INEGI, 2000).

Los ingresos para el gasto de operación del 2002 de la campaña contra la broca de café fueron de \$888,260 pesos, donde SAGARPA aportó \$288,000, Gobierno del Estado de San Luis Potosí apoyo con \$288,000 y los cafecultores a través del Comité de Sanidad Vegetal aportaron \$312,260 pesos. Con dicho presupuesto se colocaron 2000 trampas para el control etológico y se realizó muestreo en cerca de 3000 ha. Se realizaron 36 cursos de capacitación donde se dio a conocer el Manejo Integrado de la Broca (MIP) y las técnicas de muestreo, además se emitieron 240 spots de radio y se repartieron 1500 folletos sobre los daños de la plaga. Se hizo dos aplicaciones de *Beauveria bassiana* en 1,300 ha y se recolecto 2,500 kg de frutos dañados (CESVSLP, 2002).

Para el 2002, la producción fue 59% menos que el año anterior, con 11,937 toneladas. Los municipios que más producción tuvieron fue Tamazunchale y Xilitla, contribuyendo con el 35.2% del total para ese año, seguidos de Matlapa y Aquismón con 10.4% y 11.5 respectivamente. Los rendimientos para este año fueron de los más bajos registrados en 10 años, con un promedio de 0.76 ton/ha, donde Coxcatlán y Aquismón presentaron los valores más bajos (0.30 ton/ha). Con esos rendimientos bajos, el valor de la producción solo equivalió a 5.8 millones de pesos (SIAP, 2002).

Para el año 2003, se reportó Broca de café en 2,549 ha que representa el 18.1% de la zona cafetalera del estado. Los municipios con mayor afectación son Xilitla que presenta daños en 1455 ha, seguido de Tamazunchale con 820 ha (560 ha más que el año pasado), Matlapa con 206 ha (en este caso no se reportan datos para este municipio, por lo que no es confiable que se diga que la plaga se erradico en esta zona). Se reporta un ligero daño en 43 ha del municipio de Aquismón y en Coxcatlán 10 has. El problema para este año se ha expandido en casi toda la parte oriente del municipio de Xilitla y norte de Tamazunchale, en Matlapa sigue siendo la misma zona (Figura 4.5). Las comunidades más afectadas en Xilitla son Ahuehueyo y Cuartillo Nuevo con infestaciones de 10 y 11% respectivamente, que se encuentran en 20 ha, Poxtla con 9% de daño en 10 ha y las demás comunidades (25 más) con porcentajes entre 6 y 1%. En Tamazunchale las comunidades que sobresalen por el daño de afectación son Pilateno con 12.9% de infestación en 10 ha aproximadamente. El resto de las comunidades de este municipio presentan entre 4 y 1%. En el caso del año pasado, en este municipio se encontraron infestaciones superiores al 60%, para este año no se registra ninguna parcela con ese grado de infestación. Para el municipio de Matlapa, las afectaciones son menores, tanto en superficie como en porcentajes de infestación, en donde las

comunidades de este municipio presentan daños por debajo de 3%. Como se mencionó antes, Coxcatlán y Aquismón registraron una pequeña porción dañada, que además presentaban infestaciones menores al 0.5%. En este año se redujo considerablemente el porcentaje de infestación, con un promedio de 4%.

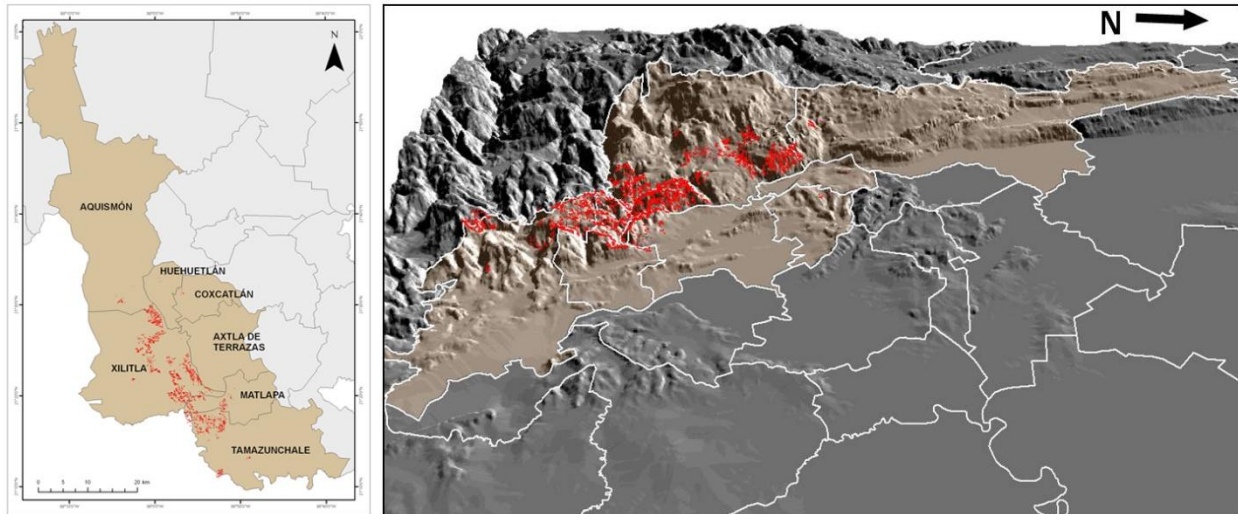


Figura 4.5 Propagación de la *H. hampei* en el año 2003

Para este año, la broca amplió su nivel de afectación en cuestiones de relieve, ya que se reportan en alturas que van desde los 850 hasta los 100 msnm, aunque sigue manteniéndose los niveles más altos de infestación entre 200 y 500 msnm. En este caso, las pendientes fueron variadas, ya que se reportan entre los 3° hasta los 35°. En cuanto a la dirección de la pendiente, se amplió hacia el N-NE-E y S-SE.

Los sitios afectados reportaron temperaturas promedio entre los 24° y 27°, donde los porcentajes de infestación se situaron entre 5 y 7 % (menos intensos que los años pasados), con rangos pluviométricos que iban desde los 1500 mm hasta los 2300 mm, solo que los mayores porcentajes de infestación se situaron en los más altos (2200-2300 mm). Referente a la humedad relativa, la mayor infestación se encontró en los 80%.

El número de productores afectados es de 1870 (10.7% de los productores del estado), los cuales representan el 54% de la PEA (población de las comunidades afectadas) que se dedican al sector primario. El 50% de las comunidades presenta grado de marginación alto, el 35% muy alto, 10% medio y 1% bajo. A pesar de que algunos presenten poca marginación, las comunidades están

alejadas entre 5 y 10 km de alguna carretera pavimentada. De los productores afectados, 209 son del sexo femenino (11.1% de los productores).

Los gastos de operación para este año fueron de \$688,830 pesos, donde SAGARPA contribuyó con \$229,610, Gobierno del Estado de San Luis Potosí \$229,610 y los productores con la misma cantidad. Este presupuesto sirvió para realizar muestreo y exploración en 1900 has, sobre todo en las afectadas, y se revisaron 1280 trampas a través de 20 rutas de muestreo. Se impartieron 20 cursos a los productores para darles a conocer el MIB y algunas técnicas de muestreo. Se repartieron 5400 trípticos y se colocaron 250 carteles con información de la plaga. Se recolectaron más de 2000 kg de grano afectado y con eso se dieron 500 tarjetas de manejo integrado a las parcelas de los productores. Se realizó aplicación de *B. bassiana* en 700 has lo que representó 1371 dosis (CESVSLP, 2003).

Para este año hubo un ligero incremento en la producción de café en el estado, ya que se produjo 18,237 toneladas (34.6% más que el año anterior). Los municipios de Aquismón, Xilitla y Tamazunchale aportaron poco más de 5,000 toneladas (85.9% del total), mientras que Matlapa contribuyó con 1,400 ton. Los rendimientos promedio fue de 0.95 ton/ha, siendo solo Xilitla el único con 1.00 ton/ha, los demás municipios por debajo de esta cifra. Esta producción generó 14,5 millones para los productores que cultivan café en la Huasteca (SIAP, 2003).

Para el año 2004, la superficie afectada por la broca de café fue de 4,566 has, que representa el 32.5% de la zona cafetalera del estado. Estas hectáreas afectadas se repartieron entre los municipios de Xilitla con el 73.9% del total para ese año (representa 3,374 has), Tamazunchale con 13.5% (616.4 has), Matlapa con 9.4% (429.2 has). Los municipios de Aquismón y Axtla de Terrazas fueron afectados en un 1% equivalentes a 63 y 50 Has respectivamente. Para este año se reporta daño en Coxcatlán y Huehuetlán, aunque las infestaciones son bajas y solo se presentaron en menos de 10 has. En el mismo sentido, las comunidades más afectadas para Xilitla son Paguayo con 38.1% en 5 has, Aguapuerca e Iztocapa, con infestaciones superiores a 18% en 15 ha, y Amayo, Cuartillo Nuevo, Cuartillo Viejo y Pilateno presentan infestaciones entre 11 y 17%. Las demás comunidades (33 más) reportaron porcentajes menores a 9% hasta 3.5%. En Tamazunchale las comunidades con afectaciones graves fueron Aguazarca con 17.5% en 4 has, Poxtla con 18% en 5 has, Poxantla con infestaciones del 15% en 57 has y Los Camarones con 13.9% de afectación. El resto de las

comunidades tiene porcentajes entre 11 y 3 % en promedio. Matlapa presentó afectaciones en ocho comunidades, donde Xaltipa tuvo los mayores porcentajes del municipio, con 20% de infestación en 5 has, le sigue Coaxilotitla con 17.5%, Tlacoahuaque con 15%, Tlaxco y Tamala con 12%, lo que representa 50 has afectadas. En el caso de los demás municipios, son pocas las comunidades afectadas, mientras que los porcentajes de infestación estuvieron entre 1 y 3%.

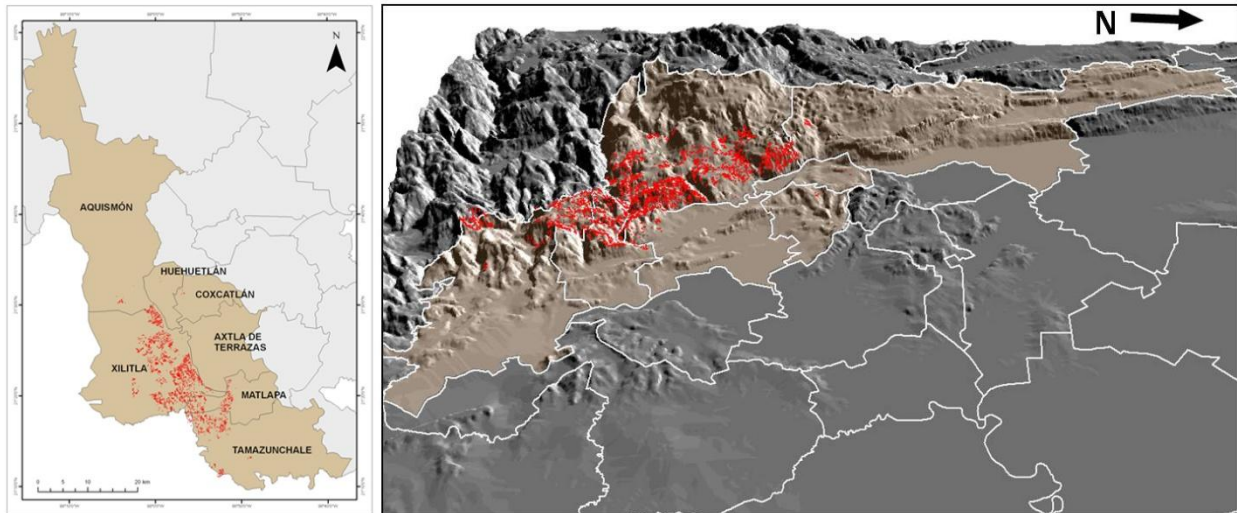


Figura 4.6 Propagación de la *H. hampei* en el año 2004

En cuestiones ambientales, la broca para este año se presentó en sitios entre los 140 y los 1000 msnm, registrándose las más altas infestaciones entre los 200-350 msnm y a los 700 msnm. Estos últimos tienen pendientes medianamente inclinadas (20 y 30°), aunque también existen algunas zonas con pendientes menores a 5°. En cuanto a la dirección de la pendiente, el rango donde se ubica el problema de la broca se amplió a sitios con orientación N-NE, E, SE, S y NW.

La temperatura fluctuó entre los 23° a los 27°C, distribuyéndose homogéneamente los porcentajes de infestación entre estas temperaturas, con infestaciones promedio de 5 a 9% en promedio. Los regímenes pluviométricos del año fueron entre los 1300 hasta los 2300 mm, situándose los niveles más altos entre los más bajos (1300-1500 mm), con una humedad de 75 a 80%. Este año la amplitud en la humedad aumento hasta un 90%, solo que en estos porcentajes se registró poco daño.

El número de productores afectados para el 2004 ascendió a 2,985 (17.2% del total del estado). Este número de productores representa el 59.1% de la PEA de esas comunidades afectadas. Dentro de las

características de estas zonas son que presentan grado de marginación muy alto (25.8% de las comunidades afectadas para este año), alto (67.2%) y solo tres comunidades con media y baja. Tienen índices de aislamiento muy alto, donde más del 50% de estas comunidades están alejadas más de 10 km de algún camino pavimentado (INEGI, 2000).

Los gastos de inversión ascendieron para este año a \$5,884,500 pesos, los cuales provinieron de SAGARPA con \$4,481,500 pesos, Gobierno del Estado de San Luis Potosí aportó \$701,500 pesos y los productores proporcionaron \$701,500 pesos. Este presupuesto sirvió para realizar muestreos y colocación de trampas en 4,776 has, sobre todo en las zonas afectadas; se dieron 2 cursos de capacitación y 114 pláticas de divulgación. Se imprimieron y repartieron 5000 folletos, 200 carteles y se transmitieron 360 spots en la radio local. Se realizó control biológico en 4,766 has y se realizó control cultural, especialmente pepena de frutos dañados y caídos (CESVSLP, 2004).

Para 2004 la producción de café en el estado fue de 15,334 toneladas (16% menos que el año anterior). Xilitla, Tamazunchale y Aquismón son los municipios que más café produjeron, con más de 4000 toneladas. Matlapa contribuyó con 1200 toneladas y el resto de los municipios con menos de 500 toneladas cada uno. Como en años pasados los rendimientos del café de la zona fueron bajos, con un promedio de 0.8 ton/ha. Con esta producción, sus rendimientos y el precio del café generaron un valor a la producción de 13.0 millones de pesos para la región (SIAP, 2004).

