

## ENSAYO

Elizabeth Aguilera Garramuño<sup>1</sup>

## ABSTRACT

**Views of landscape ecology in applied entomology**

Landscape ecology is the study of how landscape structure affects the abundance and distribution of organisms. Also it is defined as the study of the effect of spatial and temporal pattern in ecological process.

Structure and pattern terms include spatial heterogeneity, which are approached through series of new techniques and software. Relatively recent developments of many techniques, such as landscape models and metrics, enable ecologists to examine spatial and temporal patterns. This paper is aimed at stimulating discussion amongst academic and research groups concerning current and future issues in landscape ecology in applied entomology.

*Key words:* landscape ecology, applied entomology, agro-ecosystem, environmental heterogeneity, insect pest.

## Perspectivas de la ecología del paisaje en entomología aplicada

## RESUMEN

En este ensayo se analiza la contribución de la 'ecología del paisaje' al conocimiento de la dinámica espacial de los organismos con énfasis en el área de la entomología aplicada. Esta es una disciplina de investigación relativamente nueva en la ecología que estudia el efecto de la estructura de los paisajes sobre la abundancia y distribución de los organismos; también se define como el estudio del efecto de los patrones espaciales y temporales sobre los procesos ecológicos. Los términos 'estructura' y 'patrones' involucran el concepto de 'heterogeneidad espacial', características abordadas con una serie de técnicas nuevas como modelos e índices espaciales. Estos avances pueden contribuir a entender la dinámica espacial y temporal de los insectos en los agroecosistemas y complementar los enfoques actuales de investigación y manejo de problemas fitosanitarios. El objetivo de este artículo es estimular en los gremios académicos y de investigación la discusión sobre las perspectivas de la aplicación de la ecología del paisaje en el área de la entomología aplicada.

*Palabras clave:* ecología del paisaje, entomología aplicada, agroecosistemas, heterogeneidad ambiental, insectos plaga.

## INTRODUCCIÓN

EL PROPÓSITO DE ESTE ensayo es incentivar la discusión y el análisis en las diversas instancias académicas y de investigación sobre las perspectivas de la 'ecología del paisaje' en los estudios de entomología aplicada. La 'ecología del paisaje' es una subdisciplina relativamente nueva de la ecología que estudia el impacto que tienen los diferentes componentes del paisaje en los procesos ecológicos que afectan la distribución y abundancia de los organismos, en este caso los insectos plaga.

El conocimiento de la manera como el arreglo espacial de los elementos del paisaje, es decir la estructura, afecta la dinámica de los organismos vivos se plantea como una área de estudio que puede contribuir al manejo sostenible de los procesos fitosanitarios en los agroecosistemas y los sistemas de producción (Schweiger, 2005; Tschardt et al., 2005; Beckler et al. 2004; Weibull y Ostman 2003). Desde esta perspectiva la ecología del paisaje plantea una plataforma para abordar la heterogeneidad espacial en los estudios entomológicos y fitosanitarios de manera específica, pues este enfoque enriquece y complementa los estudios actuales sobre sistemas cultivo-insectos, que por lo general se desarrollan en unidades experimentales homogéneas sin tener en cuenta el con-

texto espacio-temporal en que ocurren en la naturaleza.

Histórica y convencionalmente las investigaciones se han focalizado en identificar los patrones y las dinámicas de procesos biológicos dentro de hábitat o unidades de análisis relativamente homogéneas (ciénagas, bosques) y la variación espacial se ha asumido a través de índices de heterogeneidad o de dispersión (Liebhold y Gurevitch, 2002). Estos índices relacionan la varianza de las muestras con la varianza de la media, sin tener en cuenta el referente espacial de los datos. En consecuencia, los índices no son capaces de detectar los patrones de distribución espacial de las observaciones, una de las características determinantes para modelar y entender la dinámica espacial y temporal de los organismos (Wiens, 1992; Keitt et al., 2002).

Aunque la importancia de la heterogeneidad ambiental en la dinámica de los organismos fue planteada a inicios de siglo pasado por investigadores como Andrewartha y Birch (1984), sólo a inicios de 1990 toma relevancia y se aborda de manera explícita en lo teórico y lo metodológico. Este desarrollo se atribuye en parte a la disponibilidad tecnológica de sensores remotos, sistemas de información georreferenciados y de la estadística espacial, herramientas que

Recibido: mayo 14 de 2006.  
Aceptado: junio 24 de 2006.

