

Capítulo 13. 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

María Guadalupe Galindo Mendoza

Carlos Contreras Servín

Luis Olvera Vargas

Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Introducción

Tradicionalmente se denomina plaga a aquel fenómeno que afecta a la agricultura y que ocasiona pérdidas económicas. Según la FAO (2001a) una plaga es cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales. 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 liberalización del comercio y falta de políticas efectivas en las fronteras y los cercos fitosanitarios internacionales. Y aun cuando la presencia de plagas parece un problema técnico, administrativo, comercial y 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). Así de plaga pasa a ser un desastre fitosanitario (Galindo, 2006; Manilla, 1996; Mass-Krey, 1993), éstos incluyen a las plagas y enfermedades transfronterizas y

cuarentenarias que generan grandes pérdidas económicas a las zonas agropecuarias, sobre todo aquéllas con un modelo de producción extensivo y donde se ha arrasado con la vegetación primaria por completo, generalmente zonas de monocultivo. Según la FAO (2001a y b) una plaga transfronteriza es

... aquella de gran importancia económica y comercial para la seguridad alimentaria para un considerable número de países; que se pueden propagar fácilmente a otros países y alcanzar proporciones de epidemia; y que exigen la cooperación entre varios países para su control y manejo, incluida su exclusión...

Las plagas transfronterizas pueden plantear la máxima amenaza inmediata en caso de invasión o brote o cuando recién se introducen en condiciones ecológicamente favorables, con pocos factores naturales que limiten su propagación y sin disponer de experiencia en su manejo. Suelen tener efectos desastrosos y, en la mayoría de los casos, afectan también con mayor gravedad a la población rural marginada.

En el caso de las plagas de insectos, éstas se caracterizan por sus grandes desplazamientos en búsqueda de alimentos y lugares adecuados para la reproducción y difícilmente se pueden controlar. Las langostas como insectos, son plagas transfronterizas, pertenecen a la superfamilia *acridioidea* que agrupa aquellos insectos comúnmente conocidos como chapulines, langostas y saltamontes, reconocidos porque sus patas posteriores son grandes y robustas por lo que están adaptadas para saltar; sus antenas son en la mayoría de los casos cortas, ovipositor corto, y el tímpano u órgano auditivo se sitúa en el aspecto dorso-lateral del primer segmento abdominal, los tarsos son invariablemente de tres segmentos; pueden ser alados, braquiópteros (alas cortas) o ápteros (Barrientos, 1990; Barrientos *et al.*, 1992; Barrientos, 1998; Tinoco, 2001). Otro rasgo característico es el sonido que emiten cuando sus patas posteriores se frotan contra las tegminas produciendo un sonido conocido como estridulación y cuya función se asocia básicamente con actividades de cortejo y apareamiento.

Es también importante establecer la diferencia entre los términos langosta y chapulín; el término langosta se aplica a ciertos acridoideos migratorios cuyo tamaño es grande, regularmente rebasan los 10 cm de longitud o más, los cuales debido a un incremento de población cambian de comportamiento, pasan de la forma/fase solitaria a una forma/fase gregaria, cambiando posteriormente de color y forma (transformación física), y requieren tener una zona geográfica de multiplicación y gregarización definida (área gregarígena; Barrientos, 1990; Barrientos *et al.*, 1992, Barrientos, 1998; Garza, 2005 y 2005a).

Mientras que con el término de chapulín (*grasshopper*) se denomina a aquellos acridoideos cuyo tamaño es de pequeño a mediano, su longitud varía de 2 a 7 cm (aunque algunos pueden llegar a rebasar este promedio), que carecen de una transformación física y de un área geográfica de multiplicación y gregarización específica, no obstante que pueden presentar altas densidades, emigrar grandes distancias, tener conducta gregaria y ocasionar daños muy severos; en el caso del incremento de la población, puede ocurrir en cualquier lugar del área de distribución de la especie, si las condiciones climáticas y ecológicas son apropiadas, lo cual no sucede con las langostas que tienen su sitio bien delimitado para este aspecto. Por otro lado existen ciertos cambios de coloración aunque con mayor frecuencia se asocian como un carácter de dimorfismo. En ambos casos, si los grupos formados se constituyen por individuos adultos, se les denominan mangas, y si están compuestos por inmaduros (ninfas) se les llaman bandas (Barrientos *et al.*, 1992; Garza, 2005a y b). La clasificación taxonómica de las langostas es la siguiente (Cuadro 1).

Para la FAO (2001a), las especies de langostas que causan desastres fitosanitarios severos son diez, y están relacionadas con dos ambientes básicos: el desierto y las selvas bajas (Cuadro 2). Las más violentas son las denominadas *migrantis*, que es la especie del África septentrional (se concentra en la cuenca del Senegal) y se desarrolla en zonas de contacto entre los biomas de desiertos y sabanas. De hecho, la sabana misma es una zona de transición que separa la selva tropical de las regiones áridas y de los desiertos. Le sigue en orden de importancia la subespecie sudamericana o *cancellata* que se localiza en las estepas de Argentina (Pampas), Chile, Uruguay y Paraguay, y las praderas subtropicales del sur de Brasil. Prácticamente abarca la cuenca del Río de la Plata. Las estepas son de origen antrópico y ocupan el lugar de antiguos ambientes forestales (Zunino y Zullini, 2005). Sin embargo, la langosta centroamericana, de la especie *piceifrons*, es un insecto de selvas bajas (caducifolias), de hecho se desarrolla muy bien en plantaciones tropicales y pastizales. Su área de influencia va de la parte norte de Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, abarca la mayor parte de Centroamérica y se asienta en las selvas bajas mexicanas desde Yucatán alcanzando la parte boreal de éstas que son los límites de la región Huasteca Tamaulipeca, Potosina y Veracruzana (Figura 1).

La última aparición de la plaga de langosta centroamericana en el ámbito regional fue entre 2000 y 2004 y causó un desastre fitosanitario en Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Guatemala y México (SENASICA, 2005; OIRSA, 2005; RETANA, 2003). El Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) entró en Centroamérica para controlar la plaga y resarcir los daños provocados a la agricultura, sobre todo hacia productores ganaderos y azucareros. En el caso mexicano no se presentaron ayudas internacionales de ningún tipo, a pe-

Cuadro 1. Clasificación taxonómica (de acuerdo con Barrientos *et al.*, 1992)

Clasificación taxonómica						
(De acuerdo con Barrientos <i>et al.</i> , 1992)						
Phyllum:	Arthropoda					
	Superclase:	Hexapoda				
	Clase:		Insecta			
			Subclase:	Pterygota		
			Orden:		Orthoptera	
			Suborden:			Caelifera
						Superfamilia: Acridoidea

Cuadro 2. Plagas de langosta según especie y región

Especie	Región	Generaciones por año
Langosta del desierto	Europa, Cercano Oriente, Asia	3-4
Langosta roja	África austral	1
Langosta migratoria	África, Europa, Asia	hasta 6
Langosta marrón	África austral	hasta 3
Langosta sudamericana	América del Sur	2
Langosta centroamericana	América central	2
Langosta marroquí	África, Europa y Asia	1
Langosta italiana	Europa, Cercano Oriente, Asia	1
Saltamontes senegalés	África, Cercano Oriente, Asia	1-3
Langosta	Australia	1

Fuentes: Centre for Overseas Pest Research (1992), The locust and grasshopper agricultural manual, Londres y FAO (EMPRESS), en Los efectos económicos de las plagas y enfermedades transfronterizas de los animales y las plantas, FAO (2001), p. 212.

sar de que nuestro país ha ratificado convenios con OIRSA desde el 2000 (SENASICA, 2005). La langosta centroamericana (*Shistocerca gregaria* Walker) presenta tres fases de desarrollo: huevo, ninfa e imago o adulto (Garza, 2005a; Barrientos *et al.*, 1992). El imago es un volador joven cuyos órganos sexuales son inmaduros; un adulto es un imago cuyos órganos reproductores son funcionales y ambos son alados. Las características fásicas se presentan a continuación.

Huevo. Los huevecillos son de forma alargada, de color crema o amarillo claro, son depositados dentro del suelo envueltos en una capa de materia espumosa que constituye una vía natural de salida a las ninfas recién nacidas. Son depositadas en masas conocidas como *ootecas*. Cada huevecillo mide de 8 a 10 mm de longitud y de 1 a 2 mm de ancho (Figura 2).

Ninfa. Las langostas jóvenes son conocidas como *saltones o ninfas*, éstas presentan entre 5 a 6 estadios ninfales; a cada etapa de desarrollo ninfal se le conoce como instar y va de los 6 a los 45 mm. En cada momento instar se desarrollan el tórax, las alas, las patas y las antenas. La coloración de los saltones varía de verde claro en su fase solitaria, amarillo en las fases intermedias (*Transiens congregans* y *Transiens disocians*) y anaranjado rojizo en su fase gregaria.