En el 2005 la superficie afectada por *H. hampei* fue de 5,566 has (1,000 has más que el año pasado) y que representan 39.6% de la zona cafetalera de la Huasteca. Estos daños se presentaron en los siete municipios cafetaleros del estado, repartiéndose de la siguiente forma: en Xilitla se reportó el 71.9% de las afectaciones para este año, Tamazunchale tuvo 13.5%, Matlapa 9%. Para los cuatro municipios restantes el daño se distribuyó en un 1% de su superficie cafetalera. El daño reportado en Xilitla se repartió en 43 comunidades del municipio, siendo San Antonio Huitziquilico el más afectado, con 13% de infestación en 10 has y El Cañon con 10% de daño en 5 has. Otras comunidades como Cruztitla, Iztacapa y Cuartillo Nuevo, que anteriormente presentaban infestaciones elevadas, para este año redujeron los porcentajes de infestación a menos de 3%. Las demás comunidades presentaron promedios entre 4 y menos de 1%. En Tamazunchale, de las 13 comunidades afectadas Poxantla fue el que reportó mayores daños, con infestaciones de 9% en 40

has, el resto presentó promedio de 6 a 1% de infestación. En el caso de Matlapa, los porcentajes de infestación se redujeron considerablemente, ya que el año pasado se reportaban infestaciones de 20%, para este año la mayoría de las comunidades presentan entre 5 y 1% de infestación. Caso contrario sucedió con Huehuetlán, que años anteriores no presentó presencia, para 2005 Tantocoy 2, Jilim Tantocoy y Chununtzen 1 reportaron infestaciones de 51, 32 y 20% respectivamente, ocasionando daño en cerca de 40 has. El municipio de Coxcatlán, que también había estado ausente de infestaciones altas, reportó en Tampuchón, Tazaquil y Tepozuapan porcentajes de 41, 36 y 26% respectivamente, afectando 35 has aproximadamente. En Aquismón y Axtla de Terrazas las infestaciones se mantuvieron por debajo del 5%.

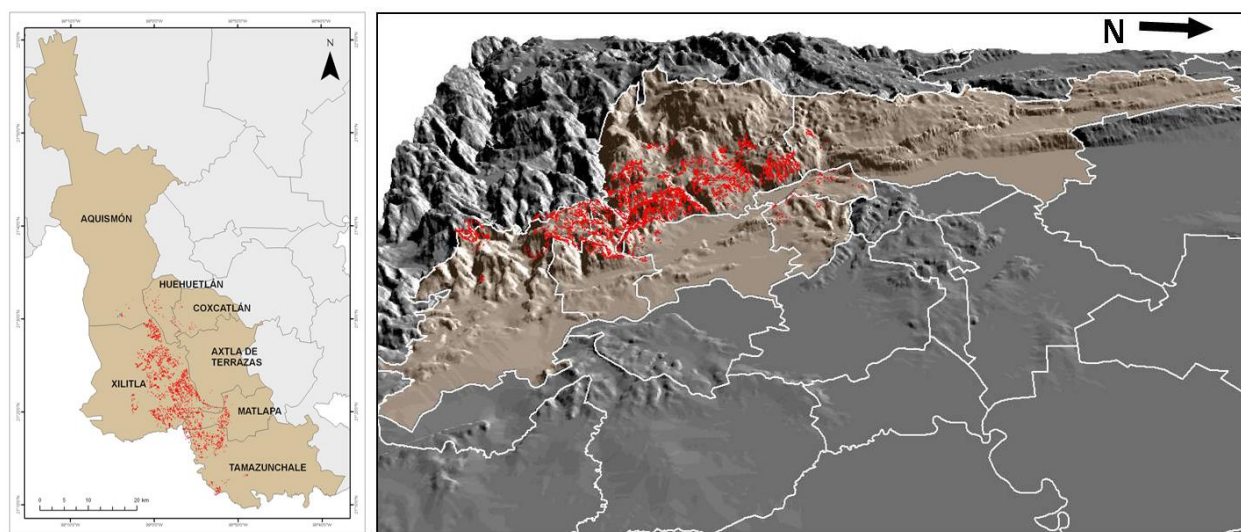


Figura 4.7 Propagación de la *H. hampei* en el año 2005

El distribución de la plaga este año fue parecido al anterior. El rango de altitud que presentó fue entre los 140 hasta los 1060 msnm, manteniendo los niveles más altos entre los 200 y 400 msnm. Se ubicaron en sitios con pendientes diversas, pero concentrándose las zonas más afectadas en las partes sin pendiente (menor a 5°), con direcciones de la ladera ligeramente hacia el NE-E y SE, aunque también se reportan en NW-SW afectaciones pero de menor impacto.

Las temperaturas aumentaron, desde los 22° hasta los 28°, prefiriendo la broca temperaturas entre los 27° y 28°. La precipitación registrada en la RCHP fue de 1700 mm en los regímenes más bajos y hasta los 2500 en los más altos, ubicándose las mayores infestaciones entre los 1900 y 2100 mm, con dalos de 5 y 7% de infestación, mientras que la humedad relativa preferida por la plaga fuera entre los 77 y 81% de humedad.

Los productores afectados por las infestaciones de este año ascendió a 4,800 (27.7% del total del estado). Este número de productores representa el 61% de la población económicamente activa de esas comunidades afectadas. Presentan un alto grado de marginación el 28% de esas comunidades, 64 % alto y 8% marginación media. Están aislados el 80% en más de 5 km de alguna carretera pavimentada. El 23% de las parcelas afectadas las propietarias son mujeres (INEGI, 2005).

Los gastos de inversión para el 2005 fueron de \$4,690,000 pesos, de los cuales SAGARPA contribuyó con \$1,675,000, el Gobierno del Estado \$1,340,000 y los productores incentivaron las acciones con \$1,675,000 pesos. La mayor inversión se realizó en la aplicación de control biológico en 5666 has (45% de la inversión total), se colocaron trampas etológicas en 4,566 has, principalmente en las zonas afectadas, se invirtió en el control cultural cerca de 300 mil pesos (inversión exclusiva de los productores). Además, como medios de divulgación se transmitieron 90 spot de radio, se colocaron 200 carteles, y se realizaron diversos talleres y conferencias para dar a conocer el estatus de la plaga (CESVSLP, 2005).

La producción de café para este año fue de 15,805 toneladas, siendo Aquismón, Tamazunchale y Xilitla los municipios que más producción generaron con más de 4,000 toneladas. Matlapa por su parte tuvo una producción de 1,200 toneladas, mientras que los demás municipios reportaron menos de 500 toneladas de producción. Todos los municipios tuvieron rendimientos de 0.8ton/ha, siendo muy parecidos al año pasado, tanto en producción como en rendimientos. Mientras que el valor de la producción fue de 13.4 millones de pesos para la zona cafetalera de San Luis Potosí (SIAP, 2005).

La Broca de café afectó en el 2006 8,555 has de café, que representa el 60.9% de la superficie cafetalera de todo el estado (2,989 has más que el año pasado). Estos daños se reportan para todos los municipios que se dedican al cultivo del aromático. Xilitla reportó el 55.1% de esos daños, Aquismón el 19% y Tamazunchale el 13%. Estos municipios concentran la superficie dañada para este año, mientras que los cuatro municipios restantes presentan 1% de infestación, y solo Matlapa tuvo 7%. Este año, las comunidades que presentan altos porcentajes de infestación se encuentran en Aquismón, donde Xolmon, San Juanita Tampaxal y Tampaxal Centro con 45, 33 y 16% respectivamente, afectando cerca de 15 has. Las 19 comunidades más de este municipio presentaron infestaciones entre 9 y 1%. El municipio de Coxcatlán, en las comunidades de Tajaquil y Tepozuapan se registró daños de 18% hasta 51% en promedio, afectando a 20 has. De hecho, las 14

comunidades más tuvieron también porcentajes altos, que van entre 5 y 10%. En Huehuetlán, 5 comunidades presentó niveles superiores al 20% con afectaciones a más de 20 has. Por su parte, en Matlapa, solo Pilaxtla tuvo infestaciones mayores al 20%. En el caso de Xilitla y Tamazunchale, que anteriormente presentaba las infestaciones más altas, en este año ninguna de las comunidades con broca de café supero el 5% de infestación (solo la comunidad de Pilateno, Xilitla, que registró un porcentaje de 20%). El porcentaje promedio para toda la zona cafetalera del estado fue de 5.17%.

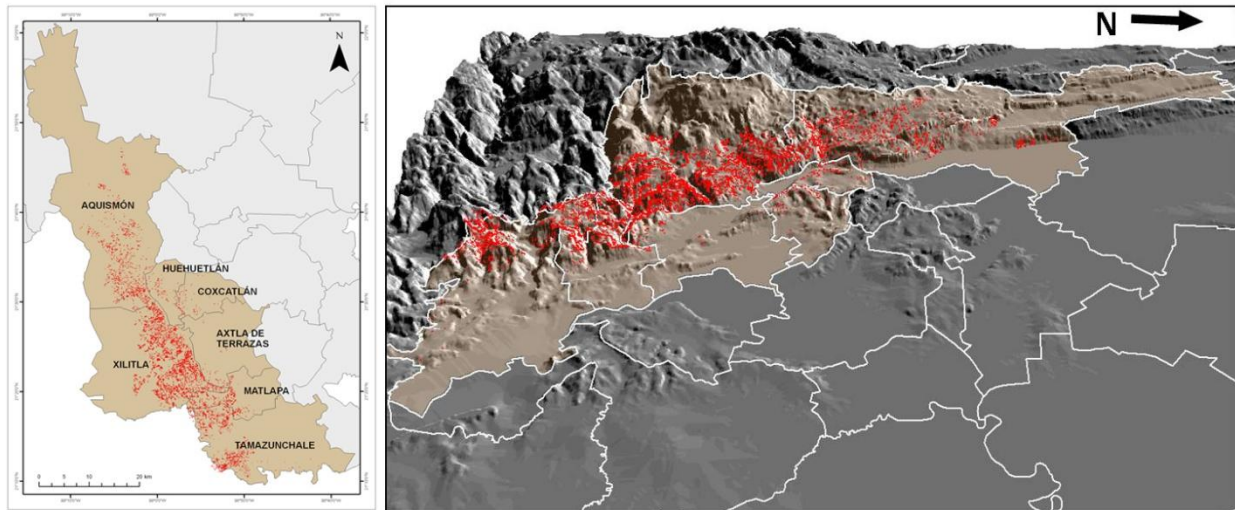


Figura 4.8 Propagación de la *H. hampei* en el año 2006

H. hampei amplió su rango de establecimiento en cuanto a las condiciones de relieve, ya que la altitud que llegó fue entre los 160 y los 1100 msnm. Además, este año se expandió fuertemente hacia las zonas cafetaleras de más al norte (parte norte de Aquismon). Aunque, igual que los años anteriores, las mayores infestaciones se presentaron entre los 100 y 400 msnm, pero ahora en la zona de Huehuetlán, Coxcatlán y Aquismon. Referente a las pendientes donde se encuentra la broca es desde el 0° hasta 45° o más, predominando las mayores infestaciones entre los 15 y 30°. También, la plaga se ubicó casi en todos los lados de la ladera (no se registró en W-SW), predominando la mayor afectación hacia el NE-E y SE-S. Los suelos siguen siendo los mismos de los años pasados, solo que ahora con la expansión hacia el norte, se ubicaron algunas parcelas sobre suelos de tipo vertisol.

Las temperaturas registradas este año fueron entre 22° y 28° siendo las más altas donde se encontró el mayor daño, mientras que los rangos de precipitación se establecieron entre los 1400 y 2300 mm, donde el daño más intenso fue entre los 1700 y 1800 mm. La humedad relativa registrada para este

año fue desde 72 hasta 90%, concentrándose entre 78 y 81% de humedad con infestaciones de 5 a 8%.

El número de productores también se elevó, registrándose daños a poco más de 6,500 (37.5% del total del estado), que son 1700 más que el año pasado. De los productores afectados, el 69% es población económicamente activa dedicada al sector primario. Al igual que datos pasados, la mayor parte de las comunidades se encuentran aisladas de algún tipo de camino pavimentado, y solo el 23% se encuentra a menos de 3 km. El grado de marginación es entre muy alto y alto (93%) y pocas comunidades presentan marginación media, sobre todo los centros urbanos. El 19% de los productores afectados son del sexo femenino (INEGI, 2005).

Los gastos de inversión para el 2006 fueron de \$3,918,000 pesos (\$800,000 menos que el año pasado), de los cuales SAGARPA contribuyó con \$1,306,000 pesos, el Gobierno del Estado \$1,306,000 y los productores la misma cantidad. La mayor inversión se dirigió a la revisión y colocación de nuevas (41% del total de la inversión) y la aplicación de control biológico en poco más de 6000 has (34% de la inversión total). Se realizó control cultural en 6000 has afectadas y se reactivo el control legal. Además, como medios de divulgación se transmitieron spot de radio, se colocaron carteles, y se realizaron diversos talleres y conferencias para dar a conocer el estatus de la plaga (CESVSLP, 2006).

Para el 2006, la producción en el estado fue de 15,927 toneladas, muy parecida al año pasado, donde Aquismón, Tamazunchale y Xilitla contribuyeron con poco más de 4,000 toneladas. Este año Aquismón tuvo la mayor producción a pesar de presentar los niveles más altos de infestación. Matlapa generó una producción de 1,300 toneladas y el resto de los municipios menos de 400 toneladas. En cuanto a rendimientos de la producción, para este año fue de 0.8 ton/ha en todos los municipios y generó 15.1 millones de pesos, 12% más que el año pasado (SIAP, 2006).

En 2007, la propagación de la Broca de café llegó a 13,127 ha y que corresponde al 93.5% de las zonas cafetaleras del estado, siendo 4,572 has más que el año pasado. En cuanto a la distribución de las áreas afectadas, anteriormente Xilitla era el que más hectáreas afectadas presentaba, para este 2007 la distribución es más homogénea, donde Xilitla reporta 43.4% de las 13 mil afectadas, Aquismón con el 25.5% y Tamazunchale con el 21%. Matlapa por su parte, disminuyó al 5.7% y

Axtla de Terrazas, Huehuetlán y Coxcatlan se mantuvieron en 1%. Para este año, los niveles de infestación por comunidad fueron reducidos considerablemente, ya que en ninguna comunidad de presentaron porcentajes mayores a 10%. En Aquismón, solo tres comunidades presentaron niveles de 7%, mientras que en Axtla de Terrazas, La Cueva reportó 7% de infestación (comunidad que ha registrado porcentajes de 60%). En Coxcatlán y Huehuetlán, se registraron en 1 y 3 comunidades, respectivamente, infestaciones de 9%. Para Xilitla y Tamazunchale, las comunidades dañadas no superaron el 6% de infestación. Para este año, el promedio de toda la región cafetalera de la Huasteca Potosina fue de 2.9% de infestación.

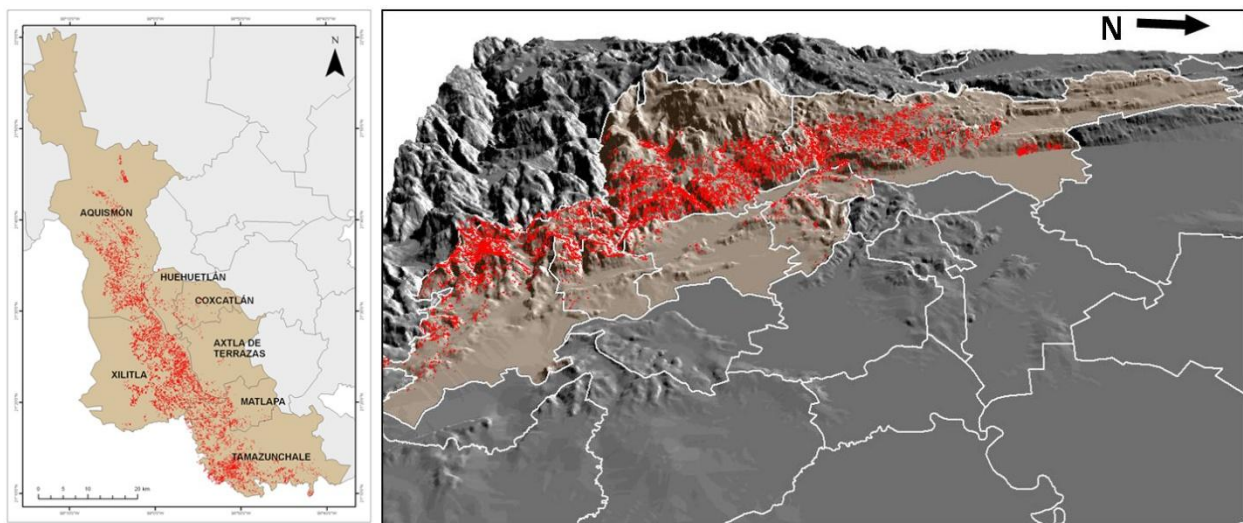


Figura 4.9 Propagación de la *H. hampei* en el año 2007

Por el porcentaje de superficie afectada que presenta la Broca de café para este año, las condiciones ambientales también han ampliado su rango. La altitud donde se puede encontrar va desde los 1250 msnm (parcelas con mayor altura en la región) hasta los 100 msnm (parcelas con menor altura). Aunque igual que el año pasado, los porcentajes más altos siguen establecidos entre los 100 y 500 msnm. En referencia a las pendientes, la broca se puede encontrar desde 0° hasta 50° o más, al igual que la orientación de la pendiente que ya se encuentra en todas direcciones.