1. Investigadora master principal, Grupo de Manejo Integrado de Plagas, Centro de Investigación Tibaitatá, CORPOICA. e-mail: eguilera@corpoica.org.co

facilitan el estudio de procesos espaciales complejos y apoyan el surgimiento de nuevas disciplinas de investigación como la ecología del paisaje, área del conocimiento que está en etapa de construcción teórica y metodológica (Liebhold *et al.*, 1993; Wiens, 1996).

Aunque esta disciplina se asocia principalmente con el sector ambiental (Wiens, 2005), en la literatura de la última década se evidencia la consolidación de una línea de trabajo en el área de la entomología aplicada orientada a entender la dinámica y persistencia de las poblaciones de insectos en los paisajes agropecuarios (Isaia *et al.*, 2006; Tscharnkte *et al.*, 2005; Thies y Tscharnkte, 1999; Dobrowolski *et al.*, 1993; Ryszkowski *et al.*, 1993; Hunter, 2002).

El enfoque dado por la ecología del paisaje ha tenido eco en Colombia y actualmente un grupo pequeño de investigadores, académicos y estudiantes ven en esta disciplina un área de trabajo que puede contribuir al desarrollo de la investigación entomológica aplicada. Así, el objetivo de este documento es hacer conocer las bases teóricas de esta disciplina y sintetizar su evolución en el sector agropecuario, como base para abrir un espacio de discusión y estimular el interés sobre el tema en los sectores pertinentes.

### ¿Qué es la ecología del paisaje?

La ecología del paisaje se define como una subdisciplina de la ecología y de la geografía que aborda la forma en que la variación espacial en el paisaje afecta los procesos ecológicos, tales como la distribución y el flujo de la energía, los individuos y los materiales en el ambiente y cómo éstos, a su vez, pueden influenciar la distribución de los elementos en el paisaje.

El primero en utilizar el término 'ecología del paisaje' fue Carl Troll, un alemán que ya en 1939 planteó la necesidad de integrar la geografía con la ecología para abordar problemas de desarrollo (Naveh, 1991). Este enfoque fue adoptado en Europa por los planificadores del paisaje, forestales y agricultores en los años 60 y entra a Estados Unidos y Australia a inicios de 1980, para abordar problemas de conservación en áreas naturales (Wiens, 1997; Forman, 1995). Predominan dos escuelas de pensa-

miento en ecología del paisaje que son ampliamente reconocidas y que tienden a integrarse: la escuela europea, con un enfoque más humanístico y holístico, y la norteamericana con un acento mayor en aspectos biofísicos y analíticos. Identifica tres tendencias dominantes en las áreas de investigación en ecología del paisaje:

- a) una aproximación holística que sigue los lineamientos originales de esta disciplina: resolver problemas del manejo de recursos desde la perspectiva de la ecología humana.
- b) un nivel de organización o escala de investigación en donde se conservan las preguntas convencionales (porcentaje de parasitismo, de mortalidad, índices de eclosión, etc.) pero en contextos espaciales amplios y,
- c) un enfoque que aborda de manera explícita la estructura y dinámica de los mosaicos del paisaje y su efecto en los fenómenos ecológicos, en donde la escala de investigación está definida por el organismo estudiado y las preguntas que se hagan.

Entre estos enfoques, el último es el más aceptado como eje de investigación en ecología del paisaje y es en dicha tendencia en la que se producen los avances conceptuales, teóricos y metodológicos más importantes (Wiens, 1997).

Wiens (2002, 2005) define el término 'paisaje' como un mosaico de elementos espacialmente definidos que difieren en sus propiedades cualitativas y cuantitativas y que se caracterizan por su configuración espacial. Con base en esta definición, dicho autor se plantea que la ecología del paisaje es una ecología espacialmente explícita y la define como el estudio de la estructura y dinámica de los mosaicos espaciales, así como de sus causas y consecuencias ecológicas y enfatiza en dos aspectos conceptuales importantes: a) los estudios de esta disciplina giran alrededor de los patrones espaciales y de la forma en que afectan y son afectados por procesos espacialmente dependientes, b) la relación entre patrones y procesos ecológicos, espacialmente explícitos, se puede aplicar a cualquier nivel de organización jerárquica o de escala de resolución. Finalmente, Wiens (1997) plantea que esta es una disciplina aún inmadura, cuyo avance depende de la consolidación de una base conceptual común y del acercamiento entre los enfoques de investigación básica y apli-

cada; así mismo, resalta la necesidad de enlazar la ciencia y la acción antrópica para resolver problemas asociados con las actividades del hombre y consolidar el desarrollo conceptual de la ecología del paisaje. A su vez, Turner y Gardner (2005) plantea la necesidad de impulsar los procesos de consolidación conceptual y metodológica de esta disciplina a través de procesos rigurosos de evaluación de la generalidad de sus conceptos y métodos de investigación.

