

## CAPÍTULO 14: SIMILITUD CLIMÁTICA

Una herramienta importante en los proyectos de control biológico clásico es la similitud del clima entre las áreas invadidas y el rango nativo de las especies invasivas o de otras áreas de colecta de enemigos naturales. Esto permite que la investigación para los enemigos naturales sea dirigida hacia áreas con la mejor similitud climática, lo cual debería producir enemigos naturales con la mejor oportunidad de establecimiento en el país receptor, después de la liberación (Bartlett y van den Bosch, 1964; González y Gilstrap, 1992; Hoelmer y Kirk, 2005). Esta es una herramienta que debe ser usada durante la planeación inicial de un proyecto para guiar las actividades de exploración.

Para establecer poblaciones viables, los insectos requieren de condiciones climáticas adecuadas para su reproducción y desarrollo. La temperatura, en particular, es uno de los factores climáticos claves que afecta el establecimiento y la dispersión, junto con la cantidad de lluvia, los patrones de precipitación, la humedad y el pH del suelo, y el fotoperíodo. Los agentes establecidos exitosamente deben resistir los extremos climáticos locales (por ejemplo, excesivo frío o humedad) y explotar las condiciones intermedias favorables para el desarrollo y el crecimiento de la población.

Con esto en mente, el capítulo tiene tres objetivos:

- (1) Buscar la aplicación de la *similitud climática* entre la zona donante de enemigos naturales o de la plaga (p. ej., de donde son los organismos) y la del rango de distribución planeado para su recepción (donde ellos han invadido o van a ser liberados) para determinar donde en la zona donante sería la mejor parte para buscar enemigos naturales bien adaptados.
- (2) Discutir el uso de *modelos inductivos* para inferir el clima del rango de origen de una especie (a) si podría dispersarse a cualquier área dada de interés, (b) si una población establecida es probable que se disperse mas, y (c) si es así, si las expansiones del rango de distribución serán temporales o permanentes. El potencial de dispersión y establecimiento de poblaciones permanentes de plagas es de especial interés porque tiene implicaciones sobre cómo pudiesen ser manejados los riesgos de las introducciones de enemigos naturales para otras especies nativas diferentes a las que se piensan controlar. Tales predicciones traen un mejor énfasis sobre qué otras especies pudiesen estar en contacto con los enemigos naturales introducidos conforme la plaga se disperse, conociendo que los enemigos naturales introducidos están también adaptados al clima de las áreas en las cuales la plaga se está dispersando.
- (3) Ilustrar el uso de los datos climáticos en *modelos deductivos*, que consisten en la aplicación de las estadísticas demográficas de población derivadas de laboratorio y la estimación de los

días-grado para el desarrollo de los enemigos naturales. Programas computacionales son entonces configurados apropiadamente con datos de las estaciones climáticas pertinentes para proporcionar estimaciones de la fuerza de crecimiento de la población del enemigo natural en áreas donde se espera la dispersión, para determinar dónde es probable la incursión, y qué intensidad de impacto esperada pudiese tener sobre las poblaciones plaga.

## SIMILITUD CLIMÁTICA

La similitud climática puede incrementar la posibilidad de selección de los agentes más apropiados, antes de conducir una exploración costosa en el extranjero en un vasto rango de distribución de origen y antes de empezar las importaciones y dispendiosas evaluaciones de seguridad de agentes de control que no pueden estar bien coordinados climáticamente, pueden incrementar la posibilidad de seleccionar agentes más apropiados (Goolsby *et al.*, 2005a; Hoelmer y Kirk, 2005). Tal enfoque del área de búsqueda, a través de la similitud climática, a menudo es necesario porque muchas plagas tienen rangos geográficos extremadamente extensos, los cuales incluye muchas zonas ecológicas y climáticas. (Es conveniente indicar, sin embargo, que las plagas dañinas en su rango nativo tendrán rangos más grandes y mejor conocidos, mientras que las especies que no son plagas en sus rangos nativos tendrán distribuciones pobremente conocidas, quizá rangos falsamente más pequeños). Para estrechar el rango conocido de una plaga hacia una región de tamaño manejable, donde los enemigos naturales investigados puedan ser buscados, puede ser útil determinar primero cuáles partes del rango de origen de la plaga corresponden mejor al rango invadido, donde los enemigos naturales liberados son deseados.