Imago o adulto. Los adultos de la langosta presentan dimorfismo sexual, el macho mide de 39 a 42 mm de longitud y la hembra de 48 a 55 mm, el color cambia gradualmente de una café rojizo en el caso de los *imago*s a una coloración



Figura 1. Distribución de la langosta centroamericana y sudamericana.

café amarillenta en los adultos que han alcanzado la madurez sexual. La *Shistocerca piceifrons piceifrons* Walker, cuando se comporta como bandas presenta dos generaciones por año, la temporada seca entre diciembre a mayo la pasan como *imago*, es decir, como adultos que no maduran sexualmente; al inicio de las lluvias, la cual ocurre generalmente entre mayo y junio, se inicia la madurez sexual, la copula y la oviposición. Las hembras ponen de 2 a 3 *ootecas* con 80 a 120 huevecillos en cada una, que entierran a una profundidad de 6 a 10 cm dentro del suelo, éstas eclosionan en un periodo de 15 a 20 días para dar lugar a las ninfas de primera generación (junio-julio), las cuales presentan de 5 a 6 mudas. Los adultos de la primera generación maduran sexualmente en un periodo de 25 a 35 días. Estos adultos ovipositan durante septiembre y octubre y dan origen a las ninfas de la segunda generación durante los meses de septiembre a diciembre, hasta mudar al adulto sexualmente inmaduro conocido como *imago*, el cual requiere

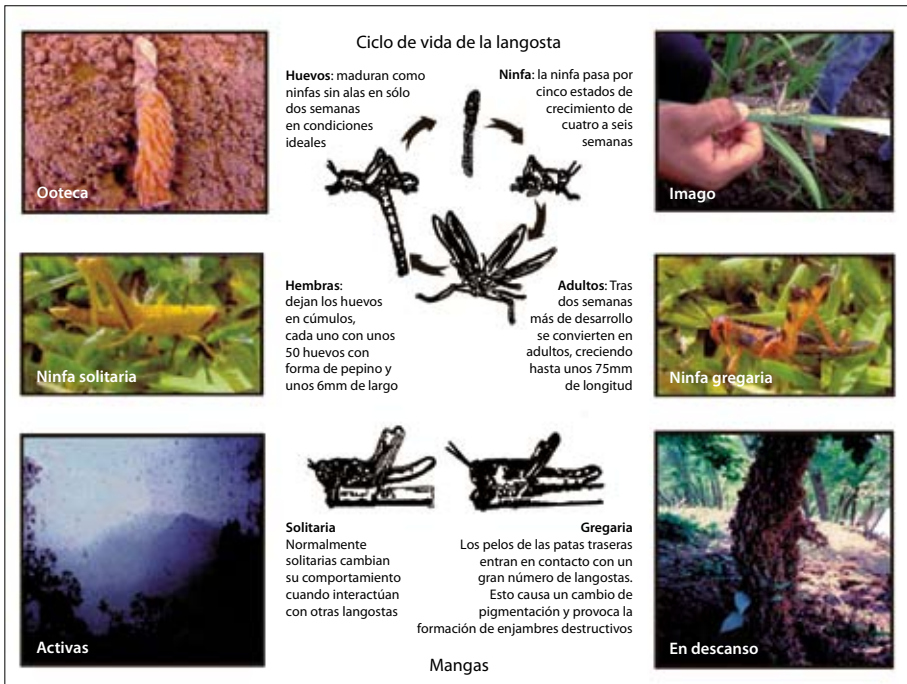


Figura 2. Ciclo de vida de la langosta centroamericana.

de cinco a seis meses para alcanzar su madurez sexual, lo cual ocurre al inicio de las lluvias del siguiente ciclo pluvial.

Cuando la langosta centroamericana gargariza con temperaturas promedio mayores a los 27° C y una precipitación pluvial promedio menor a los 1 000 mm anuales (Garza, 2005a), produce mangas de más de 5 km, se presenta la metamorfosis desde el estado ninfal (rojo) hasta el adulto que es de color negro y rojo, esto es para captar mayor energía solar y elevar su propia temperatura. Se alimenta las 24 horas del día, consumiendo hasta cinco veces su peso (Tinoco, 2001; Barrientos, 1998; Garza, 2005a). Asimismo, las condiciones agroecológicas propicias para que se desarrolle el insecto (*termotropismo* y *fototropismo* positivo de la especie) son planicies de suelos suaves arcillosos-arenosos, extensos campos de cultivo y pastizales, un sistema hídrico caudaloso y permanente, así como un régimen lluvioso no tan intenso, pero sobre todo elevadas temperaturas y brillo solar intenso (Retana, 2003).

Los sistemas-producto en los que la plaga provoca un desastre fitosanitario (devastación de los cultivos, pérdida de patrimonio y aplicación de pesticidas) son

estratégicos tanto para el mercado comercial como para los sistemas de subsistencia. Entre los más importantes están maíz, soya, frijol, ajonjolí, sorgo, cacahuete, algodón, henequén, caña de azúcar, plátano, diferentes frutales (naranja, papaya, coco, limón, lima, mandarina) y arroz. Pastos como guinea, pangola, bermuda y estrella, así como diversas plantas y arbustos silvestres como palma africana, mezquites, huizaches, guázima, choveno, guamúchil y tronadora (Garza, 2005a; SENASICA, 2005).

La plaga de langosta centroamericana afecta a ocho estados que presentan condiciones gragarigenas: Yucatán, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Tabasco. El Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad Alimentario (SENASICA) tiene desplegadas campañas fitosanitarias que trabajando en diez estados del país con acciones de exploración, muestreo y control (biológico y químico). Las campañas contra la langosta centroamericana datan desde inicios del siglo pasado en nuestro país, pero no es sino hasta el 17 de julio de 1998 a través de la Norma Oficial Mexicana (NOM-049-FITO-1995) que se reorganizan y reciben financiamiento y apoyo técnico oficial de SENASICA, oficina directa de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en México.

El caso de la Huasteca Potosina

Dentro de la realidad potosina, la región Huasteca, es una de las regiones que presenta los mayores índices de marginación económica y social, la que cuenta con mayor población (30% del total estatal) y donde se concentra el 52% de la población económicamente activa en el sector primario. Esta región se ubica hacia la parte oriental del estado, entre los 19° 51' y 21° 34' latitud N y 15° 54' y 116° 56' longitud W, en la región de barlovento de la Sierra Madre Oriental. Abarca dos regiones fisiográficas: la planicie costera del Golfo de México hacia la parte noreste y estribaciones de sierra hacia la parte noroeste, media y suroeste (Figura 3). Se define por ser el límite boreal de las selvas mexicanas según Rzedowski (1986). Se caracteriza por presentar la línea divisoria entre aridoamérica y mesoamérica, lo que lo define como una zona de contacto con endemismos biogeográficos. En cuanto a los aspectos hídricos (que junto con el relieve dan formas fisiográficas únicas), la conforman dos subcuencas: la del río Valles hacia la planicie norte (que se desborda en el río Tampaón) y la del río Moctezuma, ambos caudales permanentes que pertenecen a la parte baja de la cuenca del Pánuco. La región abarca una superficie de 1 121 866.06 ha. Todas esas características



Figura 3. Ubicación de la región Huasteca Potosina.

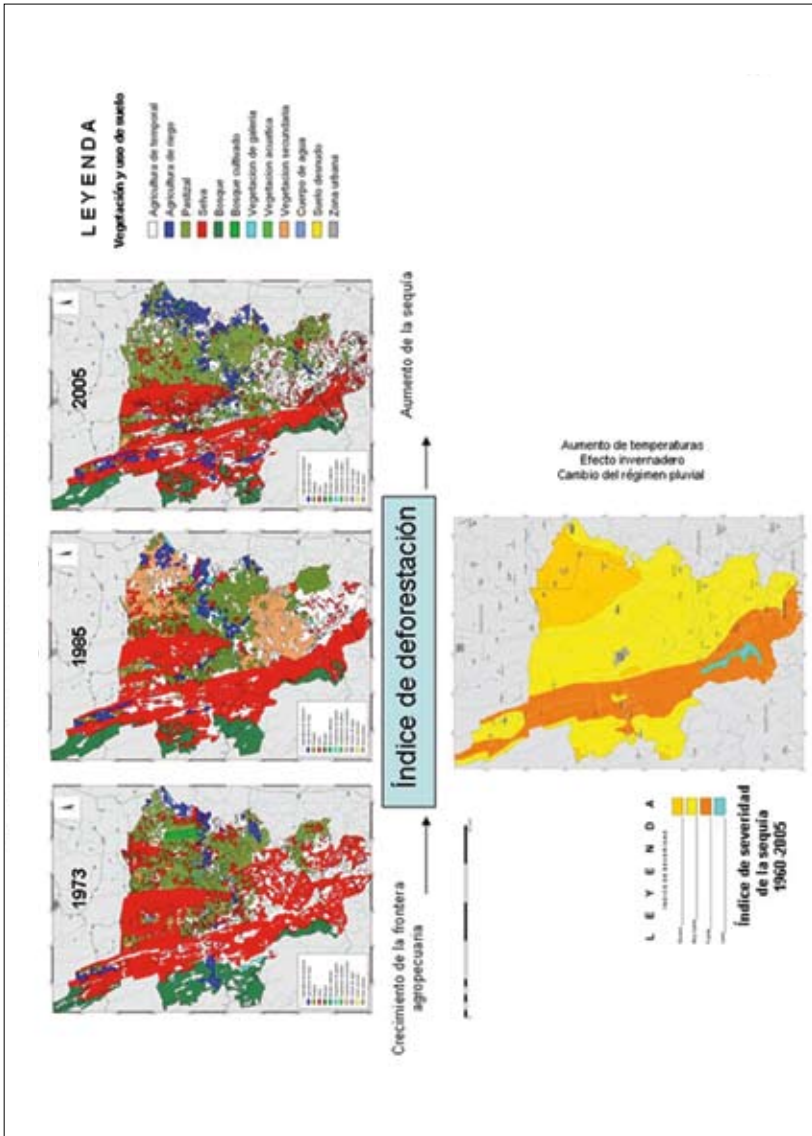
físicas han permitido el desarrollo de actividades agropecuarias preponderantes, sobre todo de caña de azúcar que abarca el 40% de la superficie (agropecuaria) de la región y que se introduce a partir del 1970 de manera agroindustrial, le sigue en orden de importancia los pastizales cultivados que abarcan el 28% del área y en tercer lugar los cítricos que comprenden el 22%. El café es una actividad importante hacia la zona indígena ubicada en la parte serrana al sur de la región y que engloba el 9% de la superficie. Así las actividades agropecuarias abarcan el 60% de la superficie de la Huasteca Potosina, dejando sólo el 31% a biomas de selva (entre altas, medias y la predominante caducifolia) y 8% de bosques mesófilos y de coníferas y el 1% de vegetación secundaria (Galindo y Olvera, 2005).