Este año el rango de temperatura se amplió de 19° a 27°C en promedio, siendo las temperaturas más altas las preferidas por la broca. El rango pluviométrico fue desde los 1100 mm hasta los 2100, situándose los mayores daños entre las isoyetas de 1100 a 1900 mm. En cuanto a la humedad relativa, este año las afectaciones se encontraron en los más bajos, entre 74 y 79% de humedad, llegando hasta un máximo de 90, sólo que con niveles más inferiores de infestación.

Los productores afectados, al igual que la superficie, se elevó a 9,345 productores (53.9%). En este caso, el número de afectados es respecto a las bases de datos que se manejan en este proyecto y no coinciden con los datos oficiales, por lo que podría esperarse que el número de afectados sea mucho más. De este total, el 65.8% de los productores son PEA dedicada a la agricultura. El 54.6% de estos productores viven alejados más de 10 km de una carretera, el 20% entre 3 y 10 km y 25% menos de 3 km. Las comunidades presentan altos índices de marginación, donde solo los centros urbanos, como Xilitla, Tamazunchale, Matlapa, etc., presentan índice medios y bajos. El 23% de los afectados pertenecen al género femenino (INEGI, 2005).

La inversión realizada para el 2007 fue de 5,184,640 pesos (75% más que el año anterior), los cuales SAGARPA contribuyó con 1,306,000 pesos, el Gobierno del Estado 1,306,000 y los productores aportaron 2,572,640 pesos. La mayor inversión se dirigió a la revisión y colocación de nuevas, en cerca de 8000 has, y la aplicación de control biológico en el mismo número de hectáreas. Se realizó control cultural en áreas afectadas y se continuó con el control legal. Además, como medios de divulgación se transmitieron spot de radio, se colocaron carteles, y se realizaron diversos talleres y conferencias para dar a conocer el estatus de la plaga (CESVSLP, 2007).

En cuanto a la producción de café de este año, el total generado fue de 16,102 toneladas. Donde los tres principales municipios, Xilitla, Aquismón y Tamazunchale contribuyeron con más de 4,000 toneladas, representando el 85.5% de la producción. Matlapa produjo el 7.3% del total y el resto de los municipios reportaron menos de 400 toneladas. Los rendimientos fueron menores que el año pasado, con un 0.7 ton/ha en promedio, lo que generó un valor de la producción de 15.4 millones de pesos para los productores de la región (SIAP, 2007).

4.2 Análisis espacial y estadístico de la plaga

La problemática de la plaga de broca de café en la Huasteca Potosina esta descrita en dos sentidos, uno haciendo referencia al porcentaje de infestación y otro a la superficie afectada. Cada uno de estos ha tenido comportamientos diferenciados, tal vez explicados por las políticas de la campaña contra la broca de café en el estado, ya que su principal objetivo es “confinar y controlar las infestaciones de *H. hampei* por debajo del daño económico (umbral económico), así como evitar su dispersión a zonas cafetaleras sin presencia de plaga”. El primer objetivo se ha cumplido, ya que

para el 2001 que fue el año que mayor porcentaje de infestación se reportó en la zona, con 20% en promedio, la reducción anual fue de 2.4%, y para 2007 se tenía un porcentaje de 2.9% en promedio. Para el 2008, datos de la campaña registró un promedio de 2.5% de infestación en RCHP, y el umbral económico es de 3%. Sin embargo, en el segundo objetivo ha sucedido todo lo contrario, ya que las superficies afectadas tuvieron un incremento de 13.2% por año, considerándose actualmente daño en el 96% de la superficie cafetalera.

Analizando este último problema, la broca de café ha tenido un comportamiento espacial durante la temporalidad que maneja este proyecto, ya que las zonas donde se fueron reportando la aparición de la plaga iban ampliándose cada año. Por ejemplo, la altitud, que en el año 2000 afectó solo a zonas que se encontraban entre los 100 y 400 msnm, para el 2001 se reportó de 100 a 600 msnm, y así sucesivamente, hasta llegar al 2007 donde se reportaba entre los 100 y 1200 msnm (Figura 4.10). En este caso, los cafetales de la región Huasteca se encuentran entre este último rango altitudinal, por lo que se define que en todos los tipos de cultivo, ya sea café de altura o no, existe el problema de la plaga. En el caso de la orientación de la pendiente sucede algo similar, ya que para el 2000 solo se encontraban daños en los cafetos que estuvieran orientados hacia el N-NE, pero con el paso de los años el daño se amplió a todas las direcciones de la ladera (Figura 4.10).

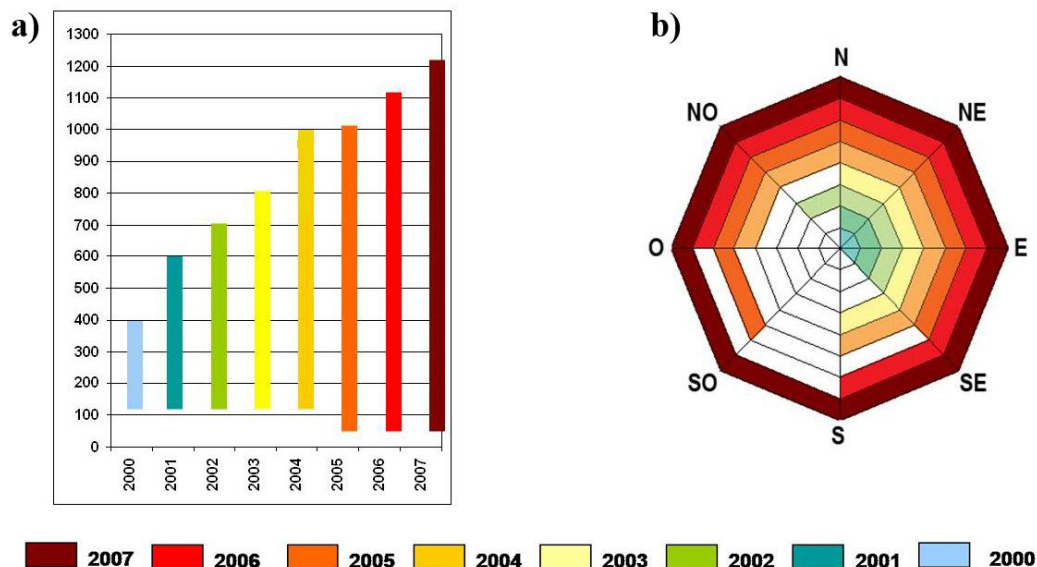


Figura 4.10 Incremento espacial de la broca de café respecto a) altitud y b) orientación de ladera entre 2000 y 2007

También en cuestiones climáticas se tuvo un comportamiento parecido, a pesar de que el clima es una característica dinámica y cambia constantemente, se reportaron incrementos de amplitud en

algunos de ellos. Tal es el caso de la temperatura, que para el 2000 se reportaba presencia de la plaga en sitios con 24° y hasta 26° C, en 2001 en rangos de 24° a 27°, en 2005 de 22° a 28° y para 2007 desde los 19° hasta los 28°. De la misma forma, en los regímenes pluviométricos se registro para 2000 presencia de la plaga en cuatro isoyetas, que para ese año registraban precipitaciones de 2200 a 2500 mm; en 2004 se reportó daño en nueve isoyetas, con precipitaciones en ese año que iban de 1300 a 2100 mm; y para 2007 en 12 isoyetas, con lluvias para ese año que iban de los 1000 mm hasta los 2100 mm. Como se mencionó antes, la cantidad de lluvia registrada por año era distinta, en algunos precipitaba más que en otros, pero las líneas donde se establecen las isoyetas iban ampliándose espacialmente con el paso de los años. Datos iguales se reportan con la humedad relativa, donde en 2000 solo se tenían sitios con 74 a 79% y en 2007 desde 71 hasta 90% de humedad. Tal vez estos datos no sean tan representativos, hablando climáticamente, ya que como se mencionó son cambiantes y dependen de condiciones de carácter más global (presencia de fenómeno de “Niño” o “Niña”, número de ciclones de cada temporada, calentamiento global, etc.), pero geográficamente hubo un incremento en el espacio del fenómeno y en estos sitios es donde cambiaban las condiciones climáticas en cada año.

Algunas de las características ambientales, con menos dinamismo que las climáticas, también tuvieron incrementos espaciales. Por ejemplo, la edafología, que es difícil que cambie cada año, es decir, puede haber pérdida de suelo si se modifica la cubierta vegetal, pero durante varios años va ser el mismo tipo de suelo. En este caso, en los primeros años se registraba presencia de la broca en rendzinas, posteriormente se situó sobre litosoles y por último a estos mismo pero con condiciones de textura y fases diferentes. En el tipo de roca, sucedió algo similar, donde las primeras afectaciones se ubicaron sobre rocas calizas, ampliándose en el último año hasta areniscas (que se ubican en la parte más baja) y lutitas. Posiblemente, estas características no sean elementos contundentes para entender la propagación de la plaga, pero se les puede establecer como indicadores indirectos que están asociados a condiciones que si son explicativas del fenómeno. Además, si se trata de entender la propagación en espacio y tiempo de la broca de café, se debe tomar todos los elementos que integren ese espacio, para así llegar a una investigación más holística.

A pesar de que la plaga tuvo una expansión espacial en la región cafetalera durante estos años, el comportamiento de la broca fue más o menos homogéneo, es decir, los niveles de infestación más

altos se mantuvieron en rangos específicos. Por ejemplo, los sitios con temperaturas mayores a 27° fueron los que registraron el mayor porcentaje de infestación en todos los años, siendo este superior al 10%. Los rangos entre 8.1 a 10% de infestación se presentaron en temperaturas que van de los 25° a 26°, mientras que los niveles de infestación se situaron en lugares con temperaturas menores a las 20°. En la variable humedad (relativa) la plaga prefirió los sitios con humedad entre los 76 y 83%, con infestaciones superiores al 10%. Las infestaciones que tuvieron entre 8 y 10%, se ubicaron en sitios con humedad entre 74 y 76%, y los sitios que registraron en promedio 2% de infestación, tuvieron humedad de menor a 71% y mayor a 89% (Cuadro 4.1). Estas dos variables son fundamentales para la propagación y reproducción de la broca de café, según la literatura, por lo que los límites entre estos fueron muy bien definidos. También en otras variables la broca de café tuvo un comportamiento dirigido, en el caso de la precipitación, los sitios que reportaron entre 1900 a 2500 mm fueron los que históricamente presentaron problemas graves de infestación, con más de 10% en promedio. Los sitios con regímenes pluviométricos entre 1800 y 1900 mm registraron infestaciones entre 8 y 10%. Los sitios con menos daños fueron los que presentaron lluvias menores a los 1100 mm anuales, con infestaciones de 2 a 4%, mientras que los que tuvieron menos de 2% de infestación son donde precipito más de 2500 mm al año.

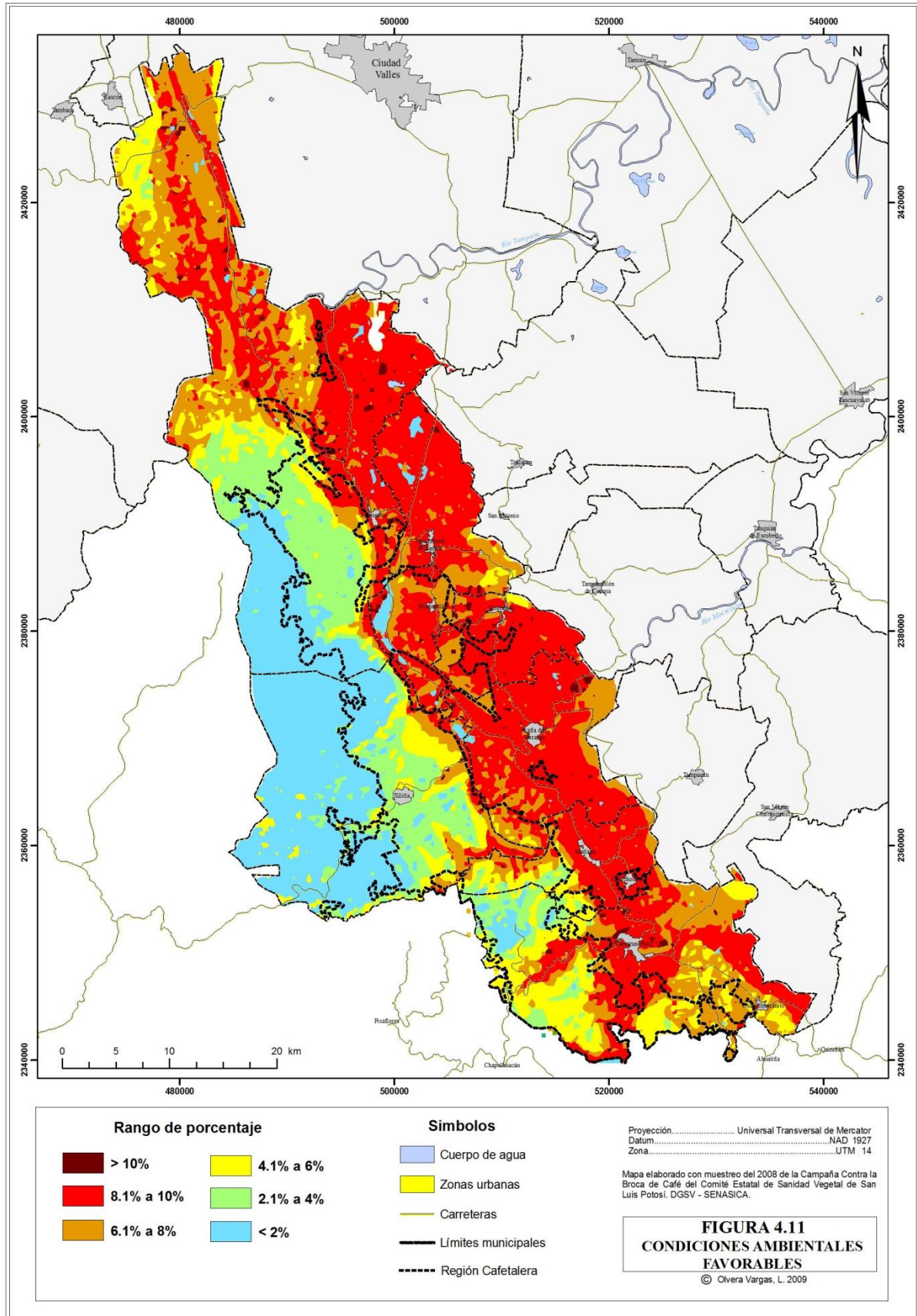
Cuadro 4.1 Porcentajes de infestación de la Broca de café respecto a las condiciones ambientales.