Así, la evolución de esta disciplina inicia su consolidación con el surgimiento de la Asociación Internacional de Ecología del Paisaje (*International Association for Landscape Ecology*, IALE) en 1982 y el *Journal of Landscape Ecology* que circula desde 1987, así como con la oferta en aumento de libros disponibles y páginas web activas sobre el tema.

### Preguntas que se plantean en ecología del paisaje

La pregunta base sobre la cual giran los estudios de ecología del paisaje es: ¿cómo influyen la composición y la estructura de los paisajes sobre los patrones de natalidad, mortalidad, parasitismo, predación, migración etc. que determinan la distribución y abundancia de los organismos? (Fahrig, 2005). Independiente del problema que se quiera abordar, la contribución de esta disciplina al estudio de los procesos ecológicos se resuelve en el hecho que hace posible incorporar características de la estructura de los paisajes en las variables de respuesta de los procesos biológicos observados a escalas locales; en otras palabras, involucra la heterogeneidad espacial del entorno en las variables de predicción. Para Fahrig (2005) la meta de la ecología del paisaje es entender cómo la estructura o los patrones del paisaje (propiedad emergente de las interacciones entre los entes biótico y abiótico), afectan la abundancia y distribución de los organismos, lo cual marca una diferencia con los estudios convencionales en donde se abordan los procesos de interés a nivel local sin tener en cuenta el contexto del paisaje.

Las variables de respuesta en los estudios de ecología del paisaje son aquellas que expresan la abundancia, distribución y los procesos (número de capturas, porcentaje de parasitismo, predación, mortalidad, incidencia de daño en cultivos, etc.) que afectan las especies de interés;

por su parte, las variables de predicción sintetizan la estructura de los paisajes en donde están inmersas las unidades experimentales o de observación, tanto bióticas como físicas (Fahrig, 2005).

### Métrica del paisaje

Los términos 'composición' y 'estructura' de los paisajes se inscriben bajo el concepto de 'heterogeneidad ambiental' y se expresan a través de patrones espaciales en los paisajes (Fahrig, 2005); en consecuencia, la definición, cuantificación y análisis de los patrones citados establecen las bases de estos estudios. Además, Turner y Gardner (2005) plantean la necesidad de aclarar conceptos y términos que son esenciales en los procesos de medición y descripción de los patrones y procesos espaciales.

El primer concepto es el de 'escala', que se define convencionalmente como la medida del grado de resolución espacial y temporal de un proceso; sin embargo, desde la perspectiva de la ecología del paisaje, escala se define como un grupo de parches<sup>2</sup> que interactúan de manera significativa para el proceso ecológico que se aborda, en donde el tamaño del paisaje depende de la escala a la cual la variable de respuesta responde (Wiens, 1992; Forman, 1995; Turner *et al.*, 1991). Así mismo, Dungan *et al.* (2002) hacen un análisis de los problemas asociados con la definición de escala así como de los métodos estadísticos para abordarla y examinan las consecuencias en los resultados de investigación; este es un documento clave en la introducción del tema.

Turner *et al.* (1991) plantean tres conceptos ecológicos importantes asociados a la escala: la composición, la estructura y función de los paisajes. La *composición* hace referencia a la diversidad de tipos de hábitat y de parches presentes en un paisaje y su abundancia relativa. En un agroecosistema la composición puede expresarse en los diferentes tipos de

<sup>2</sup> En ecología del paisaje, los 'parches' son unidades del paisaje relativamente homogéneas en su interior con respecto a la variable que se está analizando; tienen una forma y una configuración espacial y pueden ser descritos por las variables internas tales como tipo de cultivo, material genético, estado de desarrollo, manejo tecnológico (densidad de siembra, riego, manejo de plagas y enfermedades) y otras variables similares (Forman, 1995).

coberturas naturales y antrópicas (tipos de cultivos, pasturas, áreas urbanas, densidad de carreteras, invernaderos cubiertos, etc.), en los tipos de suelos o en los paisajes del área de estudio. La *estructura* está determinada por la composición, la configuración y la proporción de los diferentes parches en el paisaje, mientras que la *función* hace referencia a la forma en que cada elemento en el paisaje interactúa basado en los eventos de los ciclos de vida. Estos conceptos se reflejan en patrones espaciales y describen el contenido y el orden interno de un paisaje, en donde hay heterogeneidad espacial o una distribución no aleatoria de objetos (hábitat, parches) cuyo estudio separa esta disciplina de otras áreas de la ecología (Forman y Gordon, 1986; Forman, 1995).