Esta artificialización del espacio hacia actividades agropecuarias fue en contra de las selvas y bosques de la región. La deforestación en la región Huasteca Potosina en los últimos 30 años (1973-2000) fue del 48.66%, se devastaron 117 399 ha

de selvas y 24 930 de bosques. La parte de mayor impacto ambiental se da hacia la parte noreste de la región abarcando los municipios de Ciudad Valles, Tamuín, Ébano y San Vicente Tancualayab (Figura 4). Esta es la zona conocida como el Pujal-Coy en donde según Aguilar (1995), a partir de 1978 se llevó a cabo uno de los peores fracasos de planificación agropecuaria que transformó las praderas naturales y la selva baja caducifolia en zonas de hortalizas y con el tiempo de forrajes y pastizales (introducción de pastos africanos sobre todo). Es precisamente en esta zona donde se han localizado desde 1960 las zonas de *ovipostura* y *gregarización* de langosta centroamericana y que se ha intensificado a medida que avanzó el proceso de deforestación (Galindo, 2006).

Conforme se fue arrasando con la vegetación primaria, la implicación directa fue sobre el clima, ya que al parecer es una zona donde se ha elevado la temperatura en un grado y han disminuido las precipitaciones de 900 a 600 mm en promedio (Contreras *et al.*, 2006). Según Hernández (2006), el índice de severidad a la sequía se da hacia los rangos de severos a muy fuertes en la misma región (severo de -0.5 a -0.6 y muy fuerte de -0.4 a -0.5). Este índice se basa en los meses donde se registró un déficit en la precipitación esperada. Se obtiene, comparando la sumatoria de los meses de un año que han sido menores a la media de precipitación para dicho mes y la sumatoria de las precipitaciones mensuales medias que han sido mayores a las precipitaciones mensuales del año estudiado. Así, para la activar la gregarización y la formación de mangas se necesitan altas temperaturas (en la región sobrepasan los 38° C promedio) y que sólo se dan en cada etapa donde se presenta el fenómeno de “El Niño” (ENOS u oscilación del sur), por eso la aparición de la plaga resulta periódica y no dentro de los parámetros de normalidad de canícula o de época de secas (Retana, 2003, Contreras *et al.*, 2006). Esto nos lleva a plantear que el combate, control y monitoreo de la plaga no debe analizarse sólo tomando en cuenta la entomología del insecto (para saber en que estadio de la metamorfosis poder atacarlo, ya sea de forma biológica o química) o las características ecológicas del lugar, sino incluir dentro del modelo la meso-escala tanto meteorológica como climatológica.

La Campaña contra la langosta en San Luis Potosí, fue una de las primeras en proponer nuevos métodos técnicos para el combate y control de la plaga (monitoreo georreferenciado con apoyo GPS de los diferentes estadios del taxón y el manejo de SIG). Sin embargo, el combate a la plaga de langosta centroamericana en la región enfrenta una problemática fuerte: *a)* no existe el manejo integrado en ninguna de las campañas fitosanitarias para atacar esta plaga, *b)* se desconocen las causas que provocan los brotes y mangas, y *k* que por lo violento de la infestación y en las etapas donde causa más estragos, sólo se puede combatir con la



Fuente: cartografía y base de datos del proyecto SAGARPA-CONACYT 2004-CO1186/A1

Figura 4. Variación de la vegetación y el uso de suelo (1973-2005) y su relación con la sequía (1960-2005) en la Huasteca Potosina.

utilización de pesticidas organofosforados y fenilpirazoles como son el *malathion 1000*, *fipronil*, y en la región Huasteca Potosina se llegó a utilizar en la temporada más dura de la plaga *parathion metílico*. El combate biológico llega ya hacia las etapas de declinación y *diapausa* (estado de latencia sin formar mangas) del taxón, en donde se ha utilizado el hongo *Metarhizium anisopliae* variedad *acridum* en aceite citrolina y aceite crudo de soya (CESAVESLP, 1999-2004).

En la Huasteca Potosina, la plaga de langosta centroamericana se torna en desastre entre el 2000 y el 2003 (CESAVESLP, 2005). La inversión financiera para su combate ascendió a 26.6 millones de pesos, 7% más de lo que recibe la región en inversión pública para el desarrollo del sector agropecuario (CESALVSLP, 1999-2004; INEGI, 1999-2004). El combate de la plaga lo financiaron la SAGARPA federal (33%), el gobierno estatal (34%) y los productores (33%). Es necesario evidenciar la importancia al combate de los desastres fitosanitarios, ya que si bien es cierto no hay exposición a pérdida de vidas humanas, sí hay una pérdida del patrimonio de los productores y afectaciones físicas en salud. Cabe mencionar que ninguno de estos productores cuenta con seguros sobre siniestros fitosanitarios (de hecho de ningún tipo) y enfrenta una de las peores crisis en el sector: el desplazamiento del mercado nacional por el embate y competencia desleal con productos importados y la exclusión del mercado regional ante el TLCAN. Los cultivos con mayor problemática son precisamente los de mayor incidencia económica en la Huasteca Potosina: caña de azúcar, cárnicos y frutales (Galindo, 2006).

Para los productores de caña de azúcar en México, 2001 fue un año crítico, se violentó el sector porque los propietarios de los ingenios no les pagaron a los cañeros (ni a la CNA ni a la CFE) y se declararon en septiembre de ese año en quiebra. La solución fue la nacionalización de los ingenios por parte del Estado mexicano quien de hecho financió buena parte del combate a la plaga de langosta centroamericana, si no la crisis social hubiera tenido consecuencias mayores. De aquí la necesidad de la construcción del mapa de riesgo a esta plaga, ya que las condiciones de vulnerabilidad que se van gestando pueden ir acumulándose progresivamente llegando a configurar una situación de desastre mucho mayor que en el periodo anterior y en el entendido de que los fenómenos naturales de extraordinaria ocurrencia pueden ser previsibles, todo depende del grado de conocimiento que se tengan acerca del funcionamiento del espacio.

La propuesta teórico-metodológica

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 *outbreaks* 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; Cigliano-Torrusio, 2003; 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 las imágenes LANDSAT, NOAA y MODIS para determinar áreas en las cuales las condiciones son propicias para la ovipostura asociado con la distribución de las precipitaciones (Bryceson, 1989; Voss y Dreiser, 1997; Magor y Pender, 1997; Cressman, 1997; FAO, 1988) y *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 y 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 correlacionan los brotes de las plagas de langostas con el grado de impacto que ha sufrido ese espacio.

En este orden de ideas, el enfoque sistemático-descriptivo de la biogeografía regional suele reconocer una serie de categorías (regiones, provincias, etc.) y organizarlas en un esquema jerárquico, intentando así clasificar no sólo el área de emplazamiento, sino también a sus respectivos ocupantes, sean ellos especies, taxones superiores u otros grupos. El enfoque de la biogeografía tiene por objeto interpretar los factores que influyen en la distribución geográfica de los seres vivos. A su vez, este tipo de problemática puede enfocarse desde dos perspectivas, la ecológica y la histórica. La perspectiva ecológica o sincrónica, se basa en la comparación entre las áreas de distribución y los parámetros abióticos (configuración geográfica, climática, etc.) y bióticos (composición y estructura de las comunidades) que intervienen en el territorio considerado. La perspectiva histórica o diacrónica se propone reconstruir los acontecimientos de las distribuciones de esos seres vivos en términos de causas remotas, por medio de la comparación entre las áreas de distribución actuales. Sin embargo, aun cuando la presencia de la plaga en sí está condicionada por zonas agropecuarias, esas zonas presentan un

nivel de impacto severo (deforestación y/o sequía) que propicia la reproducción del insecto. Esto se logra medir con una reconstrucción histórica con bases de datos georreferenciados, con el muestreo especializado, ya sea por los técnicos de campo que pertenecen a la campaña fitosanitaria de langosta o por el conocimiento de los propios productores (empleo de archivos históricos oficiales, hemerográficos, muestreos con GPS por estadio, etc.), con apoyo de la cartografía temática (uso de suelo, índice de deforestación, índice de sequía, tenencia de la tierra, climas y edafología), análisis espectral multitemporal (LANDSAT MSS y ETM+) e información climática dentro de la microescala (estaciones climáticas) y la meso-escala (ENOS o fenómeno de “El Niño” por intensidad), ya que al haber mayor impacto en la región, la dispersión de las zonas de reproducción y gregarígenas se amplía y los procesos de humedad y temperatura se modifican llegando a ser muy extremos, sobre todo si se presenta el fenómeno de “El Niño” (Contreras *et al.*, 2006; Galindo, 2006; Retana, 2003).