Rango de porcentajes	Temperatura	Humedad	Precipitación	Altitud	Orientación	Sequía
> 10%	> 27°	76 - 83%	1900 - 2500	200 - 300	NE- E	Leve
8.1 a 10%	25° - 26°	74 - 76%	1800 - 1900	< 200 y 300 - 400	N - NE - E	Leve
6.1 a 8%	24° - 25°	72 - 74%	1300 - 1800	400 - 700	NE - SE	Leve
4.1 a 6%	22° - 24°	84 - 88%	1100 - 1300	700 - 1000	NW	Fuerte
2.1 a 4%	20° - 22°	71 y 89%	< 1100	1000 -1100	S y W	Fuerte
< 2%	< 20°	< 71 y > 89%	> 2500	> 1100	SW	Muy fuerte

En el caso de la altitud, el comportamiento de la plaga también mantuvo un comportamiento dirigido, ya que los sitios con mayor porcentaje de infestación (10%) fueron los que se encontraban en altitudes entre los 200 y 300 msnm. Sitios menores a los 200 msnm y entre 300 y 400 msnm reportaron porcentajes promedio de 8 a 10%. De esta altitud hasta los 700 msnm, se reportaron las infestaciones de 6 a 8%, mientras que los que tuvieron menos daño fueron los sitios con altitud mayor a los 1100 msnm. De hecho se llegó a reportar broca en los cafetos más altos de la región (1240 msnm) pero los daños no sobrepasaron el 1% de infestación. En este sentido, la pendiente de la ladera presentó un comportamiento respecto al nivel de infestación, encontrándose confort en los

sitios con laderas que miraban hacia el N-NE, caso contrario, los sitios con menos daño fueron los orientados hacia el SW. Este comportamiento podría explicarse a que los sitios con orientación hacia el NE reciben mucho más humedad proveniente del Golfo de México que los que se encuentran en la parte de sotavento.

Con las condiciones ambientales reconocidas, y asociando a ellas los porcentajes de infestación promedio, se puede hacer una representación a toda la Región Cafetalera de la Huasteca Potosina, a través de la extrapolación de los datos. La Figura 4.11 es el mapa resultado del proceso de extrapolado del Cuadro 4.1, donde a través de decisión multicriterio se creó un escenario simulado de los sitios que tienen dichas características. En este caso, las partes ubicadas al oriente de los municipios cafetaleros, son los que cubren mayores características favorables y por consecuente existe mayor posibilidad a que presenten infestaciones altas de broca de café altas. Estas zonas coinciden con las partes bajas de la región, que históricamente son donde se han reportado los niveles más altos de infestación. Existe un patrón establecido entre la altitud y la temperatura, ya que mientras se incrementan los pisos altitudinales, la infestación se reduce, cuando menos espacialmente. En el caso de los municipios con mayor superficie cafetalera, Xilitla y Tamazunchale, existen condiciones favorables a presentar altos índices de infestación en gran parte de su superficie cafetalera. En el primero de ellos, el 35% de los cafetales tiene las condiciones de presentar infestaciones mayores a 6%, un 40% podría tener problemas de 2 hasta 6% de infestación y el resto con infestaciones muy bajas (<2 %), estas últimas coinciden con los sitios que presentan mayor altitud y por consecuente menor temperatura, indispensable para la óptima reproducción de la plaga. En el caso de Tamazunchale, las partes más bajas y las vertientes donde confluyen los principales ríos, son los sitios que reúnen las condiciones para presentar infestaciones superiores al 6% y que representa el 43% de sus zonas cafetaleras. Los lugares con posibles infestaciones de 4 a 6%, cubren el 35% de las parcelas del municipio, que junto con las otras, sumarían un total de 78% por arriba de 4% de infestación, que es superior a lo establecido como umbral económico. Al igual que Xilitla, las partes más altas son las que tienen la posibilidad de presentar infestaciones menores al 2%. En el caso del municipio de Aquismón, los porcentajes de infestación también responden a la altitud, sólo que la superficie que podría ser afectada es de 35% con porcentajes superiores al 4%, el resto de la superficie cafetalera se mantiene por debajo de ese porcentaje.



Los municipios de Huehuetlán, Coxcatlán, Axtla de Terrazas y Matlapa, pueden considerarse como focos importante de infestación y propagación de la broca de café, ya que casi el 100% de su superficie cafetalera presenta las condiciones para que se registren porcentajes de infestación superiores al 6% (a excepción de Matlapa que tiene 68%). Además, en estos municipios es donde históricamente se han reportado los más altos de infestación, llegando a niveles de 50 y hasta 70% de infestación.

Paralelo al análisis espacial se realizó pruebas estadísticas de cada una de las variables ambientales, climáticas y de medidas de control. Para el caso de las variables cuantitativas, se aplicó un coeficiente de correlación. Las variables fueron temperatura, humedad, altitud, precipitación y el NDVI (se generó de prueba con imágenes NOAA-AVHRR), las cuales se correlacionaron con el porcentaje de infestación. Para los dos últimos los coeficientes fueron menores al 0.1 y con niveles de significancia superiores al 0.5. La variable con mayor correlación con el porcentaje de infestación fue la temperatura, ya que presentó un coeficiente positivo de 0.9 y con significancia < 0.5 , con una media de 23.03°C y una desviación estándar de 1.54, seguido de la altitud que tuvo un coeficiente negativo de 0.7 y con nivel de significancia < 0.5 , con una media de 617 msnm y desviación de 241. En el caso de la Humedad la correlación fue menor (-0.48212) pero con un nivel de significancia permisible, presentando una media de 80.2% y desviación de 4.45 (Cuadro 4.2). El número de observaciones para la correlación fue de 4,275, que difiere al número de parcelas totales de la región, esto se debe a que sólo se incluyeron las que tenían el dato de infestación.

Cuadro 4.2 Coeficiente de correlación Pearson de variables ambientales e infestación

	Infestación	Temperatura	Humedad	Altitud
Infestación	1.0000	0.90234 0.0004	-0.48212 0.0964	-0.73282 0.0044
Temperatura	0.90234 0.0004	1.0000	-0.51940 < 0.0001	-0.84607 < 0.0001
Humedad	-0.48212 0.0964	-0.51940 < 0.0001	1.0000	0.48156 < 0.0001
Altitud	-0.73282 0.0044	-0.84607 < 0.0001	0.48156 < 0.0001	1.0000

Al igual que los resultados del análisis espacial, estas tres variables tienen una gran influencia en los porcentajes de infestación. Si aumenta la temperatura, la infestación también, si la altitud disminuye

el porcentaje de daño aumenta y si la humedad disminuye (70% como nivel inferior) aumenta la infestación. Además, estas características, están reportadas en la literatura como variables decisivas en la problemática de la broca de café. Con este tipo de coeficiente, se correlaciono la superficie de cada parcela con los niveles de infestación, donde los resultados no mostraron ninguna relación entre el tamaño y la densidad de la plaga.

Para las variables que tenían datos cualitativos (clima, suelos, geología, vegetación y sequia), se convirtieron en datos nominales, dando diferentes rangos para cada temática, posteriormente se realizó un análisis de regresión logística y ninguno de ellos presentó significancia con el fenómeno de infestación. Esta nula correlación entre estas variables y la problemática se debe a que la cartografía está generalizada y la escala es diferente para cada uno o porque estadísticamente no existe correlación. En el caso del análisis espacial, si existen relaciones entre la mayoría de las variables y la problemática, una de las ventajas de usar aspectos espaciales.

Se estableció una correlación entre los métodos de control y las capacitaciones que reciben los productores con los niveles de infestación, tomando como base la superficie que recibió control biológico, cultural o etológico. Como se observa en el Cuadro 4.3, la infestación no tiene coeficientes de correlación representativos, ya que en los tres casos son menores a 0.05 (negativas o positivas) y su nivel de significancia tampoco es alto. Sin embargo, la relación existe entre los tipos de controles, por ejemplo, entre el control cultural y la ubicación de trampas tienen correlación cercana a 1.0 con un nivel de significancia <0.0001 . El control biológico y el etológico presentan un coeficiente de 0.7070 con una significancia <0.0001 . Las estadísticas fueron elaboradas con 4,150 datos. Estas correlaciones entre los métodos de control, se debe a que la campaña contra la broca de café y los propios productores combinan métodos, ya sea uno o hasta tres, como medidas para evitar la propagación y aumentar la infestación dentro de sus parcelas. Aunque no todas las parcelas reciben control cada año, cerca del 50% del total de la zona cafetalera recibe algún tipo de control. Para 2008, se controlo cerca de 10,000 has, que representan el 74% del total de la superficie cultivada con café.

Cuadro 4.3 Coeficiente de correlación Pearson entre métodos de control e infestación

	Infestación	C. cultural	C. etológico	C. biológico
Infestación	1.0000	-0.05418 0.0056	-0.02713 0.1657	0.00388 0.8430
C. cultural	-0.05418 0.0056	1.0000	0.85426 < 0.0001	0.66798 < 0.0001
C. etológico	-0.02713 0.1657	0.85426 < 0.0001	1.0000	0.70706 < 0.0001
C. biológico	0.00388 0.8430	0.66798 < 0.0001	0.70706 < 0.0001	1.0000

En cambio un modelo de regresión logística, elaborado con los datos de control y cambiando los datos a nominal, demostraron que si existe una relación con el proceso de infestación, no con el porcentaje numérico como tal, sino con el fenómeno de la plaga de la broca de café. Especialmente, el control biológico y cultural presentan una correlación alta y que es altamente significativa (<0.0001). Para el modelo estadístico propuesto, se trato de incluir datos de control dentro del modelo, solo que por su falta de correlación no se incluyeron. Sin embargo, estas relaciones encontradas servirían para mejorar el análisis espacial, ya que en él no se incluyeron datos de control y capacitación.

Las capacitaciones a los productores es considerado dentro del presupuesto anual para el control de la plaga. Estos consisten en talleres donde se les enseña a elaborar y colocar trampas, a realizar pepenas de forma adecuadas y hasta asperjar hongos para el control biológico. Dentro del análisis estadístico, se demuestra que son medios efectivos de control, ya que con los resultados del análisis de regresión logística, la capacitación en el muestreo, en el control biológico y cultural, tienen una correlación alta con el fenómeno de infestación y que además es altamente significativa (<0.05). En el caso de la capacitación en el trampeo y el propio control etológico, no tuvieron correlación ni con el fenómeno de infestación ni con los porcentajes. Pero observaciones de campo demuestran que es un medio efectivo de captura de broca de café, ya que en parcelas con altas densidades de plaga, hay un alto capacidad de captura. Estadísticamente no es representativo, pero su aplicación en el campo si lo es.

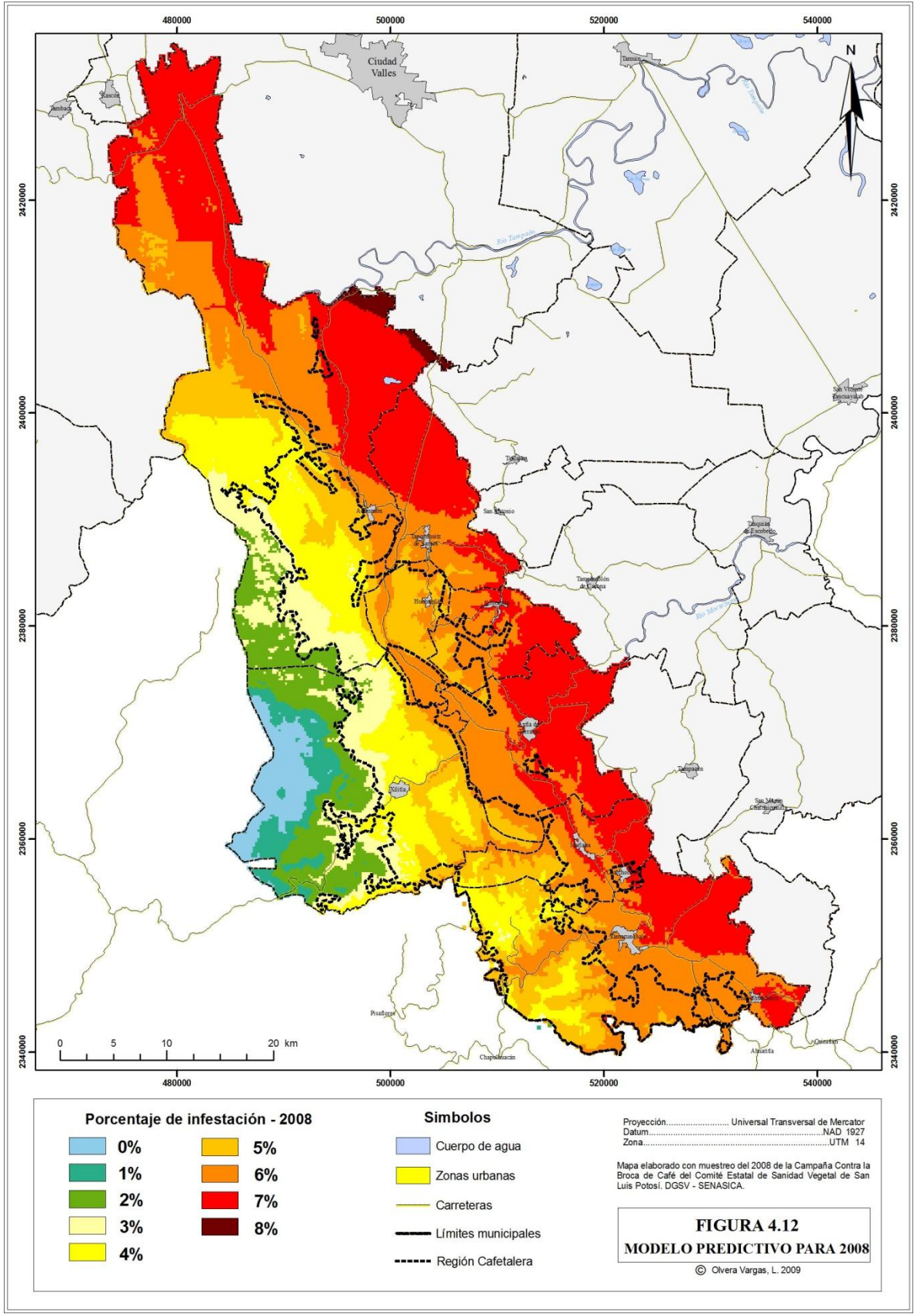
4.3 Modelo de alerta para la broca de café

Una vez identificadas las variables que estaban más correlacionadas con la problemática de infestación, se prosiguió a hacer un análisis de regresión múltiple. Las variables con coeficientes altos fueron la temperatura, altitud y humedad relativa. Los datos se ingresaron al programa estadístico con diferentes procesos, ya sea que todos los datos se ingresaban o se hacían promedios según la temática de cada variable, con el fin de obtener el mejor modelo que se adaptara a la realidad. El modelo de regresión fue diseñado a partir de 4,267 datos, que representa información desde el año 2000 hasta el 2007. Los resultados se representan en la siguiente fórmula:

$$Y_i (\text{infestación}) = 17.1766 + 0.0027 * (\text{altitud}) + 0.1068 * (\text{temperatura}) + 0.1020 * (\text{humedad})$$

Esta fórmula se ingreso a un sistema de información geográfica, donde las variables independientes fueron mapas calculados de temperatura y humedad. El año que se modelo fue 2008, el cual posteriormente fue comparado con los datos de muestreos de ese año. Para las variables de temperatura y humedad se obtuvieron datos de 94 estaciones meteorológicas de la Huasteca Potosina y sus estados circunvecinos, del año 2008, los cuales se adaptaron a las isotermas y líneas de humedad ya establecidas en la cartografía, sólo el dato fue el que cambio. Esto se hizo por la falta de información cartográfica sobre aspectos climáticos. La cartografía fue ingresada al Grid donde se encuentra el modelo de regresión, y donde las variables independientes son la cartografía elaborado para el 2008. De esta forma se obtuvo el porcentaje de infestación calculado el cual esta representado en la Figura 4.12.