Se presume que una similitud climática errónea entre las áreas muestreadas en el rango de origen y el rango de introducción es un factor limitante del establecimiento y del impacto de los enemigos naturales, y ha sido probablemente la causa del fracaso en algunos programas de control biológico (Bartlett y van den Bosch, 1964; Beirne, 1975). Por ejemplo, los enemigos naturales de la hierba de San Juan (*Hypericum perforatum* L.) liberados en Australia, fueron colectados inicialmente en Inglaterra en los años 1920s y 1930s. Solamente uno de los cinco agentes de Inglaterra se estableció en Australia. En contraste, cinco de los seis agentes colectados posteriormente en el sur de Francia, en áreas con un clima mediterráneo más parecido al del sitio de liberación y se establecieron, incluyendo al agente más exitoso, el crisomélido *Chrysolina quadrigemina* (Suffrian). Éste es uno de los primeros ejemplos donde las tasas de establecimiento de enemigos naturales se mejoraron a través de la búsqueda cuidadosa del clima correspondiente entre el rango de origen y el rango donde se planeó la introducción (Syrett *et al.*, 2000).

La determinación de que tan similares son las condiciones entre las localidades seleccionadas en el rango de origen y el rango de introducción puede ser hecha usando programas de correspondencia climática (e.g., CLIMEX, bioSIM, BIOCLIM, DOMAIN, y HABITAT [Baker, 2002]). Esos programas han sido desarrollados para identificar y realizar mapas de áreas del mundo con climas similares, usando los registros históricos del clima de numerosas localidades a través del mundo. Los programas permiten sopesar factores ambientales específicos (por ejemplo, la precipitación y la temperatura) si se desea cuando se calcula el grado

de similitud climática y cuando se trazan distribuciones potenciales de las especies. Alternativamente, los programas de computador pueden ser usados para relacionar los datos del clima con la información sobre cómo puede afectar el clima la fenología o distribución de una especie dada (por ejemplo, reacciones al estrés por calor o estrés al frío-humedad, etc.) (Hoddle, 2004a; Hoelmer y Kirk, 2005). CLIMEX es un programa usado comúnmente para estos tipos de análisis y fue diseñado pensando en su aplicación al control biológico (Sutherst y Maywald, 1985; Sutherst *et al.*, 2004). CLIMEX será usado para ilustrar puntos importantes en este capítulo, cuando sea relevante.

La interpretación de los resultados de CLIMEX está basada en mapas producidos por el programa. Los puntos en los mapas resultantes pueden ser colocados para representar una variedad de posibles variables climáticas (por ejemplo, temperatura promedio, temperatura máxima promedio, humedad relativa, etc. o un índice producido por una combinación de esas y otras variables). Mientras más grande sea el punto en una localidad específica, será mejor el promedio de condiciones climáticas prevalecientes en esa localidad para la especie de interés (**Figura 14-1**).

Un análisis retrospectivo de la correspondencia climática para los afelínidos parasíticos liberados en Estados Unidos para el control biológico de la mosca blanca *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Hemiptera: Aleyrodidae), demuestra la importancia de la similitud climática como un indicador para predecir el establecimiento de las especies (Goolsby *et al.*, 2005a). El porcentaje de similitud climática entre las áreas puede ser determinado usando la función de “Correspondencia de climas” en CLIMEX. Esta función puede ser usada para comparar el promedio de las condiciones climáticas (por ejemplo, temperaturas máximas y mínimas, precipitación total, patrón de precipitación, humedad relativa, humedad del suelo y combinaciones de esos factores) en la zona de origen de los enemigos naturales con aquellos en la zona de introducción. El componente de los índices puede estar en un rango de 0 a 100, siendo 100 la correspondencia exacta entre las dos localidades para el parámetro de interés. En el estudio de Goolsby *et al.* (2005a), el promedio del valor del índice de similitud climática para el establecimiento de parasitoides en una nueva área fue aproximadamente 75%, mientras que para los parasitoides que fallaron en su establecimiento, el promedio fue de cerca de 67% (datos promediados de la Tabla 2 en Goolsby *et al.*, 2005a). Sin embargo, los altos índices de correspondencia climática no garantizan el establecimiento, y algunas especies de parasitoides con índices de similitud climática del 80% no se establecieron, indicando que otros factores diferentes al clima pueden ser muy importantes en el establecimiento, una vez que son identificados los agentes idóneos con buena tolerancia climática (Goolsby *et al.*, 2005a). El impacto en la plaga fue más grande cuando el enemigo natural con una similitud climática cercana exhibió un rango estrecho de hospederos y una tasa alta de ataque (Goolsby *et al.*, 2005a). Los resultados claros de esos análisis permitieron la recomendación de una especie parasítica específica, *Eretmocerus hayati* Zolnerowich & Rose (Hymenoptera: Aphelinidae) de Pakistán, escogida entre una lista larga de especies potenciales, como la prioridad de liberación en Australia para el control de *B. argentifolii* en áreas productoras de algodón (Goolsby *et al.*, 2005a). *Eretmocerus hayati* está ahora establecida en muchas localidades en Queensland, Australia y está dispersándose rápidamente (Goolsby, 2007).