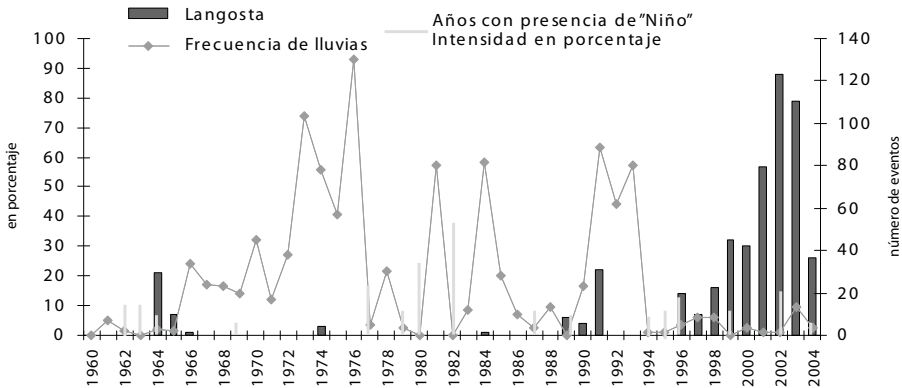
Una vez definidos estos primeros parámetros, se pueden correlacionar en el espacio el resto de las variables ecológicas citadas en la literatura (temperaturas y precipitaciones máximas y mínimas, altitud, pendientes, hidrología, dirección de los vientos; Cuadro 3). La langosta centroamericana, es una evidencia de impacto ambiental, de desequilibrio ecológico, resultado de una planeación y artificialización irracional del espacio. Para demostrar lo anterior se emplearán métodos de integración, multivariados, esto es desde la perspectiva socioeconómica como física. Así, se podrán definir las causas que provocan la plaga a partir de dos enfoques: el de la ecobiogeografía sistémica (caracterización del taxón; Zunino y Zullini, 2005; Espinosa y Llorente, 1993), el análisis espacial que incluye la dimensión temporal y multivariada, apoyados en los sistemas de información geográfica (SIG) y la percepción remota (PR), ambas dentro de los métodos cuantitativos-estructuralistas.

Para llevar a cabo los procesos de construcción de cartografía temática, análisis y correlación espacial se utilizaron imágenes de satélite LANDSAT MSS (1973 y 1985) y ETM+ (2000 y 2005) para la cartografía de uso de suelo, el inventario agropecuario (por tipo de cultivo) y el índice de deforestación. También se trabajó el NDVI y las bandas infrarrojas de LANDSAT MSS y ETM+ para la delimitación del área de emplazamiento y reproducción. Se utilizó información vectorial georreferenciada del INEGI (2000; curvas de nivel, hidrológica, edafología y toponimia) que permitió la creación del modelo digital de terreno, el mapa altitudinal y el de pendientes. Los mapas climatológicos (elaborados por Hernández, 2006 y 2006a; climas, índice de severidad a la sequía, temperaturas máximas y mínimas) se trabajaron con 95 estaciones meteorológicas con datos de 1960 al 2004,

con bases de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN; ERIC II y CNA delegación SLP; 70 caen dentro de la región Huasteca y 20 fuera de la misma). Se contó con una base de datos de los años de presencia del fenómeno de “El Niño” y su intensidad (de bases de datos de Amador, 1998; Treberth, 1997; Centro de Predicción Climática de los EEUU, NOAA, 1989-2002; citados en Contreras *et al.*, 2006) El muestreo histórico de la presencia de langosta centroamericana en la región, se georreferenció con base en fuentes primarias y secundarias (*Diario Oficial de la Federación*, Gaceta Oficial del estado de San Luis Potosí, periódicos de circulación nacional, estatal y regional) según el método historiográfico (Florescano y Swan, 1995). El resultado es una base de datos de 1960 al 2004, con la que se sacó la información cuantitativa de sitios afectados por la plaga. El muestreo especializado en campo se obtuvo del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí de la Campaña contra Langosta. Se georreferenciaron de manera constante más de 800 000 ha con GPS (de 1999 al 2005) por estadio: ovispostura, gregarización e invasión. Además se cuenta con una base de 400 puntos de control en campo que incluye tipo de cultivo, tipo de vegetación zonas de muestreo de plagas, plaguicidas utilizados y los costos. El software de trabajo fue ILWIS 3.3.

La reconstrucción histórica y el muestreo en campo

Tras la búsqueda histórica se encontró no sólo la ubicación geográfica del ataque de mangas, sino la frecuencia con la que se presenta, que correlacionado con la información histórica de las variables físicas dio un primer “esquema empírico” que explica la presencia del insecto (Texeira y Monné, 2005; Figura 5; Cuadros 4 y 5). Los primeros ataques de manga se dan hacia la primera mitad de los años sesenta, pero a partir de 1994 los ciclos se vuelven permanentes y cuatro años después el crecimiento es exponencial, llegando a la cifra histórica de combate a la plaga que duró 48 meses. De tener 228 ha con problemas al inicio del decenio de los años noventa, se dispara a 12 200 ha dañadas hacia la primera parte del 2000. También se evidencia un patrón de correlación importante, ya que al parecer la langosta se presenta después de dos o tres años de sequía severa y en cuanto caen las primeras lluvias (que en realidad es una precipitación mínima de 800 a 900 mm) se forma la primera generación de mangas. Este fenómeno parece ser que está muy correlacionado con el “Niño”. Según Contreras y colaboradores (2006) y Galindo (2006) la temperatura media aumenta en años “Niño” entre un 1.5° C hasta 4° C en la planicie aluvial del río Tampaón, en donde incluso la temperatura máxima aumenta de un promedio de 31.8° a un promedio de 38.3°



Fuente: Base de datos del proyecto SAGARPA-CONACYT (2004-CO1-186/A-1).

Figura 5. Presencia histórica de la langosta centroamericana asociada a la frecuencia de las lluvias y al fenómeno de “El Niño”, 1960-2004.

(2002) y 37.7° (2003); y con índice de severidad a la sequía severa), condición que al parecer, garantiza la reproducción del acrido.

En todo análisis biogeográfico, el *área de distribución* y más precisamente el *área de distribución específica*, el espacio geográfico deja de ser el soporte físico de la biosfera y se convierte en la condición fundamental de desarrollo. 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 ésta 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. Pero además la *nube de puntos* que nos muestra en la fase de ovispostura (apoyados en el muestreo de CESAVESLP (1998-2004) y en la ubicación de los ríos permanentes e intermitentes), demuestra que los años de “Niño moderado” (que presentó una duración de nueve meses (de marzo de 2002 a marzo de 2003; Contreras *et al.*, 2006; Retana, 2003) es cuando se acrecentó este fenómeno de reproducción; cerca de los ríos permanentes como es la cuenca del río Valles y del Tampaón (Figura 6).

Cuadro 4. Años con precipitación por debajo del promedio y su relación con el fenómeno de “El Niño”

Año	Promedio de precipitación (mm)	% de precipitación por debajo del promedio	Observaciones
1962	1 123.16	25	
1963	1 125.74	25	Se relaciona con “El Niño” de junio de 1963 a febrero de 1964, mismo que tiene una duración de nueve meses.
1964	1 215.17	19	
1969	1 397.54	6	Se relaciona con “El Niño” de noviembre de 1968 a diciembre 1969, mismo que tiene una duración de catorce meses.
1977	1 049.52	30	Se relaciona con “El Niño” de julio de 1977 a enero de 1978, mismo que tiene una duración de siete meses.
1979	1 181.54	21	
1980	1 032.28	31	Se relaciona con “El Niño” de octubre de 1979 a abril de 1980, mismo que tiene una duración de siete meses.
1982	909.52	39	Se relaciona con “El Niño” de abril de 1982 a julio de 1983, mismo que tiene una duración de dieciséis meses.
1987	1 182.77	21	Se relaciona con “El Niño” de agosto de 1986 a febrero de 1988, mismo que tiene una duración de diecinueve meses.
1989	1 242.11	17	
1994	1 245.26	17	
1995	1 219.58	18	Se relaciona con “El Niño” de junio de 1994 a marzo de 1995, mismo que tiene una duración de diez meses.
1996	1 116.36	25	
1997	1 130.83	24	Se relaciona con “El Niño” de abril de 1997 a abril de 1998, mismo que tiene una duración de trece meses.
1999	1 284.10	14	

Continuación cuadro 4.

2000	1 179.00	21	
2001	1 217.64	19	
2002	1 167.69	22	Se relaciona con "El Niño" de mayo de 2002 a marzo de 2003, mismo que tiene una duración de nueve meses.
2004	1 259.51	16	
Promedio de precipitación del periodo = 1 494.45 mm			

Elaboró: Carlos Contreras a partir de promedios anuales de 92 estaciones meteorológicas.

Continuación cuadro 5.

Año	Área geográfica	Acontecimiento	Fuente
1963 febrero a mediados	Sur de Mante y norte de Tamuín, pasó para el rumbo del Salto	Cayó una plaga o manga de langosta. Niño.	3
1964 julio 11	Ejidos Álvaro Obregón (Pujal), El Cuiche y Nuevo Tambolón, del municipio de Tamuín y en El Naranjo del municipio de Valles con otros brotes en Santa Elena del municipio de Tamuín y en El Naranjo	Se anunció que había reaparecido la langosta en la Huasteca.	3
1964 mayo-octubre	Villa Guerrero, Tamuín, Ciudad Valles, Álvaro Obregón, El Cuiche, Santa Elena, Ébano, San Vicente Tancuayalab, Santa Clara, Casas Blancas, El Tulillo, Tamasopo, Tampamolón, Tanquián, Tamazunchale.	La plaga de langosta, ataca los cultivos de maíz y caña y amenaza todos los sembradíos. Entran en controversia el gobierno y los campesinos, la SAG no ataca la plaga correctamente, intervención del gobierno tanto estatal como Federal. Niño.	4
1965 junio-septiembre	El Naranjo, Ciudad Valles y Tamuín, Ciudad del Maíz, Tamasopo,	Cosechas afectadas por la plaga de langosta. La plaga invade en cuestión de minutos gran cantidad de sembradíos, por lo que no es posible su rápido control.	4

Continuación cuadro 5.