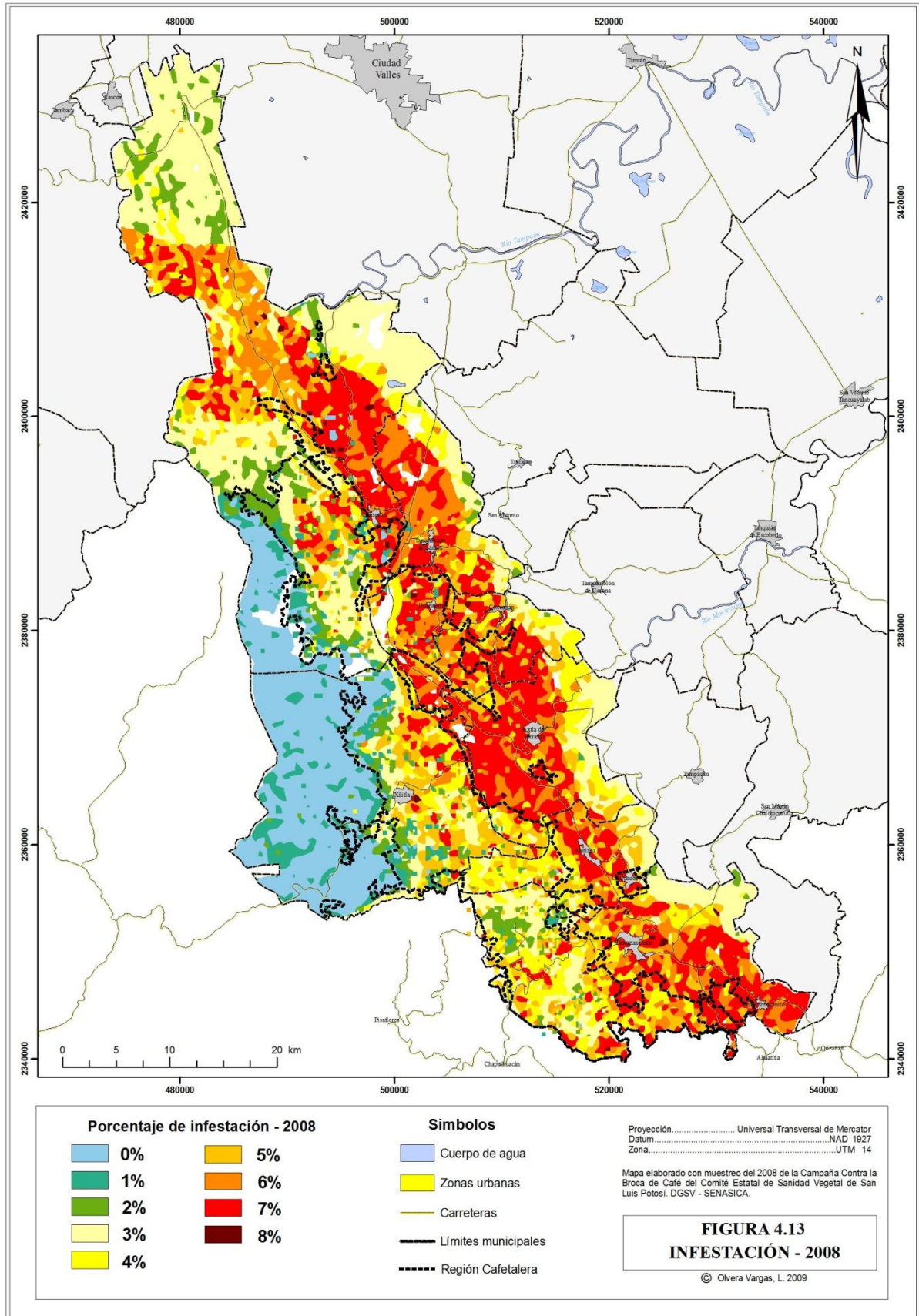
El modelo muestra, al igual que el mapa basado en condiciones ambientales, existe una relación muy directa con la altitud y la temperatura, ya que la parte oriente de los municipios cafetaleros son los que tienen la posibilidad de presentar mayores problemas de infestación. En el caso contrario, las partes más altas ubicadas al occidente de estos municipios son los que tienen menos posibilidad de presentar porcentajes altos de broca de café. Los municipios de Xilitla, Tamazunchale y Aquismón, que son los que tienen mayor número de superficie y productores, tienen infestaciones superiores al 4% en casi la totalidad de su superficie, principalmente Aquismón, que tiene lo porcentajes más altos con 7 y hasta 8% de posibilidad.



Al igual que las condiciones favorables, los municipios de Coxcatlán, Huehuetlán, Axtla de Terrazas y Matlapa, son los que tienen porcentajes superiores al 5%, lo cual se debe a que la altitud es baja y las temperaturas son idóneas para que el insecto se desarrolle. De hecho, estas partes bajas, como se menciono anteriormente, pueden ser focos importantes de infestación, por lo que debe darse mayor atención a estas áreas. Este modelo fue comparado con los datos del 2008 real, es decir con la información que recopiló la campaña contra la broca de café para ese año (Figura 4.13). De esta forma se obtuvo la confiabilidad del modelo de regresión en el SIG.

En primer lugar, la infestación para 2008 se concentró en los tres principales municipios cafetaleros: Xilitla, Tamazunchale, Aquismón. En el primero, fue donde se reportó mayor porcentaje de infestación, con 12%. Al igual que el modelo estadístico y espacial, las partes bajas de los municipios cafetaleros son los que reportan las infestaciones más altas, aunque también no se reportan ningún tipo de daño en las partes altas. En el caso de Aquismón, cerca del 35% de su superficie presenta afectaciones superiores al 6%, lo que se considera grave, ya que este fue el último municipio en reportarse broca y había mantenido los niveles de infestación por debajo del umbral económico. Los municipios con menor superficie, ubicados en las partes bajas, presentan en promedio infestaciones de 4 a 6%.

Las Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 se representaron a nivel municipal, de hecho el cálculo de interpolación y la retícula fue diseñada con los límites de los ocho municipios cafetaleros. Sin embargo, la región cafetalera donde se concentra las parcelas es otra, la cual está marcada en dichas figuras con una línea punteada. Esto es porque los mapas, tratan de representar un mismo comportamiento de la plaga y parecen distintos o poco parecidos. Por ello, se extrajo solamente las parcelas, a través del padrón cafetalero nacional del SIAP. Esto se realizó con los tres mapas. En el caso de la relación entre la infestación reportada en el 2008 y las condiciones ambientales hubo una coincidencia en el 55.09% de los datos, es decir, que de las condiciones que indicaba 5%, en el 2008 presentó ese porcentaje de infestación. En el caso del modelo estadístico existió una relación del 65% entre lo predicho con el modelo y el porcentaje real de infestación.



5. CONCLUSIONES

1. El manejo integrado de la broca de café, compuesto por los diferentes métodos de control, ha disminuido los niveles de infestación en casi toda la zona cafetalera de San Luis Potosí, con una reducción anual del 2.4% en ocho años, teniendo para el 2008 un porcentaje de infestación de 2.5%, cifra que se encuentra por debajo del umbral económico especificado en el manual operativo de la campaña contra broca de café. Es así, que las estrategias implementadas cumplen con lo establecido en la NOM-002-FITO-200, en el sentido de regular las infestaciones de la plaga, manteniendo dentro de la legalidad la inocuidad del sistema producto café.
2. La superficie afectada por la presencia de la broca de café en la región ha tenido un incremento anual del 13.2%, entre el periodo del 2000 al 2008, con una total de afectación para este último año del 96%, que representa 13 477 ha. Las acciones que hasta ahora se realizan para el combate de la plaga no han tenido impacto en los proceso de erradicación y reducción de áreas infestadas, lo que representa una preocupación en aspectos de sanidad del cultivo.
- 3.

Algunas condiciones físicas-climáticas (altura, precipitación, temperatura, humedad, entre otras.) y de manejo del cultivo son la clave para poder predecir posibles brotes de plaga.

El manejo integrado de la broca de café se ha quedado solo en la fase de control, por lo que es necesario que se integre a este enfoque la dimensión espacial, y así poder escalar a la fase de prevención.

Los rendimientos del café potosino no son altos (1,500 kg/ha), si se agregan los efectos de plagas y/o enfermedades, se tienen el peligro de que el cultivo en la zona desaparezca o se transforme. Por

esto, es importante que las instituciones inviertan en la investigación, en la protección y en el desarrollo de este importante cultivo.

6. REFERENCIAS USADAS

- Alejo, L. 2000. Impacto del daño ocasionado por la broca de café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en el beneficio húmedo de la región de Huastucos, Veracruz. Tesis de licenciatura. Centro Regional Universitario Oriente. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Alejo, L. 2007. Control de la Broca de Café en San Luis Potosí, México: Situación actual, problemática y soluciones. En: La Broca de Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques, 2007. J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna (eds.) Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur. México. pp 83-88.
- AMECAFE. 2006. Padrón Nacional de Cafetaleros. Asociación Mexicana de Cadenas Productivas de Café.
- AMECAFE. 2008. Padrón Nacional de Cafetaleros. Reportes y estadísticas. Asociación Mexicana de Cadenas Productivas de Café. En <http://www.spcafe.org.mx>
- Baker, P.S., A. Rivas, R. Balbuena, C. Ley & J.F. Barrera. 1994. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). Entomologia Experimentalis et Applicata 71: 201-209.
- Barrera, J.F. & P.S. Baker. 1987. Biología de la broca del café. En: Resúmenes de Temas Selectos de Biología. CIES, p. 11.
- Barrera, F. 2005. Investigación sobre la broca de café en México: Logros, retos y perspectivas. En Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. J.F. Barrera (ed.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México, 2005, p. 1-13.
- Barrera, F. 2006. La necesidad de un manejo holístico para el manejo de la broca de café. Presentación del 1er. Seminario Latinoamericano de plagas transfronterizas. San Luis Potosí, S.L.P.
- Barrera, F. 2007. Manejo holístico de plagas: más allá del MIP. Memorias del XXX Congreso Nacional de Control Biológico-Simposio de IOBC, Mérida, Yucatán. Noviembre 2007.
- Barrera, F., García, A., Domínguez, V. y Luna, C. 2007. La Broca de Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología, A.C.
- Barrera, J. F., M. Parra Vázquez, O. B. Herrera Hernández, R. Jarquín Gálvez & J. Pohlan. 2004. Plan Estatal de Manejo Agroecológico del Café en Chiapas: Guía hacia una cafecultura sustentable. Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café de Chiapas y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México. 164 p.
- Brycenson, K. P. 1989. The use of Landsat MSS data to determine the distribution of locust eggbeds in the Riverina region of New South Wales. Australia. Int. J. Remote Sensing 10 (11), 1749-1762.

- Burrough, P. 1986. Principles of geographic Information`s System. Oxford University Press.
- Bustillo Pardey, A. E. 2005. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 29 (110): 55-68
- CABI, 2010. Crop Protection Compendium (Alpha). Datasheets. <http://cabi.org/cpc/>
- Cadwell, K. 2009. Panorama del desarrollo y funcionamiento de la plataforma de información de plagas para la extensión y educación (PIPE). United State Departmente of Agriculture, CSREES. ipmPIPE.
- Camilo, J., Olivares, F., Jiménez, H. 2003. Fenología y reproducción de la broca de café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. Agronomía Mesoamericana 14(1): 59-66.
- Campos, O. 2005. Manejo Integrado de la Broca de café en una Finca de producción comercial en Guatemala. En Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. J.F. Barrera (ed.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México, 2005, p. 38-45
- Canet, G. y García, A. 2007. El papel regional de PROMECAFE en investigación, capacitación y control de la Broca de café. Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico de la Caficultura en Centroamérica. En La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. 2007. JFBarrera, A. García, VDomínguez & C. Luna (eds.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México, p. 1-6.
- Castillo, A. & N. Marbán. 1996. Evaluación en laboratorio de dos nematodos Steinernematidos y Heterorhabditidos para el control biológico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferr. Nematropica 26: 101-109.
- CEFP. 2001. El mercado del café en México. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, Camara de Diputados. H. Congreso de la Unión. Clave de proyecto: CEFP/054/2001
- CENICAFE (2008) Historia de la caficultura en América, en <http://www.cenicafe.org/index.php?menuid=3>
- CESVSLP. 2000. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2000.
- CESVSLP. 2001. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2001.
- CESVSLP. 2002. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2002.
- CESVSLP. 2003. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2003.

- CESVSLP. 2004. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2004.
- CESVSLP. 2005. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2005.
- CESVSLP. 2006. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2006.
- CESVSLP. 2007. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2007.
- CESVSLP. 2008. Informe técnico de la campaña contra Broca de Café. Comité Técnico de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informe 2008.
- Cigliano, M. y Torrusio, S. 2003. Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en Entomología: Aplicación en tunaras y langostas (Orthoptera: Acridoinea). Revista Sociedad Entomológica de Argentina. 62 (1-2): 1-14.
- Cressman, K., (1997). Swarms: A geographic information system for desert locust forecasting. En: Krall S., R. Peveling & D. Da Diallo (eds), New Strategies in Locust Control. Birkhauser Verlag, Basel. Switzerland, pp. 27- 35
- Dalmazzone, S. Perrings, C. y Williamson, M. 2002. Enfermedades y plagas exóticas: una perspectiva económica. Ekonomiaz No. 49, 1º Cuatrimestre.
- Diario Oficial de la Federación. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-006-FITO-1995. Requisitos mínimos aplicables a situaciones generales que deben cumplir los vegetales y productos a importar. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 26 de febrero de 1996.
- Diario Oficial de la Federación. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-002-FITO-2000. Campaña Contra la Broca de Café. 2ª. Sección. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Miércoles 18 de abril de 2001.
- Díaz, O., Silva, M., Monreal, C., Casas, S. 2007. La Broca de café y sus efectos. Universitarios Potosinos. Nueva Época. Año 3, No. 7, Noviembre 2007. pp. 40-45.
- DPF. 2008. Dirección de Protección Fitosanitaria. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. En <http://www.senasica.gob.mx/>
- EPPO. 2007. PQR (EPPO Pest Quarantine and Retrieval System) Paris, Francia. Software PWRversion 4.6.2007-07
- Escamilla, E. (1993) El café cereza en México: tecnología de la producción. Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo.
- ESRI. 2004. Instruction operation. Environmental Systems Research Institute.