La efectividad de la similitud climática en la predicción del establecimiento de razas de enemigos naturales, colectadas en diferentes localidades dentro del rango de origen, está



**Figura 14-1.** La función de CLIMEX “Correspondencia de climas” ilustra qué tan similares son los promedios climáticos en Auckland, Nueva Zelanda, a localidades en Norteamérica. El nivel de similitud es dado por el parámetro del “Índice de correspondencia”, el cual es un promedio de hasta siete índices que lo componen, incluyendo las temperaturas máximas y mínimas, precipitación (cantidad y estacionalidad), humedad relativa y humedad del suelo. Mientras más grande es el punto negro en el mapa, será más cercana la correspondencia climática entre Auckland y las localidades en Norteamérica. La elipse delinea el rango de origen de una plaga hipotética nativa de Norteamérica y que se ha establecido en Auckland. CLIMEX sugiere que el promedio anual alrededor de las condiciones climáticas en el rango de origen de la plaga que son más similares a Auckland, están en el oeste y suroeste de las áreas costeras del rango conocido y que la exploración en el extranjero para buscar enemigos climáticamente preadaptados para su liberación potencial en Nueva Zelanda, debería ser iniciado ahí y no en los extremos norteros del rango, donde los puntos son más pequeños. Los ejercicios de la correspondencia climática de esta naturaleza pueden tener importante utilidad práctica para la exploración en el extranjero y para la selección de enemigos naturales (mapa dibujado por M. Hoddle).

siendo evaluada retrospectivamente con técnicas moleculares (Iline y Phillips, 2004). En algunas instancias, la similitud climática de un área dentro del rango de origen de un enemigo natural no ha previsto correctamente el desempeño de los enemigos naturales, en la zona de introducción, donde el clima era similar. Cuando estos fracasos ocurren, puede ser de utilidad investigar otros factores desfavorables a los enemigos naturales. Algunos factores que podrían evitar el establecimiento de enemigos naturales de sitios climáticamente similares, incluyen el ataque por depredadores generalistas como las hormigas, la carencia de diversidad genética (en especies uniparentales) necesaria para la adaptación post-liberación, endogamia por largo tiempo en el laboratorio antes de su liberación, y las fluctuaciones en la humedad relativa (van Klinken *et al.*, 2003).

El uso de un proceso basado científicamente para escoger especies de enemigos naturales de artrópodos para la discriminación preliminar del rango de hospederos es importante, porque (1) las pruebas de especificidad de hospederos en cuarentena consumen tiempo, son difíciles y costosas. La categorización de los enemigos naturales candidatos puede apresurar las evaluaciones y reducir la dependencia en la liberación de números mayores de especies, de las que se conoce menos. Se ahorra dinero y puede incrementarse la tasa de éxito para el control biológico, en términos de establecimiento y de impacto; y (2) la acumulación de aplicaciones exitosas de esas técnicas apoya el desarrollo de la teoría del control biológico.