1989 junio-septiembre	Tamuín, San Vicente y Tanquián	La sequía ha durado ya nueve meses y los ganaderos han pedido la colaboración del Gobierno del Estado y de la SARH para la implementación de un programa para la erradicación de la plaga de langosta.	4
1991 abril-junio	Ejidos Tamalacaco, Alfredo V. Bonfil y Aurelio Manrique, Tamuín, Ébano, San Vicente Tancuayalab, Tanquián, Tampamolón y Tampacan	Alrededor de 3 mil ha de pastizal han sido afectadas, por la plaga de langosta. La humedad provocada por las pocas lluvias y posteriormente el calor y las altas temperaturas fueron la causa del brote generalizado de esta plaga.	4
1997 mayo-octubre	Ébano en sus poblados de Ponciano Arriaga, el de Aurelio Manriquez, el Cerro de la Concepción, Niños Héroes, San Pedro de las Anonas, Jalpilla y Tamuín	Esta plaga ha arrasado con grandes superficies de pastos y de cultivos de maíz. Los campesinos están buscando apoyos productivos de las dependencias involucradas para los más afectados. El Gobierno del estado y la SAGAR pusieron a disposición de las Juntas Locales de Sanidad Vegetal 460 litros de insecticida. Niño.	4
1998 julio	Tampamolón, Tanquián, San Vicente	La humedad de la tierra a causa de las escasas lluvias y el calor ha favorecido para que estas plagas hayan brotado y amenacen con la destrucción de los pastos y la agricultura Sólo en la comunidad de Ponciano Arriaga hay 2 200 ha, aproximadamente, que se encuentran infestadas por la langosta. Niño.	4
1999 junio-octubre	Tanlaías, Axila, Tamuín, Ébano y San Vicente.	Los pastos están siendo afectados por la plaga de langosta debido a las condiciones climatológicas de la región. Los productores señalaron que el clima imperante facilitó enormemente la reproducción de la plaga, ya que no se tuvo lluvia constante y abundante que lograra terminar con los insectos. La presencia de las lluvias no logró disminuir la población de la plaga, por el contrario, sirvió para su aumento.	4

Continuación cuadro 5.

2001 mayo-octubre	San Vicente, Ébano, Tamuín, Ciudad Valles, Ponciano Arriaga, Santa Elena y Nuevo Ahuacatitla	Las condiciones climatológicas que se han registrado en la zona han favorecido la presencia de la plaga de langosta. Las lluvias no se han presentado lo que ha provocado que estas plagas se presenten en por lo menos 40 mil ha. La comunidad de Ponciano Arriaga ha solicitado la intervención de las autoridades para combatirla y evitar que el desastre continúe. Niño.	4
2002 junio-octubre	Tamuín, Ébano, San Vicente, Tanlaías, Tanquián, Ciudad Valles, Aquismón, Tancanhuitz, Tampamolón, San Martín, Tampacán, Tanquián	Ganaderos denuncian situación agravada por invasiones prediales, plagas de langosta y sequías. El 90% de los cultivos en la Huasteca se han perdido y los municipios afectados sólo han encontrado desolación y tristeza. La SEDRAH estima que 19 mil ha están infestadas con langosta. Sanidad Vegetal dice que hay 19 mil ha infestadas de chapulín y langosta en Tamuín. Niño.	4
2003 agosto-octubre	Ébano, Tamuín, San Vicente y El Naranjo	Los tres primeros municipios se encontraban infestados por la plaga de langosta, afectando cerca de 14 mil ha, hubo infestación en diferente puntos, principalmente en la zona Taquí.	4
2004 mayo		Una plaga de langosta desde el lunes 10 de mayo empezó a desplazarse sigilosamente con miles de minúsculos insectos hacia los cañaverales del Naranjo.	4

Fuente: Base de datos del registro histórico del proyecto SAGARPA-CONACYT (2004/COI-186). "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".

1. AGN (1774), Indiferente Virreinal. Caja 5027, Intendencias 5027 – 068, Fojas 4.
- 2 La Unión Democrática II, núm. 149,4 de septiembre de 1878; tX, núm.709, 12 de junio de 1885.
- 3 Meade, J. (1970), Historia de Valles.
4. Periódicos locales de San Luis Potosí: *El Sol de San Luis*, *El Herald*, *El Momento*, *El Mañana de Valles* (1960-2005).

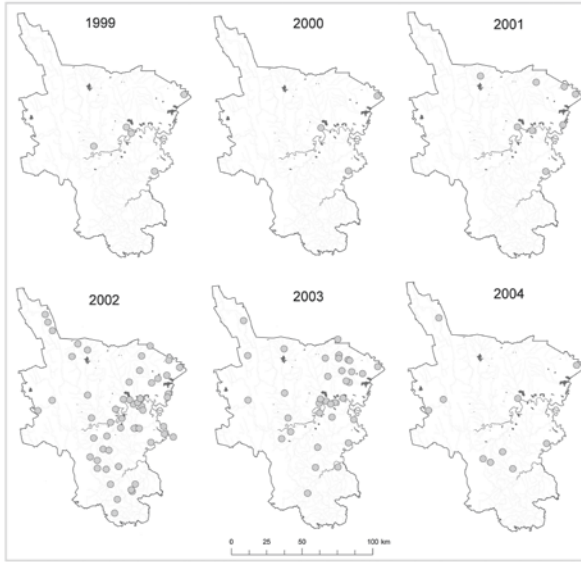


Figura 6. Muestro de la distribución de zonas de ovipositora de langosta centroamericana en la Huasteca Potosina por año. Método de “nube de puntos”.

Análisis espectral

Para determinar el área de emplazamiento (las mejores condiciones ecológicas para la reproducción), el primer paso es trabajar sobre longitudes de onda de 0.7 a 1.4 micras (banda 3 y 4 de LANSDAT ETM+), que combinado con la “nube de puntos” de distribución histórica de la especie y muestreo de etapa fenológica apoyados con GPS, no sólo evidencian el trazado de la isolínea de distribución, sino los niveles de temperatura y humedad requerida por el taxón (Figura 7). Al hacer la sobreposición en las imágenes de satélite LANDSAT (MSS y ETM+) tanto en infrarrojo como en el NDVI y el mapa de uso de suelo, tantos los puntos históricos hemerográficos como los del muestreo de sanidad vegetal también mostraron una correspondencia del 90% (Figura 8) sobre todo hacia la parte intermedia del río Tampaón (donde se puede afirmar ha sido el punto de desarrollo del taxón por varios decenios) ha aumentado su presencia porque la vegetación primaria ha sido sustituida por completo hacia actividades agrícolas (plantíos de soya, sorgo, maíz forrajero, cítricos, caña de azúcar y pastizales), dando un área bien delimitada de influencia que se determina por abundancia de la especie. En este caso, la diferencia espectral entre las zonas de ovipositora y gregarización presentan una baja importante en concentraciones clorofílicas (banda 1 y 2), pero que son puntos que están en la frontera de la agricultura de riego y de humedad cerca del río. En la banda 4, donde se produce la reflexión y la transmisión sufre una baja

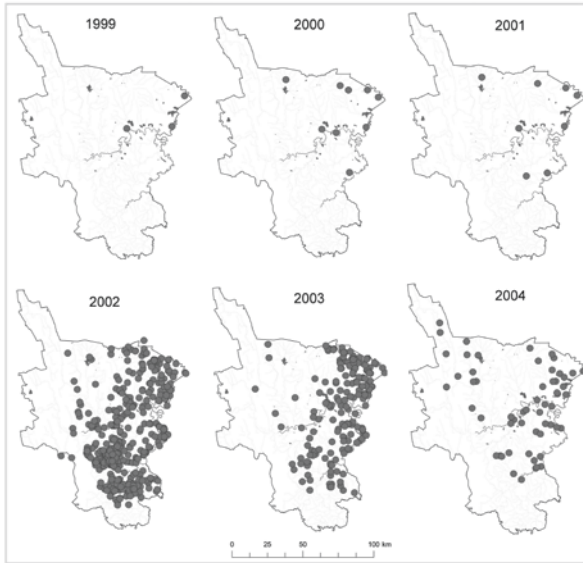


Figura 7. Muestra de la distribución de ninfas gregarias de langosta centroamericana en la Huasteca Potosina por año. Método de “nube de puntos”.

considerable (60 y 50%; Figura 8), son suelos desnudos pero húmedos (vertisoles pélicos). Sin embargo, la invasión prevalece en zonas de radianza donde hay fuertes concentraciones de clorofila y altos índices de humedad. El primer parámetro queda claro, la reproducción se realiza al margen de las zonas de cultivo pero necesita suelos con relativa humedad y muy suaves, y para que las generaciones no se detengan, el alimento está al alcance de los adultos.