La caracterización de los patrones espaciales se hace a partir de mapas categóricos o temáticos (cobertura y usos de los suelos, paisajes, suelos, climas) basados principalmente en el modelo parche corredor matriz propuesto por Forman (1995), el cual utiliza tres tipos de elementos del paisaje para conceptualizar y representar los patrones: parches, matriz y corredores.

Un paisaje está compuesto de un mosaico de parches también llamados 'elementos' o 'unidades básicas' pertenecientes a paisajes, hábitats, sitios, geotopos, ecotopos, biotopos, componentes del paisaje o facies (Urban *et al.*, 1987; Forman y Gordon, 1986). Ocurren a una gran variedad de escalas temporales y espaciales dependiendo de la percepción de cada organismo (Wiens, 1989). Ecológicamente los parches representan áreas discretas o períodos de tiempo con condiciones ambientales relativamente homogéneas cuyos bordes se distinguen por discontinuidades ambientales en magnitudes que son percibidas o son relevantes para el organismo o proceso bajo observación (Wiens, 1976).

Desde la perspectiva 'evolutiva' propia de los organismos vivos, los parches se pueden definir como unidades ambientales en las cuales ocurren las perspectivas de éxito reproductivo. Los parches están inmersos en una matriz que es el elemento de trasfondo más extenso y de mayor conectividad o continuidad espacial en un paisaje; así, las especies que predominan en la matriz son las que predominan en el paisaje.

En el nivel formal, generalmente estas 'matrices paisajísticas' presentan bordes cóncavos que abrazan los otros elementos del paisaje (parches y corredores) y juegan un rol dominante en los flujos de materia y energía (Forman y Gordon, 1986).

Por tanto, los corredores constituyen elementos lineales del paisaje que difieren de la matriz en dos sentidos: 1) pueden estar aislados o conectados a un parche con características relativamente semejantes a las del corredor, y 2) así mismo pueden funcionar como conectores para promover el flujo de organismos o energía entre los parches que une o actúan como hábitat permanente o temporal, medio de dispersión, barrera o como fuente de modificación de las matrices circundantes (Forman, 1995; Forman y Gordon, 1986).

La zona de transición entre dos elementos distintos del paisaje (por ejemplo, un área cultivada y otra no cultivada) tiene características de ambos elementos y, a veces, se le considera un tipo de elemento del paisaje por sí misma (un tipo de hábitat). Suelen ser zonas secas y calientes, con más especies de malezas que los parches que separa y que actúan como barreras (permeable o impermeable) en el flujo de materia y energía entre los parches, con implicaciones directas o indirectas en la dinámica espacial de las especies (Marshall *et al.*, 2002; Kleijn, 2000).

Con base en la cuantificación geométrica de la combinación de estos elementos (parches-matriz-corredores) del paisaje, se generan estadísticas e índices que describen la composición y estructura de los paisajes en donde están inmersas las unidades de estudio. A través de estos índices se incorporan las características del paisaje en el estudio de los procesos ecológicos para cuantificar las diferencias entre y dentro de las zonas de estudio e inferir agentes subyacentes o mecanismos causales de la formación de estos patrones. Perry *et al.* (2002), hacen un análisis de las técnicas de análisis espacial disponibles para orientar a investigadores de poca experiencia en el tema. Aunque estos índices se pueden calcular mediante operaciones matemáticas manuales hay varios programas disponibles para generar las métricas de los paisajes. McGarigal (2004) hace una reseña de los principales programas disponibles (FRAGSTATS®, FRAGSTATS\*ARC®,

R.LE PROGRAMS<sup>®</sup>, PATCH ANALYST<sup>®</sup>, LEAP II<sup>®</sup>, LANDISVIEW<sup>®</sup>). De éstos el más utilizado es FRAGSTATS<sup>®</sup>, un programa de distribución gratuita que va en su tercera edición.

### Premisas de investigación en ecología del paisaje

En general, los estudios abordados desde la perspectiva de ecología del paisaje comparan el comportamiento o repuesta de los procesos investigados en paisajes contrastantes. En estos trabajos se incorporan variables (estructura y composición) que cuantifican la heterogeneidad ambiental (suelos, paisajes, coberturas, etc.) dentro y entre los paisajes en que están inmersas las unidades de estudio (planta, lote, predio, paisaje, etc.).