## MODELOS INDUCTIVOS: PREDICCIÓN DEL ÉXITO EN LA DISPERSIÓN Y LA INCURSIÓN

En muchas instancias, hay poca información detallada disponible sobre la respuesta climática o la biología reproductiva y de desarrollo a varias temperaturas de la plaga a controlar o de sus enemigos naturales. A pesar de este impedimento, es posible hacer estimaciones acertadas de cómo un organismo responderá al promedio de las condiciones climáticas prevaletentes en una nueva área, a través de la aplicación de modelos inductivos, también referidos como modelos inversos o inferenciales (Sutherst y Maywald, 2005). Esto es efectuado al inferir las respuestas de un organismo a condiciones climáticas basadas sobre su distribución en el rango de origen y al extrapolar esas respuestas a la zona invadida. Puede ser hecho en forma muy simple en CLIMEX; una plantilla climática del rango de origen es escogida de un menú por defecto (por ejemplo, un clima subtropical o mediterráneo), el cual es más representativo de las condiciones climáticas en el rango de origen. Los parámetros climáticos que afectan las respuestas de los organismos y que definen la plantilla elegida son “ajustados” hasta que los mapas de distribución resultantes en su mayoría se asemejan más cercanamente al rango conocido de origen de la plaga o del enemigo natural. Se asume que los ajustes de parámetros que definen las respuestas climáticas del organismo de interés, son entonces estimaciones cercanas a los parámetros reales que afectan su distribución. CLIMEX y otros programas no incluyen el conocimiento del impacto de la disponibilidad de la planta hospedera, la competencia interespecífica, la actividad de los enemigos naturales, etc, sobre la distribución de las especies en su rango de origen. Los programas con los modelos solamente usan datos de estaciones climáticas para describir la distribución resultante de los organismos de interés. Consecuentemente, se asume que las condiciones climáticas son responsables principalmente de la distribución observada que define el rango de origen.

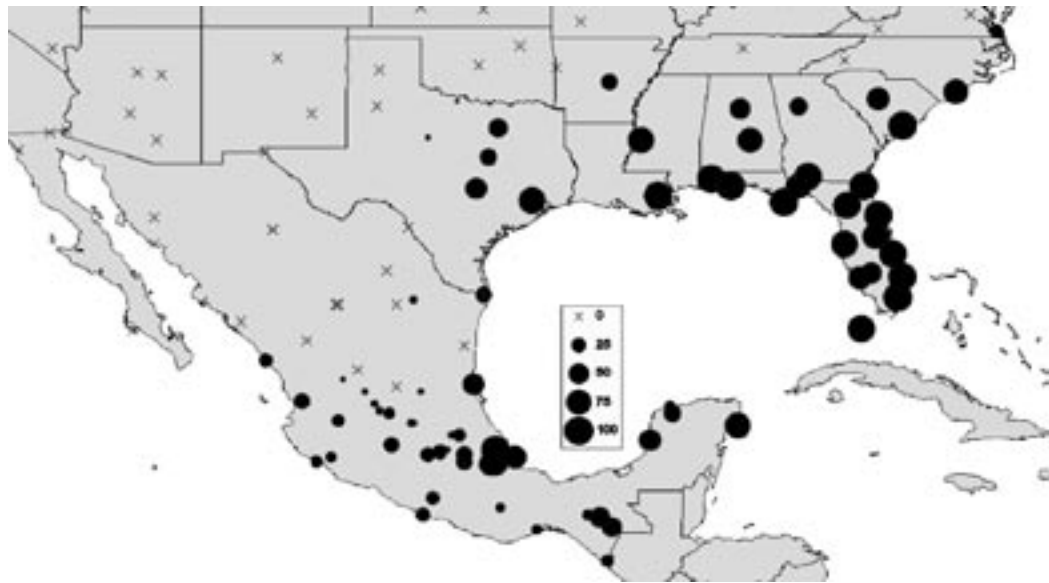
La chicharrita de alas cristalinas, *Homalodisca coagulata* (Say) (Hemiptera: Cicadellidae) es una plaga importante en California (EU) por ser vectora de la bacteria patógena, *Xylella fastidiosa* Wells *et al.*, la cual mata una variedad de especies ornamentales y agrícolas (por ejemplo, uvas y almendras) al obstruir el xilema e impedir la conducción del agua. Esta plaga es nativa del sureste de los Estados Unidos y el noreste de México e invadió California a finales de los años 1980's. Después de un substancial período de tiempo, las poblaciones de *H. coagulata* aumentaron demasiado y la plaga empezó a moverse rápidamente desde el sur de California hacia el norte, causando un daño substancial económico por el vector *X. fastidiosa* en los viñedos. Aunque ninguna información sobre el efecto de diferentes temperaturas