El río Tampaón es el ecosistema ideal de reproducción, así como el entorno que se desarrolla en su zona de influencia; suelos húmedos y agricultura de riego y temporal. Difícilmente la reproducción se lleva a cabo en los pastizales ya que la humedad que reportan es muy baja, claro que para la alimentación de las mangas serán fundamentales. Con el algoritmo NDVI de LANDSAT ETM+, se determinaron no sólo los niveles de verdor sino los de humedad. Este último parámetro fue primordial tanto en vegetación como en suelo. Las zonas de ovipostura oscilan entre -0.24 a 0.41 cerca del río Tampaón y de las lagunas de Ébano, y aunque es muy amplio el espectro de humedad, se reduce el área de emplazamiento para la reproducción en tanto la ponderación tome en cuenta las otras variables del ecosistema como uso de suelo, vegetación, edafología, pendientes, climas, índice de sequía, etc. Cabe señalar que las diferencias de verdor en la región son importantes, ya que las concentraciones altas se dan en las selvas altas (0.41 a 0.54) que se ubican hacia el sur suroeste de la región; le sigue en orden de importancia las

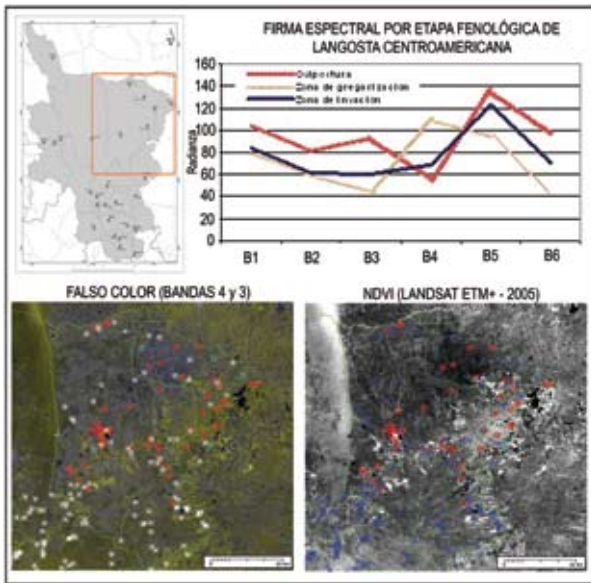


Figura 8. LANDSAT ETM+ (2000), Infrarrojo y NDVI.

selvas bajas (0.17 a 0.31) y los más secos son los pastizales (-0.16 a -0.20). Estos valores son importantes para determinar áreas de emplazamiento, ya que al no haber demasiada humedad en suelo, los vertisoles pélicos tienden a ser duros y eso limita las zonas de reproducción. Por otro lado, habría que evidenciar que tanto en la fase de ovipostura como la de gregarización para el 2004, se localizan puntos nuevos hacia la parte norte (municipio de El Naranjo y Tamasopo) que en 1999 no existían. Esto demuestra que la langosta centroamericana ha encontrado “nuevas zonas de reproducción” que no se describen dentro de la clasificación biogeográfica o taxonómica. Y sólo se explican con evidencia de impacto ambiental (deforestación principalmente hacia zonas cañeras). Por ejemplo, al ver el NDVI de LANDSAT MSS de 1973 y ETM+ del 2000 de la región Huasteca Potosina, se puede determinar que los nuevos sitios de ovipostura se han ampliado, porque el verdor y la humedad que dan la propia vegetación primaria se han reducido (Figura 9 y véanse también Figuras 7 y 8). Para las zonas de ovipostura el NDVI regional muestra sitios que van con un NDVI de -0.52 a -0.12 (de muy secos a secos), sin embargo, llegan a ovipositar y gregarizar a niveles de NDVI de 0.15 (se extienden las zonas suministro o *source areas*). Este análisis fue básico para entender las correlaciones que integran el ecosistema donde se desarrolla la langosta centroamericana y, a su vez, lograr el análisis espacial a través de la ponderación de variables y la sobreposición de mapas con apoyo de la lógica booleana.

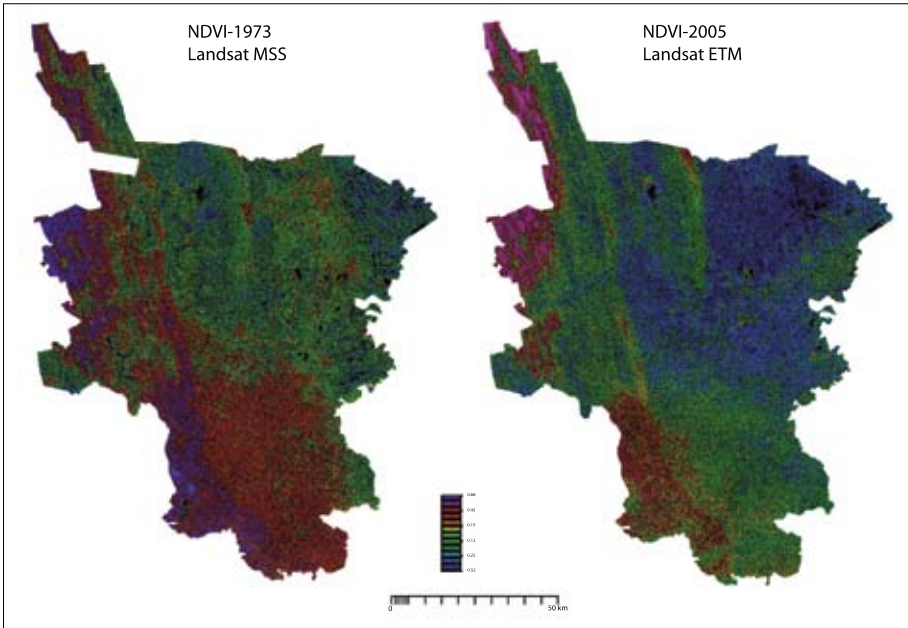


Figura 9. Comparación espectral NDVI LANDSAT (MSS y ETM+) en la Región Huasteca Potosina.

El modelo de simulación multicriterio

La base de datos (muestreo y cartográfica temática) es un modelo realmente representativo del territorio, con la ventaja de que puede ser medido, manipulado y transformado por las funciones del SIG, un modelo que aspira a representar toda la complejidad territorial. Según Heywood *et al.*, (2002) representa el tercer nivel de complejidad de un SIG, ya que propone modelos de simulación en raster (retrospectivo y de escenarios futuros), con el soporte de la ponderación y la lógica booleana. En el análisis espacial las respuestas deben generar nueva información para comprender los procesos causales, simular escenarios que no existen y evaluar diferentes alternativas. Hay un encadenamiento complejo para expresar la modelización del territorio. La superposición tiene tal protagonismo porque es la única vía para analizar espacialmente y de forma combinada las múltiples capas de información que forman la base de datos de un SIG. Es una función predominantemente analítica pero también tiene un cometido importante como función de manipulación. Así, la superposición nominal opera con atributos temáticos cualitativos y genera nuevas categorías compuestas con las capas resultantes, que pueden ser

examinadas mediante lenguajes basados en los operadores booleanos (AND, OR, NOT, XOR, IMP y EQV). Este método opera combinando atributos cuantitativos, normalmente con valores continuos, mediante operadores matemáticos como la suma o la exponenciación. El resultado son valores numéricos sintéticos que no permiten conocer la participación de cada una de las dos capas superpuestas en el resultado final. La superposición interrelaciona múltiples capas de información que se combinan de dos en dos en cada operación. Cuando se encadenan las superposiciones correctamente se puede combinar un número virtualmente ilimitado de capas con la única precaución de hacer un buen planteamiento en cada operación y del proceso en conjunto (modelos multicriterio). Los modelos multicriterio de simulación son elementos efectivos para determinar dichas relaciones, y los sistemas de información geográfica para la caracterización y ponderación de las variables que influyen en el fenómeno (Costanza y Voinov, 2004; Heywood *et al.*, 2002). Para llevar a cabo el proceso de superposición multivariable, se utilizaron las cartas temáticas básicas: uso de suelo, climas, índice de severidad a la sequía, edafología, altitudinal y pendientes (elaboradas para el Proyecto de Fondos Sectoriales SAGARPA-CONACYT 2004-CO1-186) y los cortes de los valores NDVI de las imágenes de satélite LANDSAT ETM+ y el muestreo donde se representa la “nube de puntos” de las fases de ovipostura y gregarias de la plaga de langosta Centroamericana. La ponderación (resultado de la superposición geométrica) evidenció que las zonas de agotamiento (*sink areas*), esto es aquellos lugares donde no invade el taxón son las selvas y los bosques, así como la vegetación secundaria, elementos básicos para entender el límite peligroso para la sobrevivencia de la especie (Figura 10).