Cada paisaje constituye una unidad de estudio y su tamaño depende de la pregunta que se haga y de la escala a la cual las variables de respuesta de los procesos estudiados interactúan en el paisaje, lo que está directamente relacionado con la escala de movimiento del organismo bajo estudio (Wiens, 1976; Fharrig, 2005). En otras palabras, los datos tomados en cada unidad de análisis representan paisajes individuales y el comportamiento o proceso de interés se compara entre paisajes que tengan diferentes estructuras (Fharrig, 2005).

A fin de revisar los enfoques analíticos particulares de la ecología convencional y de la ecología de paisaje, revisemos el siguiente ejemplo. Para evaluar desde la perspectiva ecológica convencional el nivel de parasitismo en campo de una avispa sobre las larvas de un artrópodo plaga, se mide el porcentaje de larvas con y sin parasitismo por planta (variable de respuesta) en un número determinado de lotes y las variables de predicción podría ser el número de larvas por planta susceptibles de ser parasitadas y/o el número de huevos del parasitoide presentes en el entorno (Figura 1a).

En el enfoque paisajístico lo que cuenta es el efecto que tienen las variables del entorno o contexto del paisaje sobre las variables de respuesta, en este caso, número de larvas parasitadas por planta. Esta pregunta requiere de un diseño diferente. Primero, hay que definir el tamaño máximo (razonable logística y ecológicamente) del paisaje a considerar alrededor de la unidad de estudio (lote

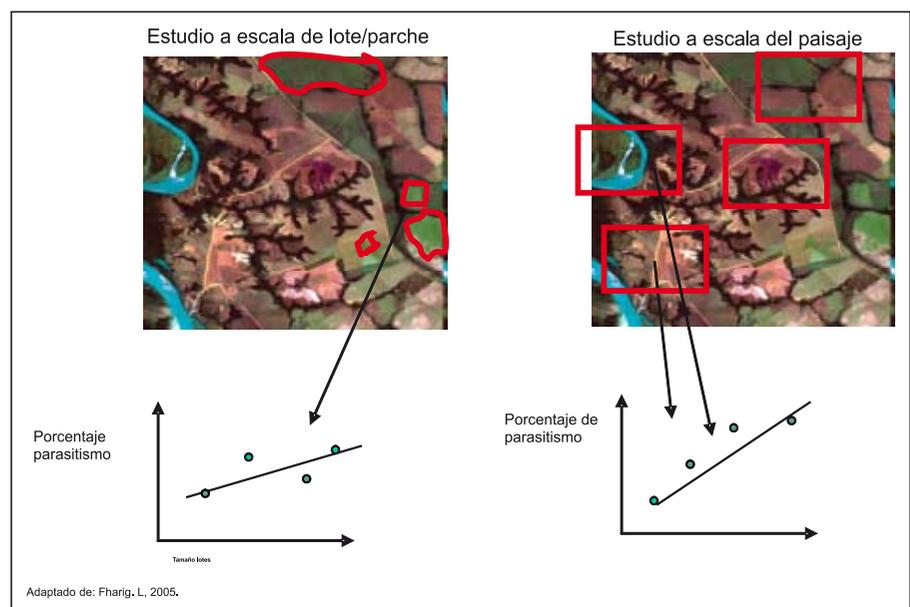
cultivado) recordando que el tamaño depende de la escala de movimiento de los organismos a estudiar (avispa). Si el depredador tiene una escala de movimiento de 3 km aproximadamente, entonces cada paisaje debe tener al menos 3 km de radio alrededor de la unidad de análisis. Los lotes deben estar en paisajes contrastantes y lo suficientemente separados como para que no se superpongan (Figura 1b).

En este caso, las variables de predicción incluirán, además de las ya mencionadas, el número de larvas susceptibles de ser parasitadas por planta y el número de parasitoides liberados por área, variables que sintetizan la estructura y configuración del paisaje en donde están inmersas las unidades de estudio. La selección de las variables a considerar dependerá de la biología y ecología de las especies bajo estudio.