sobre la biología de desarrollo y reproductiva están disponibles, el modelo de inferencia fue conducido para tratar de definir los límites climáticos de *H. coagulata* en su rango de origen conocido (**Figura 14-2**) y después este modelo fue aplicado para determinar su nuevo rango potencial en California y globalmente (**Figura 14-3**). Esta plaga subsecuentemente ha invadido la Polinesia Francesa, Hawaii y la Isla Easter, tal como lo predijo el modelo deductivo (Hoddle, 2004a). Tal enfoque ayuda a alertar a los practicantes de control biológico del posible rango geográfico de los enemigos naturales que podría requerirse para operar, y también proporciona sugerencias acerca de otras áreas donde la plaga puede ocurrir naturalmente pero que no se habían registrado. Por ejemplo, la Península de Yucatán y el Caribe pueden producir poblaciones de *H. coagulata* con complejos de parasitoides desconocidos que podrían ser de utilidad en proyectos de control biológico contra la plaga.

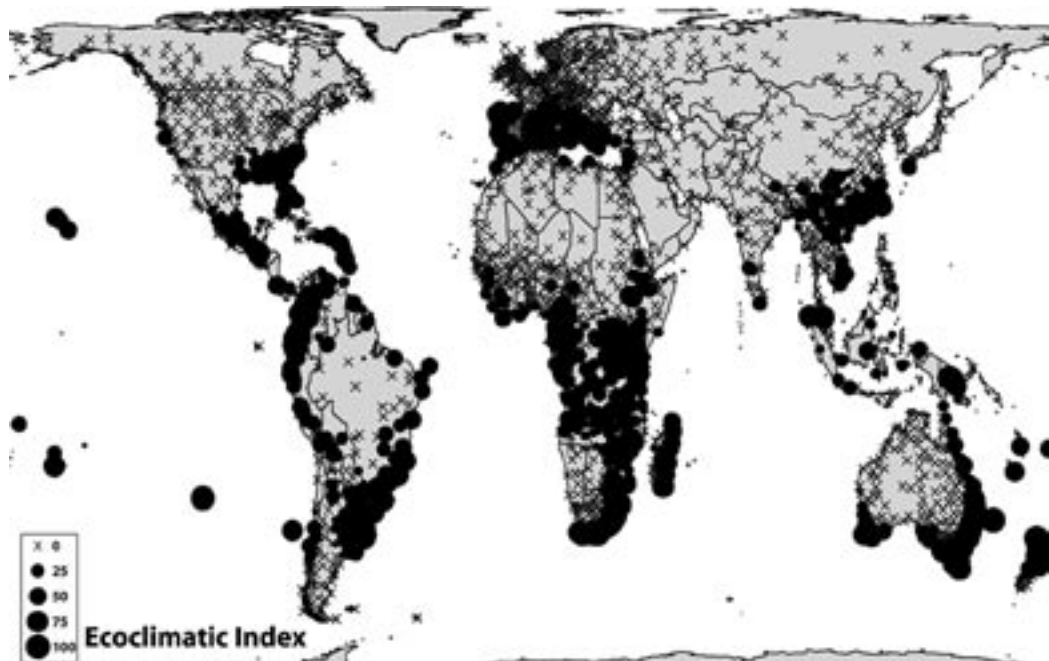
Ya que los datos de respuesta climática típicamente no existen para muchas plagas importantes (y sus enemigos naturales), hay necesidad de incrementar el uso de modelos inductivos para estimar los riesgos que presentan dichas plagas. Tales predicciones de los modelos pueden proporcionar estimaciones generales de riesgos de esas plagas que podrían establecerse y entonces amenazar a las empresas agrícolas o a la naturaleza en varias áreas bajo climas actuales y potenciales (por ejemplo, cambios debido al calentamiento global) (Sutherst y Maywald, 2005). El modelo inductivo ha sido usado para valorar el riesgo de varios insectos plaga exóticos que invaden nuevas áreas (MacLeod *et al.*, 2002; Vera *et al.*, 2002; Hoddle, 2004a; Sutherst y Maywald, 2005;), la dispersión global de enfermedades de plantas importantes (Paul *et al.*, 2005), la valoración del riesgo para el establecimiento y el rango de expansión de ácaros depredadores transgénicos (McDermott y Hoy, 1997), el rango esperado de enemigos naturales de malezas en áreas introducidas (Mo *et al.*, 2000), y los factores climáticos y edáficos que limitan la dispersión de ácaros plaga del suelo (Robinson y Hoffmann, 2002). Con un número siempre en incremento de las publicaciones que usan programas de modelos del clima, especialmente CLIMEX, para investigar las hipótesis relacionadas al clima acerca de la dispersión e impacto de la plaga y los enemigos naturales, está siendo recomendada la colaboración global y el compartir información a través de comunidades de investigación internacional vía Internet (Sutherst *et al.*, 2000).