Se construyó un operador booleano para cada una de los niveles de peligrosidad y se sobrepuso al modelo digital de terreno para evidenciar la correspondencia. Sin embargo, se pueden acotar las siguientes evidencias: las zonas de *muy alto peligro* al ataque de la langosta centroamericana abarcan el 7.6% (863 ha) de la región (Figura 11). Estas serán las zonas de reproducción y suministro en cuanto se den las condiciones meteorológicas idóneas (sequías largas y presencia del “Niño”). Los valles intermontanos con uso de suelo agropecuario serán los próximos sitios no sólo de invasión, sino de reproducción sobre todo hacia la parte noreste que abarcan los municipios de El Naranjo y Tampasopo. Las zonas de *peligro alto*, serán las áreas de invasión del taxón, ahí no habrá reproducción pero sí fuente de alimentación y comprenden el 27.95% (3169 ha) de la superficie agropecuaria. Las áreas de *medio a bajo*, serán zonas de invasión esporádicas en el caso que se ahuyente al taxón con ruidos estruendosos (los aviones de fumigación por ejemplo) que forcé el avance hacia sitios de humedad intermedia a alta, pero

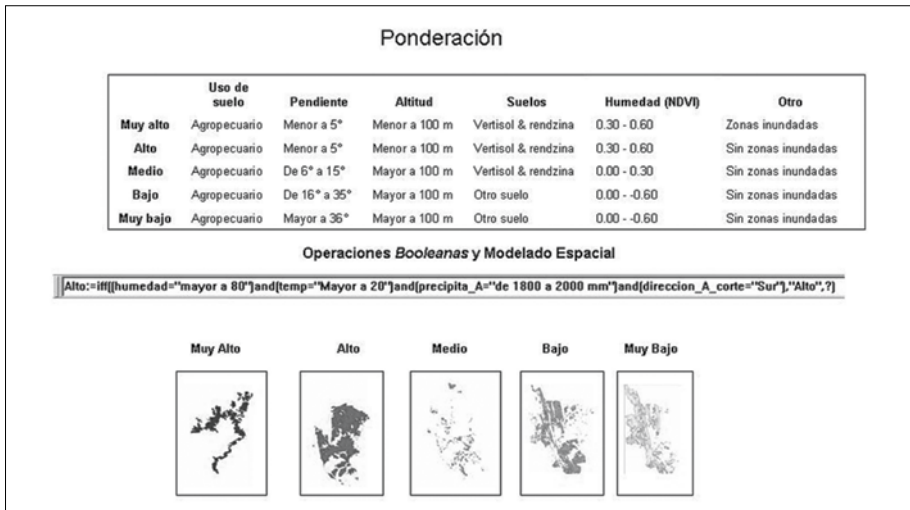


Figura 10. Modelado espacial: ponderación y operaciones booleanas para la construcción del mapa de peligros al ataque de langosta centroamericana en la Huasteca Potosina.

no benéficos para el desarrollo del taxón. Las zonas sin riesgo serán aquellas con altas concentraciones de humedad como son selvas y bosques. Este modelo de simulación permite entender las relaciones del medio ambiente que hacen posible la presencia de la plaga de langosta centroamericana en la región, sin embargo, esta visión es preliminar ya que la complejidad viene con el enriquecimiento de información, de nuevos muestreos que evidencien de forma contundente el comportamiento, pero, sobre todo, las relaciones meteorológicas comprobables como puede ser la correlación con el fenómeno del “Niño” para el modelo predictivo. También es necesaria la evaluación de la vulnerabilidad y el conflicto social que prevalece en las zonas de alto impacto ambiental para determinar el desastre no sólo del último ataque, sino la visión a futuro.

Resultados y discusión

Según la superposición de las siguientes coberturas: *a*) Mapa de peligros al ataque de la plaga de langosta centroamericana (*Shistocerca piceiformis piceiformis* Walter), 1960-2004; *b*) el inventario agropecuario del 2000, y *c*) la tenencia de la tierra (2000) en la Huasteca Potosina; los resultados fueron los siguientes: el 66% de la zona agropecuaria de la Huasteca Potosina, los cultivos que sufrieron pérdidas

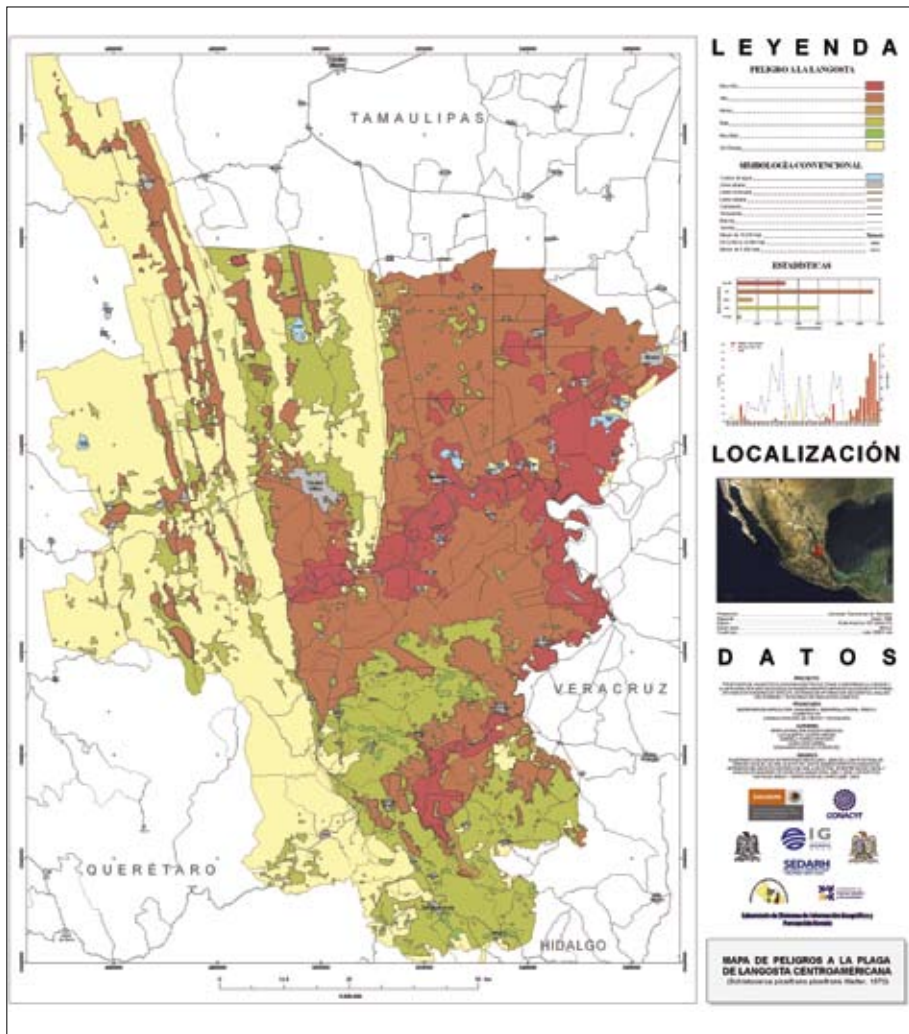


Figura 11. Mapa de riesgos al ataque de plaga de langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walter, 1870) en la Huasteca Potosina, 1960-2004.

importantes fueron el de caña de azúcar (26%), los pastizales (20%), los forrajes (12%), las hortalizas (5%) y los cítricos (3%). El 62% de las áreas afectadas fueron de propiedad ejidal y 38% privadas. Sin embargo, el problema principal es la afectación de la población rural ya que el 64% dependen sus ingresos de manera directa de las actividades agropecuarias (INEGI, 2000). Los resultados evidencian que las zonas de muy alto riesgo al ataque de plaga de langosta centroamericana son aquellas en donde se lleva a cabo la ovipostura y gregarización más que la invasión de la plaga misma. Estas zonas tienen la característica básica de presentar un alto impacto ambiental, esto es, procesos de deforestación severos y cambios espaciales extremos. En este sentido, la artificialización del espacio hacia actividades agropecuarias garantiza la plusvalía del suelo y la competencia entre cultivos, pero de manera paralela (inversamente proporcional) se desarrollan los ecosistemas antrópicos como son las estepas. Al estar un ecosistema implantado, las especies indicadoras de flora y fauna comienzan a hacerse evidente. Muchos de ellos ya estaban presentes en el ecosistema anterior, pero no se desarrollaban y estaban en estado de latencia. Al desaparecer los depredadores y darse las condiciones favorables para su desarrollo y reproducción, invaden los espacios no sólo como plagas sino como especies indicadoras. Así, la deforestación es la variable independiente del sistema, ya que al superponer nuevas variables y nuevas condiciones al espacio, cambia por completo el resto. Entonces resulta ser que no es la temperatura la variable independiente como se sostiene desde la visión agroecológica o entomológica, ya que ésta depende de manera directa del sustrato vegetal. Por otro lado, el mapa de riesgos a la plaga de langosta centroamericana, conduce a la propuesta metodológica del taxón que generaliza las condiciones idóneas de reproducción, y que puede sobreponerse al caso de la cuenca del Senegal con langosta migratoria o del desierto, a la *cancellata* de las estepas de la cuenca del río de Plata.

Este modelo de simulación puede servir de base para la predicción de la plaga misma y la toma de decisiones para su control. Al corto plazo es saber con exactitud donde llevar a cabo el manejo integrado o químico de la plaga misma, la segunda y de larga duración sería la reforestación de esos espacios de mayor riesgo, ya que una de las limitantes para la expansión del taxón son precisamente los biomas de selvas y bosques. La reforestación con pagos por servicios ambientales sería una buena opción para la población y no sólo se combatiría la plaga de langosta como tal, sino sería un elemento básico para crear condiciones de mitigación para la sequía que también afecta de forma grave esta zona. Dentro del marco de los geosistemas, el análisis espectral es fundamental dentro del diagnóstico del área de distribución o emplazamiento del taxón, sin embargo, con un monitoreo constante (por ejemplo con imágenes AVHRR) se tendrían los escenarios antes,

durante y después de la invasión de la plaga, así se sabría la variación exacta de las concentraciones de verdor y de humedad no sólo de la vegetación sino del suelo.

El análisis espectral justifica y corrobora la información de campo (muestreo) por etapa fenológica, lo que ayuda a controlar a la plaga cercándola en aquellas zonas donde no puede desarrollarse o en su caso tomar las decisiones adecuadas para su control y evitar diseminarla o expandirla, porque con ello se desplaza el peligro en cuanto se localicen otras zonas para su reproducción, pero peor aún, con ello se desplazan los pesticidas empleados para su control. La ponderación es el paso final, lo más importante en esta fase es que cada especialista elabore la cartografía de cada elemento del ecosistema que interviene en la reproducción y propagación de la plaga. Lo básico del trabajo es el muestreo en campo, que debe darle un seguimiento constante hasta que aparezca la nueva invasión, para determinar tiempos exactos, de hecho esta parte es la que debe implementarse de manera obligatoria en las campañas fitosanitarias del país, no suspender la campaña mientras no haya plaga, sino al contrario, trabajar de manera permanente para ver las dinámicas entre un ciclo y otro, aunque el factor limitante son los recursos financieros con los que cuenta tanto el Estado como la federación para sostener de manera permanente las campañas fitosanitarias.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado del proyecto de Fondos Sectoriales SAGARPA-CONACYT-COFUPRO y Fundación Produce intitulado “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-CO1-186/A-1 (de abril de 2005 a diciembre de 2006).