En el ejemplo, el interés es evaluar los factores biofísicos que determinan un proceso local como el parasitismo (que a su vez incide en el nivel de daño que el artrópodo ocasiona en los lotes). Inicialmente se deberán establecer los factores que determinan la distribución y abundancia de los parasitoides naturales en un paisaje; el estudio debe involucrar diferentes hábitat (bosques de galería, rastrojos, cultivos, etc.) con tamaños y formas heterogéneas y en cada uno se

deberá medir la actividad de los parasitoides de interés (número de individuos por especie por área por hábitat). Cada hábitat debe estar ubicado en paisajes contrastantes y lo suficientemente separados entre sí para que no se traslapen. La definición del tamaño de paisaje sigue el criterio de la distancia máxima de dispersión de los adultos. En este caso, las variables de predicción incluyen, además de las características del paisaje, índices biológicos de heterogeneidad, dispersión, etc., y características de los hábitat (tamaño, forma, calidad, etc.), involucrando varias escalas del paisaje en las predicciones.

Como en toda disciplina en conformación, hay una serie de inquietudes alrededor del diseño y análisis espacial de datos ecológicos que han sido abordadas en una miniserie de artículos que exploran las áreas de concertación y las sintetizan a través de casos de estudio. Estos documentos fueron preparados para orientar investigadores noveles en el análisis espacial y abordan temas que son críticos en ecología del paisaje como la relación de la estructura espacial en el diseño y análisis de los muestreos ecológicos (Legendre *et al.*, 2002; Perry *et al.*, 2002), en el modelamiento de las interacciones ambiente-organismos (Keitt, 2002) y el concepto de escala y sus implicaciones en los análisis estadísticos (Dungan, 2002).



**Figura 1.** Evaluación de campo del nivel de parasitismo de una avispa sobre las larvas de un artrópodo plaga: a) En el estudio a escala de parche cada observación representa la información de un único lote o parcela y sólo se estudia un paisaje. b) En el estudio a escala de paisaje cada observación representa la información de un único paisaje de manera que se estudian múltiples paisajes con estructuras contrastantes.

### Ecología del paisaje y manejo integrado de plagas

Históricamente se ha reconocido que la persistencia de las plagas o de insectos benéficos en los agroecosistemas se relaciona con la disponibilidad espacial y temporal de hábitats, así como de hospederos alternos a los cultivos. Este tema se ha abordado desde la perspectiva de la agroecología y ha sido ampliamente difundido por Altieri y Nicholls (2000). La literatura registra muchos trabajos de manipulación ambiental dentro y alrededor de los lotes cultivados y en los predios para beneficiar algunas especies o comunidades de insectos que contribuyen al control de plagas (Altieri, 1999). La mayoría de estos trabajos se han abordado desde una perspectiva convencional, sin tener en cuenta la influencia, directa o indirecta, de la heterogeneidad de los paisajes en la dispersión y persistencia de las especies de interés. Wiens (1992), al igual que Liebhold *et al.* (1993), plantean que la heterogeneidad ambiental en entomología aplicada se ha focalizado en la identificación de patrones espaciales como estrategia para establecer medidas preventivas y que hay pocos estudios que vinculen de manera explícita la dinámica de las poblaciones con las características del paisaje.

Liebhold *et al.* (1993) identifican dos grandes líneas de trabajo alrededor de la dinámica espacial de insectos: a) la compilación y análisis de datos de censos y b) la caracterización de hábitat susceptibles a la irrupción de poblaciones. En el primer caso se generan mapas de incidencia espacial y temporal de plagas a través de la interpolación de datos obtenidos en puntos de muestreo con el fin de orientar las decisiones de manejo de cultivos y optimizar los sistemas de muestreo y vigilancia. En el segundo caso, se da un paso adelante y se correlacionan los patrones de incidencia espacial y temporal de las plagas con las características biofísicas de las zonas muestreadas y con aspectos biológicos y ecológicos de las especies, para generar modelos predictivos de las zonas de riesgo. Estos desarrollos se han implementado principalmente en grandes plantaciones forestales de Estados Unidos y Canadá para el manejo de plagas, así como en praderas australianas y africanas. También hay varias experiencias asociadas a insectos migratorios, principalmente polillas como *Lymantria*

*dispar* ('Gypsy moth'), en donde a partir de redes de muestreo regionales se generan sistemas de alerta disponibles diariamente en Internet. Estas áreas de trabajo han logrado altos niveles de desarrollo tecnológico y sofisticación en el modelamiento y disponibilidad oportuna de información para facilitar la toma de decisiones preventivas y de manejo de plagas, con bastante éxito en países desarrollados (Liebhold *et al.*, 1993).