## MODELOS DEDUCTIVOS: PREDICCIÓN DEL ÉXITO EN LA DISPERSIÓN Y LA INCURSIÓN

La predicción precisa de la capacidad de un insecto para acumular suficientes días-grado para completar el desarrollo y empezar la reproducción en una nueva área, puede indicar qué tan vulnerable es esa región a la invasión por un organismo exótico (Sutherst, 2000; Baker, 2002) y si la incursión será temporal, debido a condiciones desfavorables por períodos prolongados (Jarvis y Baker, 2001; Hatherly *et al.*, 2005) o potencialmente permanente debido a condiciones favorables a través del año para el desarrollo y la reproducción (Sutherst, 2000; Baker, 2002). Consecuentemente, la sobrevivencia es influenciada no sólo por las temperaturas críticas (p. ej., umbrales superiores e inferiores de temperaturas letales) sino también por la magnitud de tiempo de la exposición. Todos los artrópodos mueren cuando son expuestos a períodos prolongados de excesivo calor, a menos que tengan adaptaciones únicas para tratar



**Figura 14-2.** Mapa de la distribución de *Homalodisca coagulata* en su rango de origen generado en CLIMEX por un modelo inductivo. Los parámetros del modelo en la “plantilla templada” fueron interactivamente ajustados hasta que la distribución observada fue obtenida. Los puntos negros grandes indican una alta adecuación climática para *Homalodisca coagulata*. Las abreviaciones para los estados de los Estados Unidos son: AL = Alabama, AR = Arkansas, FL = Florida, GA = Georgia, LA = Louisiana, MS = Mississippi, NC = Carolina del Norte, SC = Carolina del Sur, TX = Texas y VA = Virginia. Para detalles completos sobre cómo fue preparado el modelo, ver Hoddle (2004a).



**Figura 14-3.** Distribución global predicha de *Homalodisca coagulata* a partir de un modelo inductivo. Las cruces indican áreas no adecuadas para *H. coagulata* y los puntos negros indican áreas de adecuación climática variable (Según Hoddle 2004a).

con ese estrés. Para ayudar a la predicción de la sobrevivencia en invierno en áreas inhabitadas, la mayoría de las investigaciones se ha enfocado a la capacidad de los insectos para sobrevivir a períodos prolongados de frío.