- FAO, 1999. Sistemas de Información Geográfica en el Desarrollo Sostenible. Dirección de Investigación, Extensión y Capacitación de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. En: <http://www.fao.org/sd/spdirect/gis/EIgis000.htm>
- FAO, 2009. Normas Internacionales para las Medidas Fitosanitarias. No. 1 a 32. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 473 p.
- Fernández, S. y Cordero, J. 2007. Biología de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio. *Bioagro* 19 (1), Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela. 35-40.
- Ferreira, J., Miranda, J., Paes, V., Ecole, C. y Andrade, G. 2003. Bioecología da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1897) (Coleoptera: Scolytidae), no agroecossistema cafeeiro do cerrado de Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec., Lavras*. V.27, n2, p. 422-431.
- Galindo, G. 2007. Informe Técnico. SAGARPA-2004-CO1-186/A-1
- Galindo, G. Olvera, L. y Contreras, C. 2008. Metodología para determinar zonas de peligro al ataque de la plaga de langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* walter, 1870) apoyados en sensores de alta resolución y SIG. Estudio de caso: la Huasteca Potosina-México. En *Teorías y métodos en geosistemas. Estudios regionales*. Raúl Aguirre Coordinador. Instituto de Geografía de la UNAM, Plaza y Valdez. pp.67-89.
- Galindo, G. y Olvera, L. 2005. Inventario agropecuario en la Huasteca Potosina: primeros resultados en la construcción de cartografía básica y temática para el reordenamiento de las actividades agropecuarias apoyado en PR y SIG. En *Memorias del II Congreso Internacional de Ordenación del territorio del 14 al 126 de septiembre del 2005 en Guadalajara, Jalisco, México*.
- García, L. 2004. Aplicación de análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales. Tesis doctoral. Programa de doctorado de ingeniería ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña.
- García, R. 1986. Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos, p. 45-71. En: E. Leff (Coord.), *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Siglo XXI Editores, S.A. de C.V. México.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. México. 217 p.
- García, R., Olaya, E. 2006. Caracterización de las cadenas de calor y abastecimiento del sector agroindustrial del café. *Cuad. Adm. Bogotá (Colombia)*, 19 (31): 197-217.
- Glowka, L. Burhenne, F. y Syhge, H. 2001. A guide to the Convention on Biological Diversity. IUNC, Gland, Switzerland.
- Gómez, J. 1994. Biología y propagación en laboratorio de la broca de café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) y su parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* Betrem

(Hymenoptera: Bethyridae). Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores – Cuautitlán. UNAM.

- Grilli, M. y Bruno, M. 2002. Aplicación de un SIG para el análisis y modelación de poblaciones de una plaga agrícola. CREAN, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Hernández, A., Arias, E., Grande, J. 2007. Desarrollo del programa de manejo integrado de la Broca del café en El Salvador. PROCAFÉ. En La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. 2007. JFBarrera, A. García, VDomínguez & C. Luna (eds.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México, p. 57-71.
- Herrera, J. y Barreras, A. 2005. Análisis estadísticos de experimentos pecuarios. Manual de procedimientos. Colegio de Posgraduados. Ganadería. Campus Montecillos. México.
- Hielkema, J. U. & F. L. Snijders. 1993. Operational use of Environmental Satellite Remote Sensing and Satellite Communications Technology for Global Food Security and Locust Control. Informe de la FAO, pp.21.
- Hunter, D. 2004. Advances in the control of locusts (Orthoptera: Acrididae) in eastern Australia: from crop protection to preventive control. In Australian Journal of Entomology: Vol. 43, pp. 293-303.
- Hunter-Deveson. 2002. Forecasting and management of migratory pests in Australia in Entomológica SINICA. Vol. 9 No. 4., december 2002, pp. 13-25
- INEGI. 2000. XII Censo general de población y vivienda, 2000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2001. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2000. Edición 2001. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2002a. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2001. Edición 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2002b. Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2003. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2002. Edición 2003. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2004. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2003. Edición 2004. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2005. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2004. Edición 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

- INEGI. 2005b. Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México
- INEGI. 2006. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2005. Edición 2006. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2007. Anuario estadístico del comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2006. Edición 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- ITC, 1997. Ilwis 2.1 for Windows. User's Guide. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede, The Netherlands.
- Johnson, D. 1989. Spatial analysis of the relationship of grasshoppers outbreaks to soils classification. En: Mc Donald LL., Br. Manly, J. A. Lockwood & J. Logan, (eds). Estimation and analysis of insect populations. Springer-Verlag, New York, pp. 357-370.
- Kemp, W. P.; D. Mcneal & M. M. Cigliano. 1996. Geographic Information System (GIS) and Integrated Pest Management of Insects. En: Cunningham, G. L. & Sampson, M. W. (eds), Grasshopper Integrated pest management user handbook. Tech. Bull. 180., US Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Washington D. C, VI.9-1- VI.9-10 pp
- Ku, L. 2001. El café en México: una crisis compartida. Problemas agrícolas en plenitud del neoliberalismo.
- Lecoq M., 2000. How Can Acridid Population Ecology Be Used to Refine Pest Management Strategies?. En: Lockwood J. A., A. V. Latchininsky & M. G. Sergeev (eds.), Grasshoppers and Grassland Health, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 109-130.
- Lecoq M., J. F. Duranton & T. Rachadi. 1997. Towards an integrated strategy for the control of the desert locust. En: Krall S., R. Peveling & D. Da Diallo (eds), New Strategies in Locust Control, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 467- 475.
- López, J. 2005. Sistemas de información geográfica en estudios de geomorfología ambiental y recursos naturales: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Serie Seminarios, 187 p.
- Lugo, J. 1989. Diccionario de geomorfología. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, México.
- Magor, J. I. & J. Pender. 1997. Desert locust forecasters'GIS: a researchers' view. En: Krall S., R. Peveling & D. Da Diallo (eds), New Strategies in Locust Control, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 21- 26.
- Miranda, E., M. Lecoq, J. R. Pierozzi, J. Duranton, J. & M. Batistella. (1996). O gafanhoto do Mato Grosso. BalanVo perspectivas de 4 anos des pesquisas 1992-1996, Montpellier.
- NAPPFAST. 2007. Insect Development Database. The North Carolina State University- APHIS Plant Pest Forest.

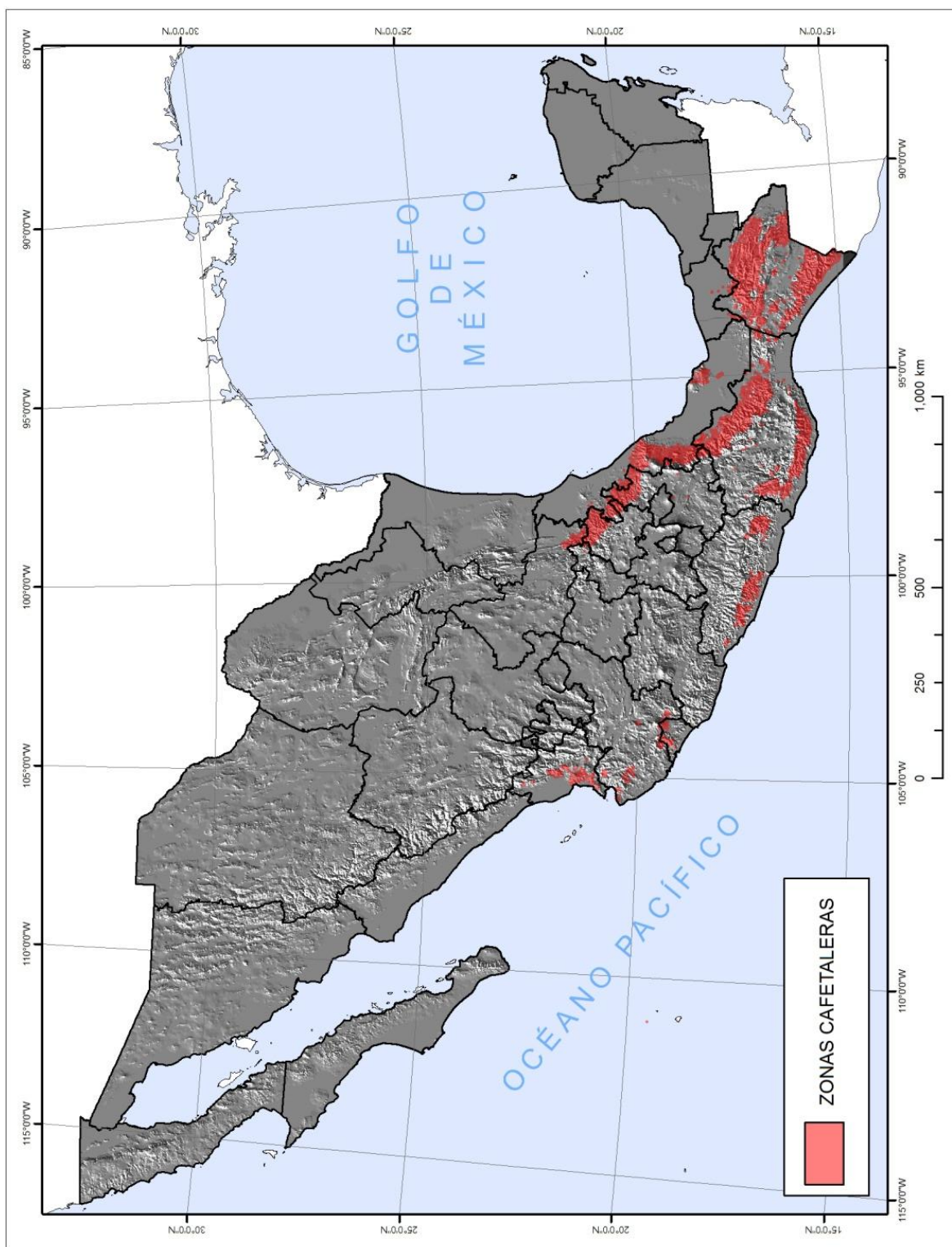
- Nolasco, M. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo: México, DF.
- Oerke, E.-C. 2005. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 1- 13
- Organización Internacional del Café. 2008. Informe sobre el mercado del café. Informe ejecutivo 2008. OIC.
- Organización Internacional del Café. 2009. Estadísticas, en <http://www.ico.org/>
- Pascual, H., Ruiz, B., Cárdenas, S., Gómez, J., Velázquez, A. 2002. Respuesta de la broca del fruto *Hypothenemus hampei* Ferr.: a extractos de cerezas de café utilizados como atrayentes en Tepatlaxco. Veracruz: Sistema de Investigación del Golfo de México.
- Perez, H. 2007. Manejo de la Broca de café en la República de Panamá. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá. En *La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques*. 2007. J. F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna (eds.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México, p. 33-36
- 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.
- Pimentel, D.; McLaughlin, L.; Zepp, A.; Lakitan, B.; Kraus, T.; Kleinman, P.; Vancini, F.; Roach, W.J.; Graap, E.; Keeton, W.S.; Selig, G. 1991. Environmental and economic effects of reducing pesticide use. *BioScience*, 41: 402-409.
- PNUD. 2006. Informe sobre Desarrollo Humano – San Luis Potosí 2005. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Ramírez, M. 1999. Impacto económico-social del control de la broca de café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) mediante el uso de *Bauviera bassiana* en México. Tesis de maestría. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Ramírez, M., González, M., Bello, A., Romero, S. 2007. Campaña nacional contra la Broca de Café en México: Operaciones y perspectivas. En: *La Broca de Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques*, 2007. J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna (eds.) Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur. México. pp 73-81.
- Renard, C. 1993. *La comercialización internacional del café*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Rodríguez, M. 2004. Fiscalidad y Café Mexicano: El Porfiriato y sus estrategias de fomento económico para la producción y comercialización del grano (1970-1910). *Historia mexicana*, Vol. 54, No. 1. Pp. 93-128.
- Rodríguez, M. 2007. Manejo integrado de la Broca de café en Honduras. IHCAFÉ. En *La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques*. 2007. J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez &

- C. Luna (eds.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, México, p. 25-32
- Rojas, J. 2005. Ecología química de la Broca de café y sus parasitoides. En Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. J.F. Barrera (ed.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México, 2005, p. 14-21
 - Romero, J., Cortina, H. Alfonso, H. 2007. Life tables of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Curculionidae : Scolytinae) on three coffee accessions. *Rev. Colomb. Entomol.*, vol.33, no.1, p.10-16.
 - Said-Infante, G. y Zárate de Lara, G. 2005. Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. 8ª Reimpresión. Editorial Trillas.
 - Santos, M. 2000. La naturaleza del espacio. Barcelona: Ariel, 348 p.
 - SAS. 2002. Guía de prácticas. Paquete estadístico.
 - SENASICA. 2003. Manual de organización del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 368 p.
 - SENASICA. 2006. Campaña y programas fitosanitarios. Broca de café. Informe de avances físicos de la campaña, 2006. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.
 - SENASICA. 2008. Campañas nacionales. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. En http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/campanas_nacionales.html
 - SENASICA. 2009. Historia de la sanidad en México. SAGARPA. En <http://www.senasica.gob.mx>
 - SIAFEG. 2004. Avances en el establecimiento de un sistema de alerta fitosanitaria en Guanajuato. Sistema de Alerta Fitosanitaria del Estado de Guanajuato, SAGARPA.
 - SIAP. 2000 - 2008. Producción anual del sistema producto café. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En <http://www.siap.gob.mx>
 - SINAVEF. 2010. Reporte anual 2009. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. SAGARPA-UASLP.
 - Smith, T.R. 1987. Requirement and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information system. *International Journal Geographic Information Systems* 1, 1987.
 - Sweetmore, A.; Rothschild G.; Eden-Green, S. (eds.). 2001. Perspectives on pests: Achievements of research under the UK Department for International Development's Crop Protection Programme, 1996-2000. National Resource International Limited, UK, 125 p.