Sin embargo, los estudios que vinculan directamente la epidemiología con la ecología del paisaje realmente surgen a finales del 2000 abordando los procesos ecológicos que explican los patrones de distribución y persistencia de insectos. Entre los procesos estudiados sobresalen los de dispersión y distribución espacial (Bonte *et al.*, 2004; Tschamtkke *et al.*, 2005; Rong *et al.*, 2006), relación predador-presa (Landis, 1996; Altieri, 1999; Kruess y Tschamtkke, 2000; Valladares *et al.* 2006), parasitismo (Tschamtkke *et al.*, 2005; Altieri, 1999; Menalled *et al.* 1999); diversidad y riqueza de especies (Weibull y Ostman, 2003; Ryszowski *et al.*, 1993; Menalled *et al.*, 1999; Tschamtkke *et al.*, 2005; Isaia *et al.*, 2006), incidencia de insectos (Lefko, 1998; Scott *et al.*, 2004), manejo de servicios ambientales (Hedlund, 2004; Tschamtkke *et al.*, 2005), identificación de escalas de trabajo (Chust *et al.*, 2003; Ferguson *et al.*, 1999), heterogeneidad espacial y calidad de alimento en la dinámica de herbívoros (Hansky y Singer, 2001) y sistemas de predicción de plagas a escala del paisaje (Koch *et al.*, 2006; Beckler, *et al.*, 2004).

Varios autores coinciden en afirmar que una de las áreas de trabajo que tiene grandes perspectivas en ecología del paisaje es el estudio de las metapoblaciones, pues están en desarrollo grandes aportes teóricos y metodológicos (Wiens, 1997; Tschamtkke y Roland-Brandl, 2004). Se trata de modelos que están divididos en subpoblaciones que ocupan diferentes parches de hábitat en el paisaje, en donde se dan procesos de extinción y recolonización, manteniendo un equilibrio poblacional a escala regional (Wiens, 1992). Aunque estos modelos tienen una connotación espacial explícita, la ecología del paisaje permite relacionar directamente las características de la estructura de los paisajes (variación temporal y espacial de la calidad de los parches, efecto de borde, conectividad del paisaje y contexto de los parches

y de los paisajes) con los tres procesos clave de los modelos metapoblacionales: extinción local, movimiento entre parches y recolonización (Wiens, 1992). El desarrollo de estos modelos poblacionales también es relativamente nuevo en ecología y es uno de los escenarios de trabajo más importantes en ecología aplicada (Hunter, 2002).

A través de estos estudios se ha demostrado empíricamente la influencia de algunas características de los paisajes en la abundancia, riqueza y dinámica de los insectos, las cuales que son ampliamente aceptadas por los ecólogos, entre ellas: el aislamiento de fragmentos de hábitat (Collinge, 2000), la relación entre el borde y el interior del hábitat (Chen *et al.*, 1995), el tamaño del área (Kruess y Tschamtkke, 2000), diversidad y calidad de hábitat (Hansky y Singer, 2001) y microclima (Schweiger *et al.*, 2005).

En síntesis, se plantea que el conocimiento de la influencia que tiene la estructura de los paisajes en la dinámica de los insectos es una aspecto clave para predecir la presencia y abundancia de especies en paisajes fragmentados, entender las interacciones entre especies y las estructuras tróficas, la respuesta de la dinámica y el comportamiento de insectos a la estructura del paisaje, temas que Hunter (2002) sintetiza en las siguientes prioridades de investigación:

- ¿Cuáles son los patrones de distribución de los recursos y la conectividad entre ellos que permiten la persistencia de poblaciones regionalmente?
- ¿Cómo puede influir el arreglo espacial de los hábitat sobre la presencia, abundancia y persistencia de las especies de interés (benéficas y plagas)?
- ¿Cómo se establecen las escalas espaciales y temporales para entender la persistencia y dinámica de las poblaciones en los agroecosistemas?
- ¿Cuál es el efecto del tamaño, la forma, el arreglo espacial y la conectividad de los parches en la dinámica de las especies y comunidades?
- ¿Cómo influencia el tipo de matriz y la estructura del paisaje las poblaciones locales?

Este enfoque contribuye a entender los procesos que influyen en la abundancia, riqueza y diversidad de insectos en paisajes fragmentados así como la arquitectura de los paisajes que influyen en la dinámica de las poblaciones de

insectos plaga y sus interacciones con los enemigos naturales o agentes de control (Hunter, 2002).