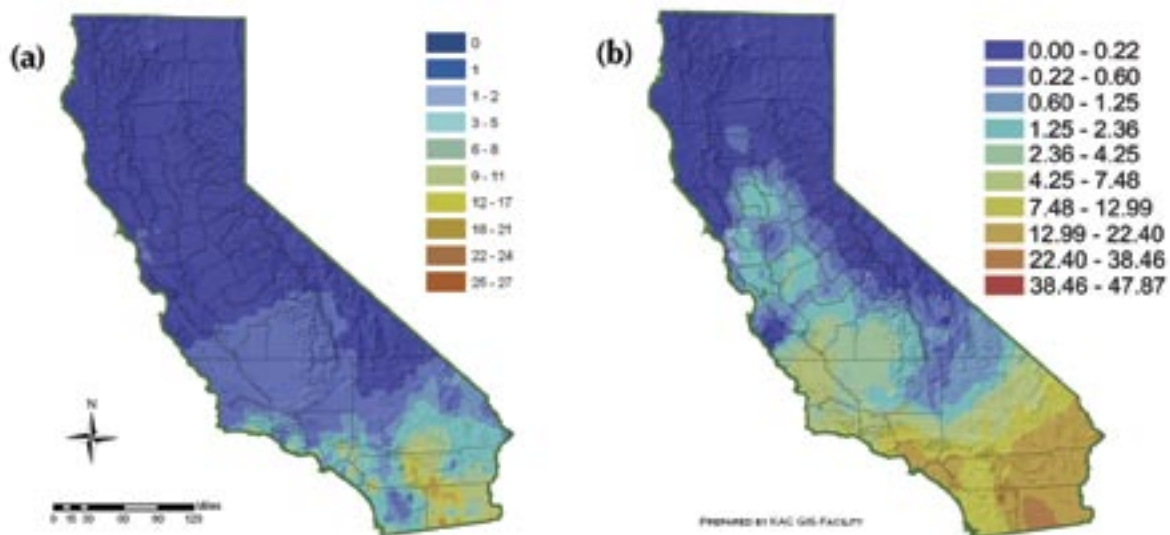
Dos parámetros que pueden predecir confiablemente la sobrevivencia del invierno cuando se usan en combinación son  $LT_{Tiempo_{50}}$  y  $LT_{Temperatura_{50}}$ , la longitud del tiempo de exposición o la temperatura experimentada, respectivamente, en la cual el 50% de los insectos del experimento mueren (Leather *et al.*, 1993). La sobrevivencia al invierno de algunas especies de plagas, como trips, polillas y moscas blancas en el Reino Unido, se correlaciona cercanamente con la cantidad del tiempo que estos insectos están a  $-5^{\circ}\text{C}$  (Bale y Walters, 2001). Estudios similares para agentes de control biológico, incluyendo chinches depredadoras, ácaros, coccinélidos y parasitoides de moscas blancas, han demostrado una fuerte correlación entre  $LT_{Tiempo_{50}}$  en el laboratorio a  $5^{\circ}\text{C}$  y la sobrevivencia del invierno en el Reino Unido (Hatherly *et al.*, 2005). Esos tipos de datos para enemigos naturales pueden ser usados para valorar la invasión y el riesgo de establecimiento en nuevas áreas y puede ser un componente importante de los estudios de valoración del riesgo ambiental, antes de las liberaciones de enemigos naturales, donde el establecimiento permanente no es deseado (p. ej., en el control aumentativo) (Hatherly *et al.*, 2005). La utilidad de este trabajo ha sido demostrado por la investigación del ácaro fitoseido *Neoseiulus californicus* (McGregor). Esta es una especie disponible comercialmente que es usada en Europa y en otras regiones para el control de ácaros plaga en invernaderos y sus poblaciones establecidas inesperadamente en el exterior de ambientes protegidos (Hart *et al.*, 2002). Las especies tropicales o subtropicales que son incapaces de sobrevivir cortos períodos de exposición al frío, pueden sobrevivir en invernaderos u otros ambientes protegidos (por ejemplo, en arboretos). Algunos trips plaga (p. ej., *Thrips palmi* Karny y *Frankliniella occidentalis* Pergande) pueden pasar el invierno en invernaderos europeos. Esas fuentes de poblaciones pueden invadir los cultivos en campos al aire libre cada primavera y verano, y si las temperaturas son adecuadamente cálidas por un período suficientemente largo, puede resultar en el rápido desarrollo de la población, causando daño económico (Morse y Hoddle, 2006). Para plagas y enemigos naturales con diapausa obligatoria, el conocimiento de la temperatura y la longitud del día que señalan el comienzo y el final del estado de descanso es requerido para determinar con precisión cuándo los ciclos de vida empiezan y terminan en una área determinada.

Para que cualquier población de insectos sobreviva en una área, ésta no debe solamente ser capaz de tolerar los extremos prevalecientes de calor y frío sino también de acumular suficientes unidades térmicas para completar el desarrollo del inmaduro y funcionar adecuadamente como adulto. Para determinar si las temperaturas en una área dada permanecen arriba del umbral mínimo crítico lo suficientemente para ser capaces de completar el desarrollo, se necesita un número estimado de días-grado requeridos para la maduración. El modelo de días-grado está basado en observaciones empíricas sobre la tasa de desarrollo en relación con la temperatura y también en que durante la mayoría de esta relación ocurra una interacción lineal (Campbell *et al.*, 1974). Cuando la tolerancia a los extremos de frío y calor se aproxima, la relación se convierte en curvilínea (Lactin *et al.*, 1995). La aplicación de los resultados de los análisis de los días-grado derivados de temperaturas constantes está llena de dificultades cuando se valoran las condiciones reales del medio ambiente, donde se experimentan temperaturas fluctuantes impredecibles (Baker, 2002). Además de controlar el desarrollo, la