Referencias

- Aguilar, (1995), *Autopsia de un fracaso: el caso del proyecto Pujal-Coy de la Huasteca Potosina*, Ed. Ponciano Arriaga, San Luis Potosí, México.
- Amador, J. A. (1998), “A climate feature of the tropical Americas: the trade wind easterly jet”, *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 5(2).
- Barrientos, L. L. (1990), *Final report of mission on Central America Locus (18th October 1989-10th september1990)*, FAO, Rome, Italy.

- Barrientos, L. L. (1998), "La langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walter, 1870) (*Orthoptera: Acrididae*). Plaga mayor de la agricultura en el sureste de México y Centroamérica. Impacto y significancia", en *BIOTAM*, vol. 2, núm. 2, (agosto-noviembre 1990).
- Barrientos, L. L., C. F. Astacio, B. Álvarez y O. Poot M. (1992), *Manual Técnico sobre la langosta voladora Schistocerca piceifrons piceifrons Walker y otros Acridoideos de Centro América y Sureste de México*, FAOAGOL/IRSA, San Salvador.
- Bryceson, 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), pp. 1749-1762.
- Centre for Overseas Pest Research (1992), *The locust and grasshopper agricultural manual*, Londres.
- CESAVESLP (1999-2004), Comité Estatal de Sanidad Vegetal de San Luis Potosí. Informes Técnicos, San Luis Potosí, México.
- Cigliano, M. M., W. P. Kemp and T. Kalaris (1995a), "Spatiotemporal characteristics of rangeland grasshopper (*Orthoptera: Acrididae*) regional outbreaks in Montana", *Journal of Orthoptera Research*, no. 4, pp. 111-126.
- Cigliano-Torruccio, M. M. (2003), "Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en Entomología: aplicación en tucuras y langostas (*Orthoptera: Acridoidea*)", *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 62(1-2), pp. 1-14.
- Contreras, C., M. G. Galindo y J. Algara (2006), "El fenómeno de "El Niño", la sequía y su relación con la presencia de la langosta en la Huasteca Potosina", en *Memorias del I Seminario Latinoamericano de Plagas Transfronterizas. Nuevos escenarios y nuevos retos en la sanidad vegetal*, 25 al 27 de octubre, San Luis Potosí, México.
- Costanza and Voinov (2004), *Landscape simulation modeling. A spatially explicit, dynamic approach*, Springer-Verlag, New York.
- Cressman, K. (1997), "Swarms: a geographic information system for desert locust forecasting", in Krall, S., R. Peveling and D. Da Diallo (eds.), *New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland, pp. 27-35.
- Devenson-Hunter, (2002), "The operation of a GIS-BASED decision support system for Australian locus management", *Entomologia SINICA*, vol. 9, no. 4, December, pp. 1-12.
- Espinosa y Llorente, (1993), *Fundamentos de biogeografías filogenéticas*, UNAM, México.
- FAO (2001a), "Los efectos económicos de las plagas y enfermedades transfronterizas de los animales y de las plantas", parte III, en *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2001*, New York.
- FAO (2001b), Suplemento N° 1 del Glosario: Directrices sobre la interpretación y aplicación del concepto de control oficial para las plagas reglamentadas, 2001. NIMF N° 5, FAO, Roma, en *Glosario de términos fitosanitarios*, NIMF N° 5, FAO, Roma.
- Florescano, E. y S. Swan (1995), *Breve historia de la sequía en México*, Universidad Veracruzana, Xalapa, México.

- Galindo, M. G. y L. Olvera (2005), "El 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*, 14 al 126 de septiembre, Guadalajara, Jalisco, México.
- Galindo, M. G. y L. Olvera (2006), "Vegetación y uso de suelo de la Huasteca potosina 1973, 1980, 2000", escala 1:250 000, Proyecto SAGARPA-CONACYT, 2004-CO1-186.
- Galindo, M. G. (2006), "Cuantificación del desastre y monitoreo de la plaga de langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walter) en actividades agropecuarias con sensores de alta resolución, SIG y modelos multivariados de simulación. Estudio de caso: la Huasteca Potosina-México", *Memorias del I Seminario Latinoamericano de Plagas Transfronterizas. Nuevos escenarios y nuevos retos en la sanidad vegetal*, 25 al 27 de octubre, San Luis Potosí, México.
- Garza, E. (2005), "La langosta *Schistocerca piceifrons piceifrons* y su manejo en la planicie huasteca", Folleto técnico no. 12, INIFAP-CIRN, Campo Experimental Ébano, Fundación Produce-San Luis Potosí.
- Garza, E. (2005a), "El chapulín *Melanoplus sp.* y su manejo en la planicie huasteca", Folleto técnico no. 11, INIFAP-CIRN, Campo Experimental Ébano, Fundación Produce-San Luis Potosí.
- Heywood, Cornelius y Carver, (2002), "An introduction to Geographical Information System", Prentice Hall Spatial data Modeling, Cap 3 Data analysis, Cap. 6.
- Hernández Cerda, M. E. (2006a), "Climas de la Huasteca Potosina", escala 1:250 000, Proyecto SAGARPA-CONACYT, 2004-CO1-186.
- Hernández Cerda, M. E. (2006b), "Índice de sequía en la Huasteca Potosina", escala 1:250 000, Proyecto SAGARPA-CONACYT, 2004-CO1-186.
- Hielkema, J. U. and 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, p. 21.
- Hunter-Deveson, (2002), "Forecasting and management of migratory pests in Australia", in *Entomológica SINICA*, vol. 9, no. 4, December, pp. 13-25.
- Hunter, (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.
- INEGI (1999-2004), *Anuarios estadísticos del estado de San Luis Potosí*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (2001), *Toponimia y vectoriales de la carta topográfica 1:50000*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Johnson, D. L. (1989), "Spatial analysis of the relationship of grasshopper's outbreaks to soils classification", en Mc Donald, L. L., Br. Manly, J. A. Lockwood and J.

- Logan (eds.), *Estimation and analysis of insect populations*, Springer-Verlag, New York, pp. 357-370.
- Kemp, W. P., D. McNeal and M. M. Cigliano (1996), "Geographic Information System (GIS) and Integrated Pest Management of Insects", in Cunningham, G. L. and M. W. Sampson (eds.), *Grasshopper integrated pest management ser handbook*, Tech. Bull. 180, US Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Washington D. C., VI.9-1- VI.9-10 p.
- Lecoq, M., J. F. Durantón and T. Rachadi (1997), "Towards an integrated strategy for the control of the desert locust", in Krall S., R. Peveling and D. Da Diallo (eds.), *New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 467- 475.
- Lecoq, M. (2000), "How can acridid population ecology be used to refine pest management strategies?", in Lockwood, J. A., A. V. Latchininsky and M. G. Sergeev (eds.), *Grasshoppers and Grassland Health*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 109-130.
- Magor, J. I. and J. Pender (1997), "Desert locust forecasters' GIS: a researchers' view", in Krall, S., R. Peveling and D. Da Diallo (eds.), *New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 21- 26.
- Manilla, (1996), *Desastres modelo para armar. Colección de piezas de un rompecabezas social*, LA RED, Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.
- Mass-Krey, (1993), *Los desastres nos son naturales*, LA RED, Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.
- Miranda, E., M. Lecoq, J. R. Pierozzi, J. Durantón, J. et M. Batistella (1996), *O gafanhoto do Mato Grosso. BalanVo perspectivas de 4 anos des pesquisas 1992-1996*, Montpellier.
- OIRSA (2005), *Sistema Integrado de Sanidad Agropecuaria*, Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria
- Retana, J. (2003), "Relación entre la temperatura superficial del mar (TSM) y anomalías de temperatura del aire en el Pacífico norte de Costa Rica durante años ENOS como posible predictor de potencialidad de plaga de langosta", en *Tópicos de Meteorología y Oceanografía*, 10(1), pp. 31-35.
- Rendowsky, J. (1978), *La vegetación de México*, Limusa, México.
- SENASICA (2005), *Acuerdos internacionales sobre medidas sanitarias y fitosanitarias*, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
- Teixeira, y Monné (2005), "La distribución de *Tropidacris cristata* (Orthoptera: Acridoidea) según la "Historia rerum naturalium Brasiliae" de Georg Marcgrave (1648)", en *Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines*, Primera Jornada Biogeográfica de la Red Iberoamericana de Biogeografía y entomología sistemática, RIBES XII.I-CYTED-UNAM-CONABIO.
- Tinoco, (2001), *Entomología económica aplicada a la agricultura*, Ed. AGATA, Guadalajara, Jalisco-México.

- Trenberth, K. E. (1997), "The definition of El Niño", *Bull. Amer. Met. Soc.*, no. 78, pp. 2271-2777.
- Voss, F. and U. Dreiser (1997), "Mapping of desert locust habitats using remote sensing techniques", in Krall, S., R. Peveling and D. Da Diallo (eds.), *New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 47- 54.
- Zunino y Zullini (2003), *Biogeografía. La dimensión espacial de la evolución*, Fondo de Cultura Económica, México.