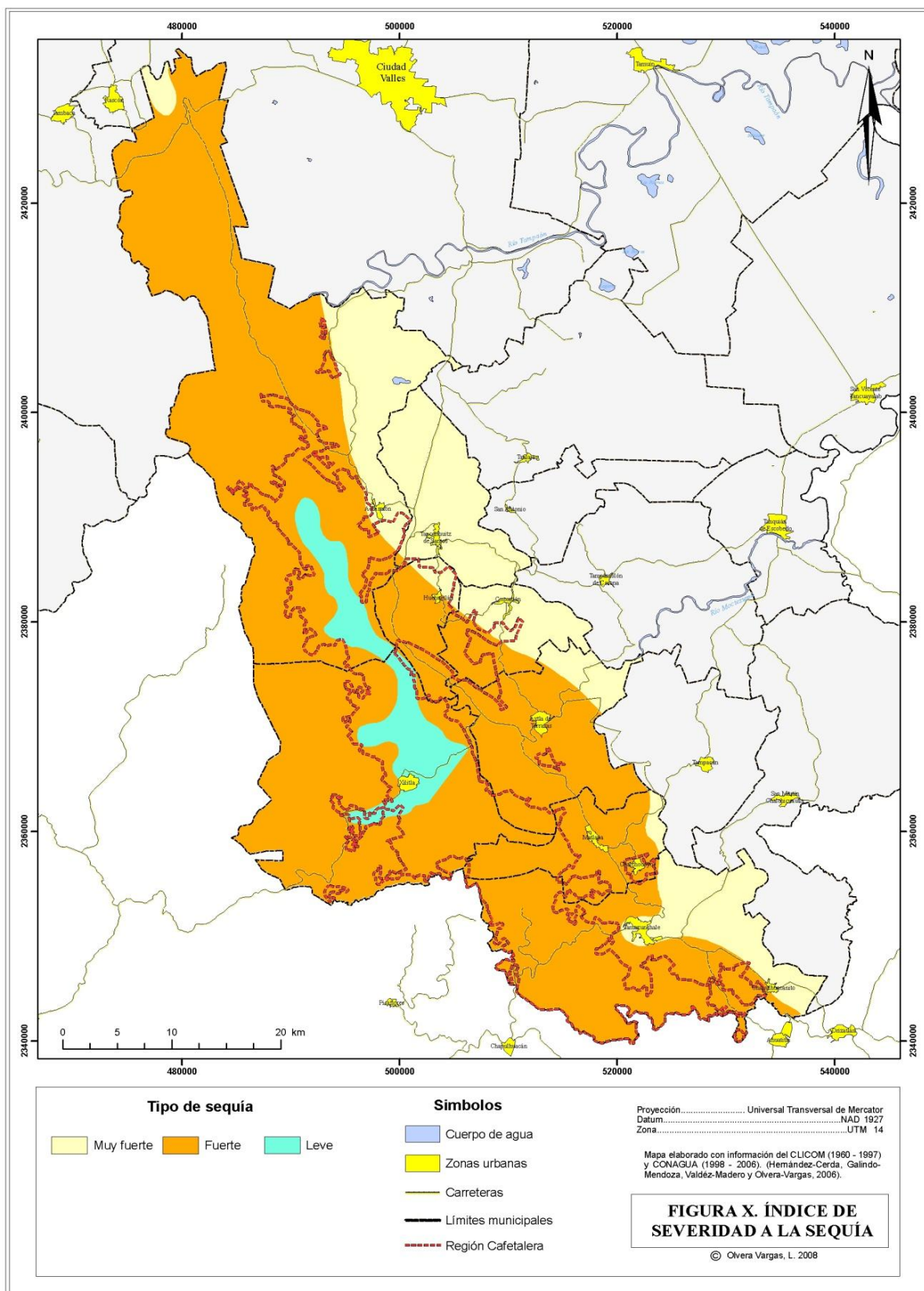
- Velasco, P. 1995. La Broca de café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) su control efectivo aplicando manejo integrado: manual para técnicos y productores. Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Centros Regional. México. 29 p.
- Voss F. & U. Dreiser. 1997. Mapping of desert locust habitats using remote sensing techniques. En: S. Krall, R. Peveling y D. Da Diallo (eds), New Strategies in Locust Control, Birkhauser Verlag Basel. Switzerland, pp. 47- 54.

ANEXOS

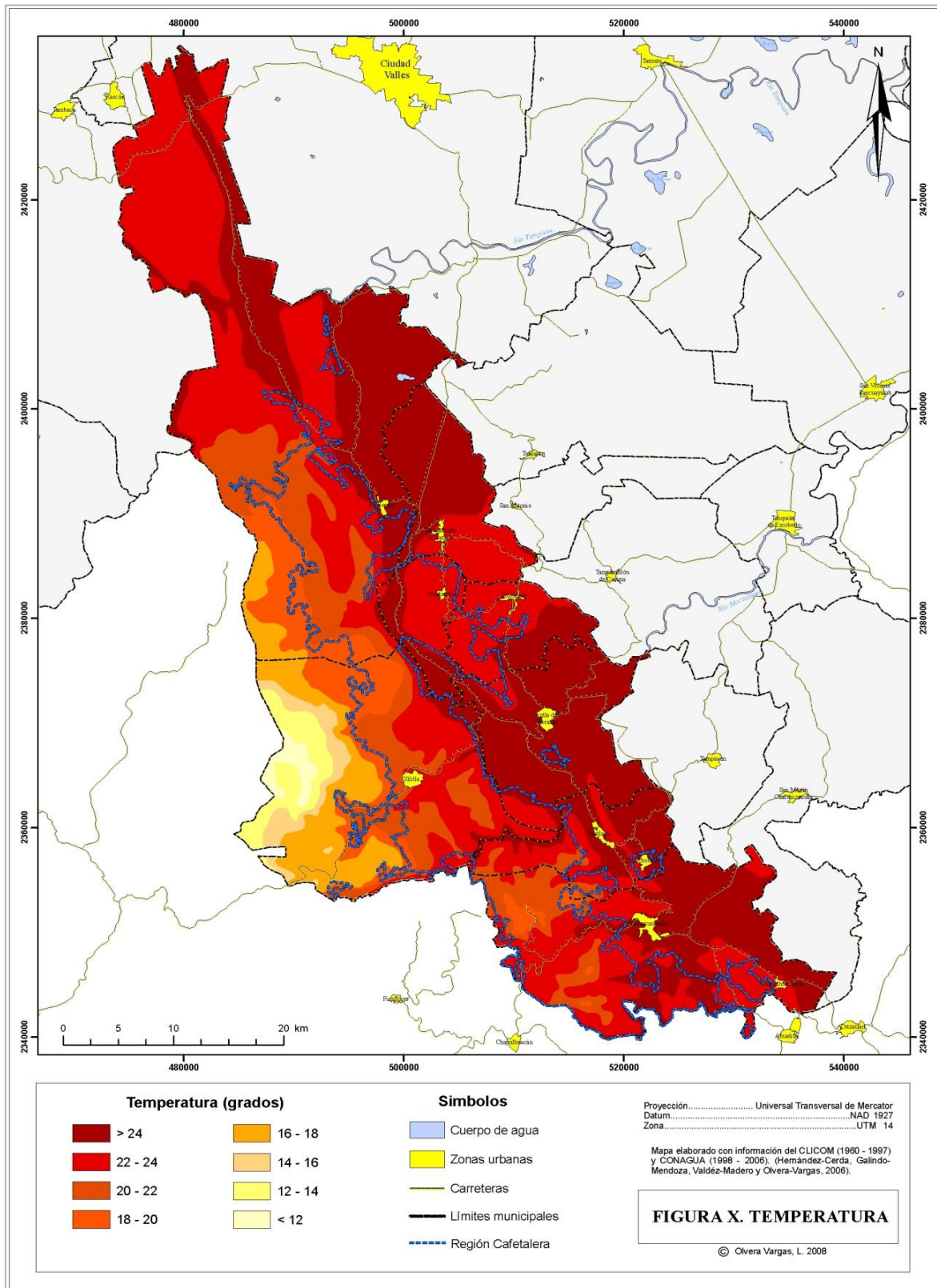
Anexo 1. Ubicación de las zonas cafetaleras a nivel nacional.



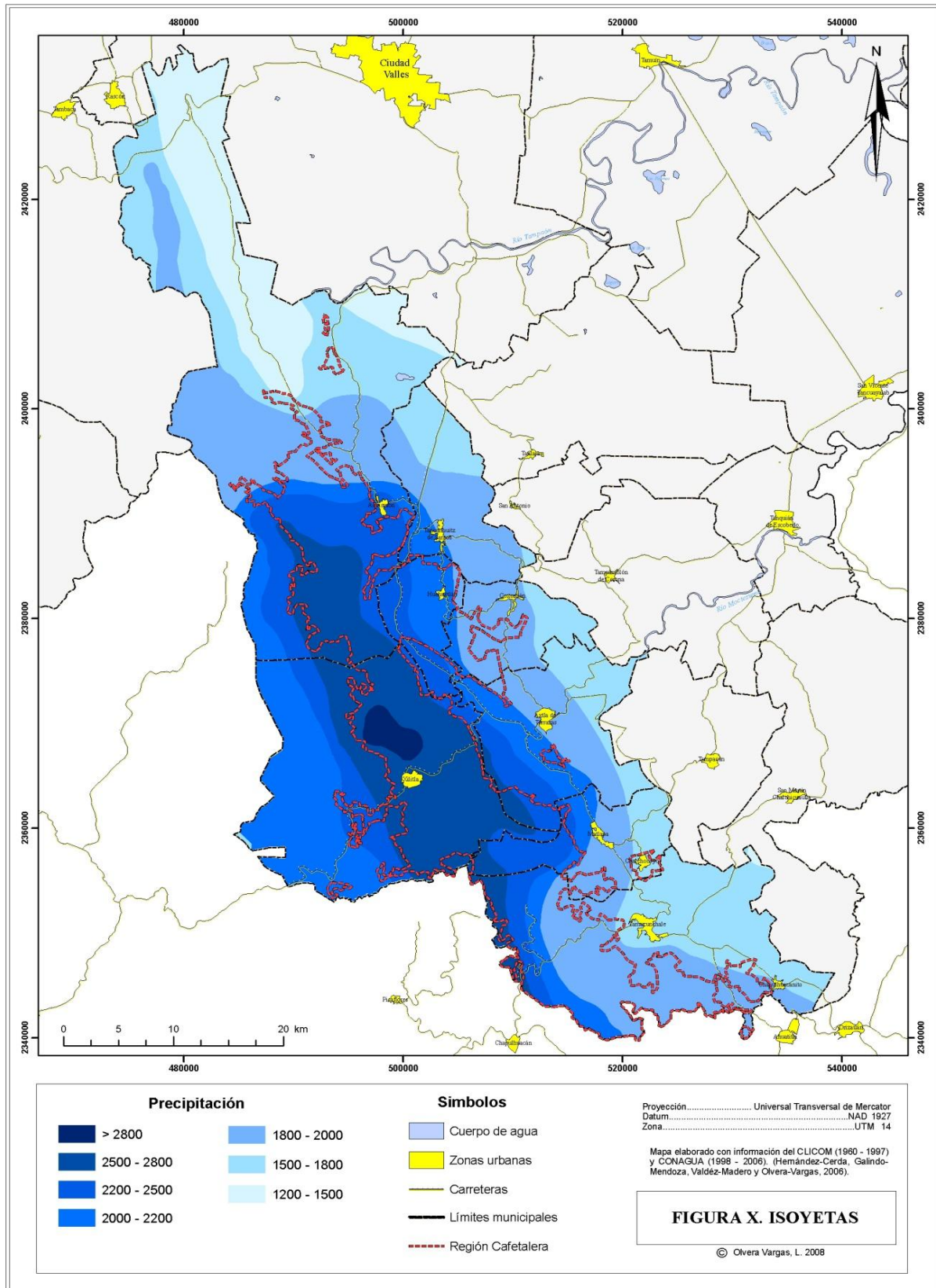
Anexo 2. Índice de severidad a la sequía



Anexo 3. Temperatura de la zona de estudio



Anexo 4. Precipitación de la zona de estudio



Anexo 5. Determinación de zonas vulnerables a la plaga de Broca de café *Hypothenemus hampei* a través de mapeo participativo en la Huasteca Potosina

Resumen

La Huasteca Potosina ha sufrido intensos cambios de uso de suelo en los últimos 50 años. El 90% de la vegetación primaria fue sustituida por grandes extensiones de pastizales y zonas agrícolas. Esto ha provocado que la región presente un grado de susceptibilidad a las plagas. Con la necesidad de conocer y controlar estos fenómenos, la metodología para esta investigación fue hacer uso del conocimiento local de la gente y de herramientas geo-informáticas para ubicar y representar, por medio de cartografía georreferida, esas zonas susceptibles. El Mapeo Participativo se utilizó como método de investigación alternativo, donde las comunidades construyeron sus propios mapas, localizaron y/o evidenciaron, desde su perspectiva, las zonas afectadas por las plagas.

Palabras clave: Mapeo participativo, vulnerabilidad, plagas, SIG

Introducción

La acelerada pérdida de los recursos naturales es uno de los resultados más decisivos de las actividades humanas en la última mitad del siglo XX (Mwalyosi, 1992). Los procesos como la erosión, la desertificación, el cambio climático y la deforestación son producto del mal uso de los recursos naturales (IIASA, 1993); en donde el hombre busca maximizar el beneficio económico con costos ambientales en ocasiones irreversibles (Netting, 1993 citado en Velázquez., 2002). Estos cambios definitivos en el medio ambiente traen consigo problemas más graves, como la presencia de plagas, los cuáles producen costosas pérdidas a la economía del lugar y degradan aún más los ecosistemas.

Es por ello, que resulta imprescindible abordar nuevos paradigmas de investigación que ayuden a evaluar con precisión, exactitud y rapidez los procesos de deterioro provocados por la acción humana (Velázquez et al., 2002). Es en esa línea en que surge el uso de nuevas herramientas, en donde el conocimiento local y científico se articulan para mejorar los métodos de investigación (McCall, 2005). El Mapeo Participativo (MP) y los Sistemas de Información Geográfica Participativa (SIGP) han asumido ese efecto.

La Huasteca Potosina, por sus características geográficas, ha permitido el desarrollo de las actividades agropecuarias intensivas como extensivas. Estas actividades provocaron que se transformaran paisajes selváticos y de sabana en planicies de agostadero y de plantaciones tropicales. Es este proceso se estimulo la pérdida de 88.77% de la vegetación primaria, en aproximadamente 60 años (Reyes, 2004).

Uno de los problemas que trae consigo el deterioro ambiental, favorecida por la actividad del hombre, son la presencia de plagas, que según datos del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí (CESV), la Huasteca es invadida por 12 especies diferentes de plagas.

En la actualidad, son pocas las entidades dedicadas a programas de manejo de plagas en la Huasteca Potosina, que toman en cuenta a la comunidad en sus procesos de control, planeación, evaluación y control del fenómeno. Esto se debe a varios factores: la complejidad que representa enfrentar

múltiples aspectos como el entorno físico y socioeconómico; a la dificultad para hacerse entender a raíz de diferencias culturales y niveles de educación; y el desconocimiento de metodologías de investigación participativas (Rubiano *et al*, 1997).

Es por esto, que en este estudio se propone como metodología alternativa, para la localización de plagas, la participación de la gente. Con el conocimiento local se pueden generar programas para el mejoramiento de los recursos naturales, mapas comunitarios participativos, programas de mitigación, etc., que sean una base fundamental para la gestión de proyectos de desarrollo comunitario.

Objetivos

- Proponer una o varias metodologías participativas para localizar las zonas vulnerables a la plagas de la Broca de café en la Huasteca Potosina.
- Elaborar talleres participativos
- Desarrollar mapas comunitarios

Metodología

Los principales criterios para la selección de las zonas de estudio fueron: comunidades con problemas de plagas (langosta, broca o mosca, según sea el caso), comunidades con interés en participar (recomendadas por Sanidad Vegetal) y comunidades con antecedentes históricos de presencia de plagas.

Con ayuda del Comité de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí se convocó a las autoridades ejidales y productores en cada una de las localidades. En la primera reunión, de carácter inductivo, se habló de los objetivos principales del mapeo y de las metas a las que se pretendía llegar. En un segundo taller se realizó un primer acercamiento de los participantes con los insumos a utilizar (mapas, fotos, GPS, etc). Las reuniones posteriores sirvieron para producir la cartografía.

La propuesta metodológica se basó en cuatro técnicas de mapeo, denominadas cartografía básica, fotointerpretación, GPS y mapa de anaglifos. Para cada una de estas técnicas se necesitó ubicar los límites de cada localidad seleccionada. En cartas topográficas escala 1:50,000 se trazó una poligonal que cubrió las áreas donde la gente obtiene sus recursos, tales como zonas agrícolas, pastizales, cuerpos de agua, selvas o bosques; además de incluir los lugares en donde habitan. Esta delimitación fue elaborada por los habitantes en el segundo taller. Con los límites establecidos, se realizó una ampliación al 200 y 300 %, con el fin de tener características más precisas de la zona. Estos mapas fueron la base para desarrollar cada una de las técnicas.