temperatura influye en otros procesos fisiológicos que son críticos para la sobrevivencia de las poblaciones de enemigos naturales. Por ejemplo, las temperaturas que permiten el desarrollo más rápido de los estados inmaduros de los parasitoides pueden resultar en la disminución de la tasa de sobrevivencia y en la reducción de la fecundidad de la progenie (Pilkington y Hoddle, 2006). La incorporación de datos más detallados (por ejemplo, los requerimientos de días-grado) en programas como CLIMEX, potencialmente puede contrarrestar predicciones inadecuadas acerca del establecimiento de los enemigos naturales y de su impacto, cuando son usados solamente los parámetros de similitud climática para estimar el éxito (van Klinken *et al.*, 2003).

A pesar de las desventajas potenciales de los modelos de días-grado, estos han sido muy útiles para determinar la fenología de la plaga y de los enemigos naturales en el campo, y para ayudar en las decisiones sobre dónde son necesarias las intervenciones para el control de plagas. En esta instancia, los datos de estaciones climáticas son usados para valorar la acumulación de los días grado para la plaga o para los enemigos naturales, y los programas están disponibles en el Internet para plagas específicas (UC-IPM, 2006). Sin embargo, las estaciones meteorológicas con frecuencia están dispersas, pueden no estar cercanas a los sistemas de cultivo, ser afectadas por efectos de microclimas no representativos o carecer de datos en suficientes años para un análisis significativo. Tales inconsistencias pueden ser aliviadas hasta cierto punto por la interpolación de datos de varias estaciones climáticas en la zona de interés. Los datos del clima interpolados pueden ser combinados con la fenología o con los modelos demográficos y ser analizados con programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar mapas coloreados que muestren varias estimaciones de, por ejemplo, el número de generaciones en un área dada, o el resultado de la reproducción neta (Figuras 14-4).



**Figuras 14-4a,b.** Mapeo por Sistemas de Información Geográfica de las estimaciones estadísticas de la tabla de vida, tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) para los parasitoides de huevecillos de *Homalodisca coagulata* (a) *Gonatocerus ashmeadi* Girault y (b) *G. triguttatus* Girault en California, EU.  $R_0$  y la temperatura fueron determinadas y modeladas en SIG, usando datos de 260 estaciones climáticas en California. Los resultados son sorprendentes: puede esperarse que *G. ashmeadi* se distribuya en la mayor parte de California y reproducirse anualmente, mientras que *G. triguttatus* puede estar severamente restringida a regiones localizadas del sur de California (mapas dibujados por M. Hoddle).

## CONCLUSIONES

El clima es un factor muy importante que afecta el éxito del establecimiento y la reproducción de especies invasoras (p. ej., plagas y enemigos naturales introducidos deliberadamente) en nuevas áreas. Los practicantes de control biológico han estado de acuerdo en gran medida en que la similitud entre los climas de la región donante y la de introducción, debería ser cuidadosamente considerada y utilizada para elegir las áreas con mayor similitud para los prospectos de enemigos naturales. A pesar de la importancia tácita de la similitud del clima, muy pocas evaluaciones empíricas han sido conducidas para explorar explícitamente esta hipótesis básica. Sin embargo, esta situación parece estar cambiando y el número limitado de análisis retrospectivos que han sido efectuados, apoyan tentativamente la importancia de la correspondencia climática y el establecimiento e impacto del éxito de los enemigos naturales. Los modelos de computador, combinados con datos ecológicos de los enemigos naturales y de las plagas a controlar, son de gran ayuda en las investigaciones sobre la influencia del clima en el desarrollo de la población y la dispersión geográfica de los organismos. Debería recordarse que el clima no puede ser el único factor que afecta el establecimiento y dispersión de un organismo. La disponibilidad de los hospederos, los sitios para resguardarse del invierno, los competidores residentes y los enemigos naturales generalistas, por ejemplo, interactuarán todos con el clima en diferentes formas para afectar el éxito del establecimiento, la proliferación, la dispersión e impacto.