Cartografía básica. La técnica consistió en colocar acetatos a las cartas ampliadas, las cuáles estaban adheridas al mapa. Con plumones indelebles los habitantes fueron marcando diferentes características de su espacio. Todos los elementos marcados por las comunidades se digitalizaron en una tableta CALCOM[®], se georreferenciaron y se almacenaron en un SIG. Como cartografía auxiliar se utilizó imágenes de satélite, ortofotos impresas y cartas de uso de suelo.

Fotointerpretación. El primer paso consistió en realizar un taller didáctico para el manejo de los estereoscopios y las fotografías aéreas. Cada fotografía fue cubierta por transparencias, con el fin de

que puedan ser marcadas con los plumones indelebles. Las interpretaciones fueron individuales y en ellas se representó diferentes temas. Las fotos interpretadas se escanearon e introdujeron a un SIG. Con puntos GPS, tomados por lo habitantes, se les dio referencia.

GPS. Su función principal fue localizar caminos y veredas, delimitar parcelas, trazar poligonales y ubicar puntos de referencia. Para la aplicación de esta técnica se asesoró a un grupo de personas de cada localidad.

Anaglifos. En el mapa, elaborado con curvas de nivel, se sobrepuso un acetato transparente con *grid*. Se proporcionó a la gente lentes anaglifos (azul y rojo) para observar en tres dimensiones. La interpretación hecha con esta técnica fue introducida en un SIG a través de la digitalización del acetato.

Durante el transcurso de los talleres, también se habló sobre los elementos más importantes de un mapa, tales como, la escala gráfica y numérica, simbología, ubicación del norte, etc.

Resultados

Se realizaron 6 talleres, donde participaron 18 personas, un grupo integrado por 4 mujeres y el resto eran hombres. El número de participantes se incrementó durante los talleres, hasta tener 55 asistentes: 6 mujeres y 49 hombres. Las reuniones se realizaron en la escuela “Niños Héroe” localizada en el centro de la comunidad. Los límites de la comunidad fueron físicos (ríos, parteaguas y cerros), altitudinales (curvas de nivel) y artificiales (linderos de caminos y brechas). Estos límites se realizaron sobre ampliaciones de fotografías aéreas, cartas topográficas y mapa de anaglifos. Los participantes mostraron interés en todos los talleres lo que facilitó la comunicación con el equipo de trabajo, generó confianza y ganas de trabajar: “le tenemos mucho cariño a nuestro café, pero vamos trabajándole todos” (Sra. Catrina).



La comunidad El Naranjal forma parte de 19 comunidades en las que esta compuesta el ejido El Cristiano. Los habitantes de la comunidad tienen como principal fuente de ingreso la venta de café. Cada productor tiene entre 0.5 hectáreas (mínimo) hasta 3.5 hectáreas (máximo). También se siembra, en menor escala, cultivos de autoconsumo (maíz, frijol, chile). A partir de 1998, los

habitantes de estas comunidades empezaron a tener problemas con la plaga de broca de café. Ellos mencionan que la presencia de la plaga esta dado por el aumento de temperatura en el ambiente, el exceso de luz solar, falta de humedad, entre otras. La afectación más directa de la plaga es la reducción en la producción por hectárea, lo cual representa perdidas de hasta el 50% de la producción total.

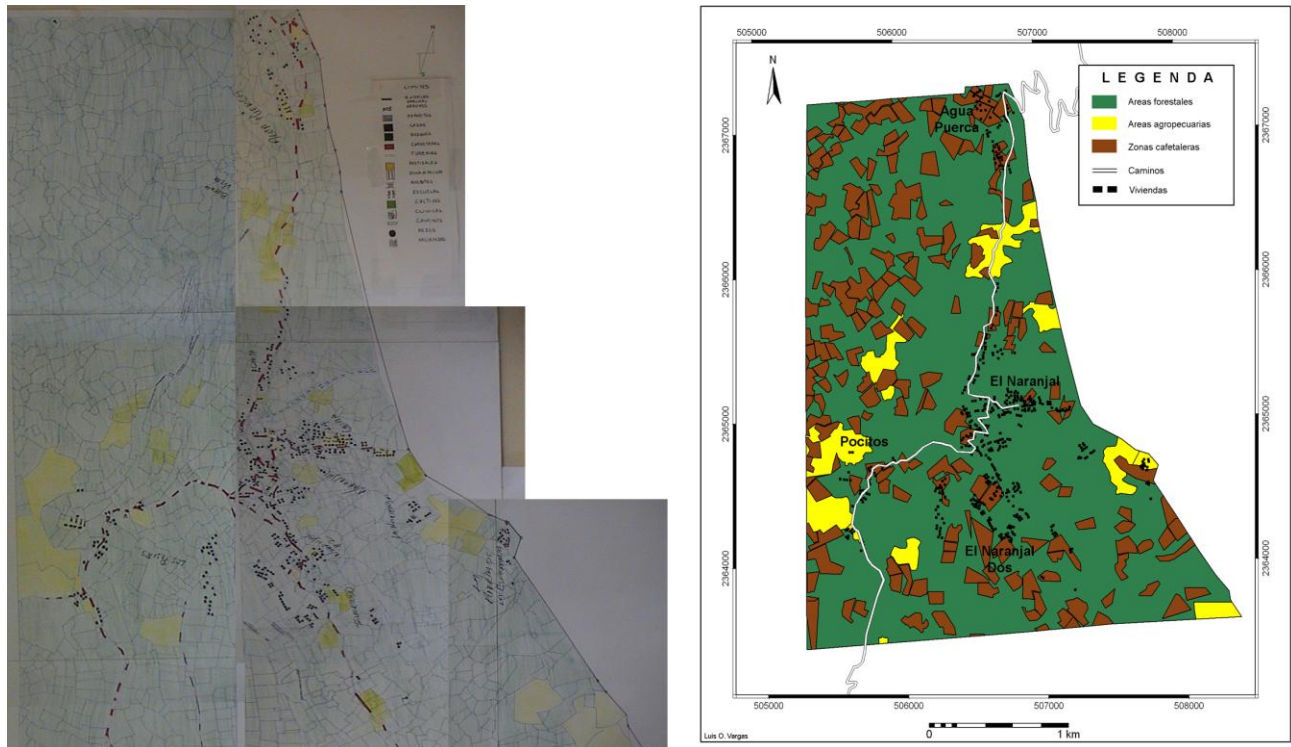


Debido a la problemática que se vive en la comunidad, los participantes se enfocaron en la localización de sitios con problemas de broca de café. Esta ubicación se realizo en la carta topográfica ampliada y fue de forma puntual. Se incluyó el nombre del dueño, la superficie afectada y la altitud a la que estaba. Se registraron 55 sitios (diferentes dueños) con nivel de afectación alto. Además se incluyo puntos de referencia, tales como los caminos, ríos, puentes, entre otros. Este mapa fue el primero generado por la comunidad. Posteriormente, los participantes se enfocaron en ubicar todos los límites parcelarios de El Naranjal, con el objetivo de compararlos con los diseñados por el Registro Agrario Nacional. Este mapa resulto de suma importancia, ya que los límites establecidos por los participantes no coinciden con los oficiales. Este mapa, fue considerado por la gente como un insumo para solicitarle al gobierno estatal una nueva medición parcelaria. Ampliación de fotografía aérea y carta topográfica fueron los materiales usados para esta cartografía. Por último, se realizaron recorridos a sitios afectados y se tomaron puntos gps, que fueron localizados en la anterior cartografía y así obtener las parcelas afectadas de una manera mas precisa. Los mapas generados en la comunidad se referenciaron y se integraron a un sistema de información geográfica. En todos los caso se discutía con los participantes sobre la problemática y su representación cartográfica.

El mapa final concentraba diferente información: uso de suelo, límites ejidales, límites parcelarios, zonas de peligros a derrumbes, zonas con algún grado de infestación de broca de café y localización de las principales vías de acceso y zonas urbanas. La leyenda esta compuesta por 13 elementos: bosque, cultivo, pastizal, zona de plaga, zona de peligro (elementos representados por superficies), limite ejidal, limite parcelario, ríos, caminos (representación lineal), puentes, escuelas, clínicas, haciendas y pozos (representación puntual). En la edición final se incluyeron los elementos básicos de un mapa.

La integración de la cartografía al SIG permitió cuantificar el daño provocado por la plaga, realizar un inventario de los recursos disponibles, cuantificar la superficie de cada parcela y tener una

representación del espacio trabajado. La comunidad del Naranjal tiene una superficie de 774.6 hectáreas, de las cuales el 92% esta dedicada al cultivo de café. Cabe resaltar que en el mapa las áreas representadas como bosque son sitios donde se cultiva el café. De ese porcentaje el 6% esta dañado por la plaga de la broca. Para la delimitación de parcelas se trazaron 1147 polígonos, donde solo en 117 de ellos se tiene el nombre del dueño. Sin embargo, esta información resulto de mucha ayuda para la comunidad. Una vez procesada toda la información, la cartografía, bases de datos, reportes de equipo y puntos gps fueron entregadas a la comunidad.



El Naranjal fue la comunidad con mayor participación, se integraron al equipo un grupo de señoras, los participantes tenían disposición de trabajar y difundían entre los habitantes de la comunidad los objetivos y resultados que se obtenían de cada taller. Durante los talleres, los participantes daban propuestas sobre la organización de su comunidad: planificar los recursos, cambiar de tipo de cultivo, reforestar, etc., eran temas de interés comunal.

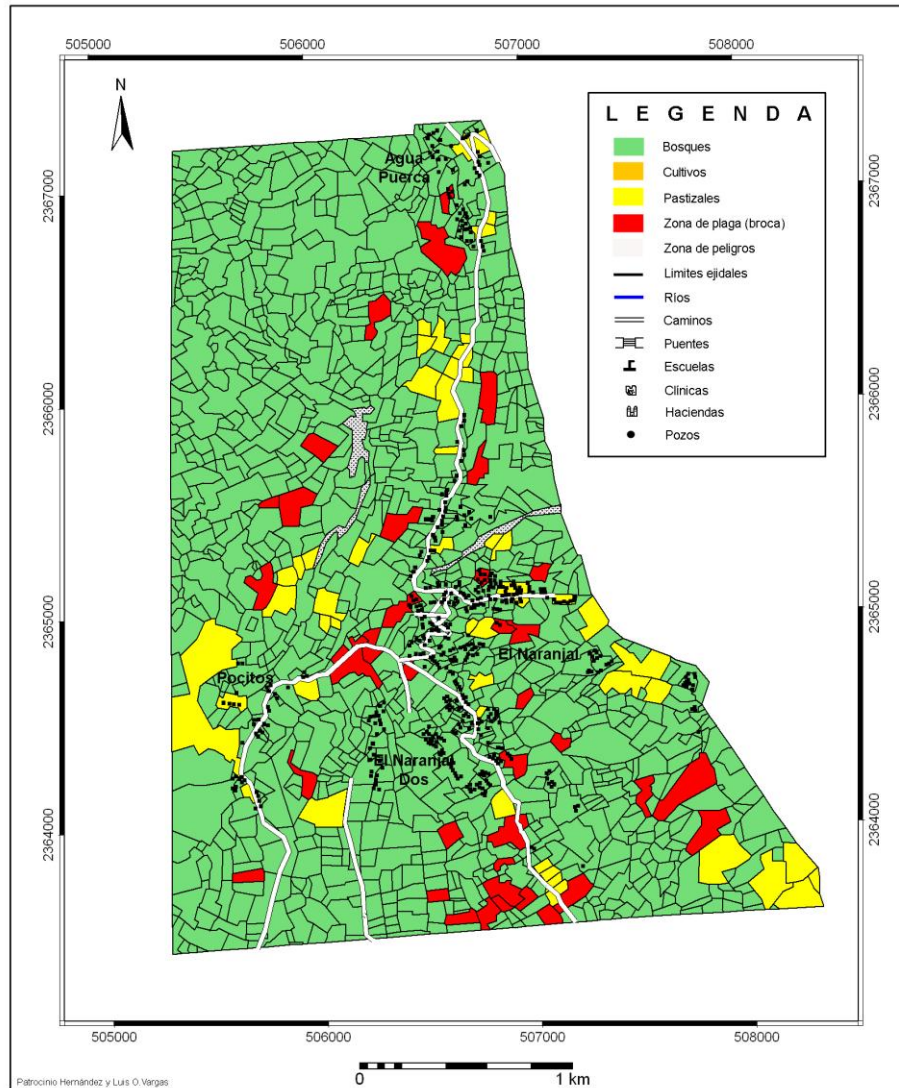
Conclusiones

Durante los primeros talleres, los habitantes de las comunidades tenían diferentes preguntas sobre el tipo de investigación que se quería desarrollar. Preguntas como: ¿Para que nos sirve esto?, ¿Qué beneficios obtendremos con la elaboración de esta cartografía?, ¿Participan mujeres, niños y ancianos?, ¿Podremos cartografiar diferentes problemas?, etc. Estas preguntas se respondieron durante los talleres y conforme se iba desarrollando el mapeo.

La disposición y el interés de los habitantes en las localidades seleccionadas fueron los elementos principales para el éxito y desarrollo del mapeo participativo; mientras que para una comunidad es

solo el diseño de un plano de su zona, para otra puede ser el inicio de una organización de su territorio que les permita aprovechar al máximo sus recursos de una forma sustentable..

La experiencia aplicada en las comunidades sirvió para aprender los alcances y limitaciones de los métodos participativos. Se resaltaron los aciertos y defectos en la preparación y organización de los talleres comunitarios, y lo más importante fue la necesidad de establecer una relación de confianza entre la comunidad y el equipo de trabajo. Además de considerar los aspectos sociales y culturales de las comunidades ha trabajar.



Bibliografía

- IIASA. (1993) Call for proposals, land use global change: past, present and future. International Institute for Applied Systems Analysis. Laxemburg, Austria.
- McCall, M. (2005). Participatory Geographic Information System in Participatory Spatial Planning. Chapter 1, Issues a Review. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. pp 1-4

- McCall, M. (2005). Respect for Indigenous Spatial Knowledge and Perception of Space. Chapter 3, PGIS in PSP. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. pp 1 – 4
- Mwalyosi, R., B.B. (1992) Land use change and resource degradation in south West Masailand, Tanzania. *Environmental conservation* 19 (2), pp 145-152.
- Rambaldi, G. and Callosa, J. (2000) Manual of participatory 3-Dimensional Modeling for Natural Resource Management. *Essentials of Protected Area Management in the Philippines*, Vol.7 NIPAP, PAWB-DENR, Philippines.
- Rubiano, J., Vidal, M. and Ovidio, M. (1997) Como construir modelos tridimensionales de cuencas hidrográficas. Un Manual para entidades que trabajan con comunidades. Consorcio internacional para una agricultura sostenible en laderas (CIPASLA), Colombia.
- Reyes, H. (2004). Evolución y caracterización actual de la cobertura del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy de San Luis Potosí. Tesis de Doctorado. Posgrado de Geografía-Facultad de Filosofía y Letras- UNAM.
- Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz, J.R., Mayorga, R., Alcántara, P.C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., y Palacio, J.L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT*, 62:21-37.
- Velázquez, A. (2002) La Ecogeografía Participativa en el Manejo de los Recursos Naturales. *Boletín Instituto de Geografía*. Morelia, Michoacán.