## CONCLUSIONES

Aunque el desarrollo y surgimiento de la ecología del paisaje se asocia con al área de la conservación, muchos investigadores ven en este enfoque la posibilidad de enriquecer el estudio y manejo de problemas fitosanitarios en paisajes agropecuarios. Hasta ahora el abordaje ha sido tímido pero se acepta, más teórica que empíricamente, que uno de los factores clave para avanzar en la entomología aplicada recae en el entendimiento de la dinámica de las especies y comunidades de interés insertas en los agroecosistemas, lo cual es un tema de investigación que se resuelve apropiadamente con las herramientas analíticas propias de la ecología del paisaje.

Aunque esta es una disciplina joven que está en etapa de construcción teórica y metodológica, definitivamente plantea una plataforma de trabajo cercana a la realidad para entender la dinámica y persistencia espacial y temporal de las poblaciones y comunidades de insectos. Es un enfoque sistémico que permite integrar la heterogeneidad biofísica en el estudio de los procesos de interés en diferentes escalas espaciales.

Aunque el enfoque sistémico ha sido aceptado teóricamente en entomología aplicada, su eficacia se ha sido limitada por la dificultad de abordar la complejidad espacial de manera explícita a nivel de campo, así como por la falta de integración de las diferentes escalas. Estos limitantes se están superando con la disponibilidad de los datos capturados a través de sensores remotos (imágenes de satélites y fotografías aéreas), el desarrollo y popularización de los SIG (sistemas de información geográfica) y la estadística espacial. Indiscutiblemente los SIG son una herramienta poderosa que ha facilitado la vigilancia, planificación y manejo fitosanitario, principalmente en los países en desarrollo, pero hay que estimular la conexión entre estas tecnologías y preguntas ecológicas pertinentes (Wiens, 2002).

Por otro lado, el método científico hace énfasis en los estudios experimen-

tales en donde los investigadores controlan cierto tipo de variables y manejan repeticiones para cumplir los supuestos estadísticos, los cuales en los estudios de ecología del paisaje difícilmente se pueden llegar a cumplir. Básicamente en éstos se compara el comportamiento de variables de respuesta en paisajes contrastantes que, por lo general, no pueden ser manipulados ni controlados por el investigador; además, la posibilidad de manejar repeticiones es una utopía porque las propiedades emergentes de cada paisaje son producto de una infinidad de interacciones, difícilmente repetibles en la naturaleza.

Bajo estas condiciones se plantea la crítica que los diseños experimentales de la ecología del paisaje son 'pseudo-experimentos', cuestionamiento que, más que evidenciar las carencias de una disciplina joven y en etapa de formación, hace patente la evolución conceptual de investigadores que están estableciendo los fundamentos metodológicos para enriquecer y generar un cambio en los paradigmas de investigación y abordar de una manera más realista los procesos ecológicos.

Probablemente estamos ante una disciplina que está comenzando a cuestionar postulados que tradicionalmente han canalizado los métodos de investigación; como lo demuestra la historia de la ciencia, la transformación de paradigmas favorece el desarrollo de nuevas teorías y metodologías de investigación. La ecología del paisaje plantea esta oportunidad y los estudios de entomología aplicada deben contribuir a la consolidación conceptual, teórica y metodológica de esta disciplina como una alternativa para entender la dinámica de los insectos de interés desde una perspectiva integral.

En Colombia, el tema de la ecología del paisaje ha entrado tímidamente en los programas académicos de biología y ecología, y ha interesado a un pequeño grupo de investigadores asociados al sector productivo. Este documento es un reflejo de ese interés y, sin alcanzar a profundizar en el tema, busca extender la inquietud dentro del gremio de investigadores y académicos asociados al sector agropecuario.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Altieri, M.A. e I.C. Nicholls. 2000. Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. PNUDA. México D.F. 235 p.
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agri. Ecosyst. Environ.* 74: 19-31.
- Beckler, A., B.W. French y L.D. Chandler. 2004. Characterization of Western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) population dynamics in relation to landscape attributes. *Agr. Forest Entomol.* 6(2): 129-139.
- Andrewartha, H.G. y L.C. Birch. 1984. The ecological web: more on the distribution and abundance of animals. The University of Chicago Press, Chicago. 508 pp
- Bonte, D., L. Baert, L. Lens y J.P. Maelfait. 2004. Effects of aerial dispersal, habitat specialisation and landscape structure on spider distribution across fragmented grey dunes. *Ecography* 27(3): 343-346.
- Chen, J., J.F. Franklin y T.A. Spies. 1995. Growing season microclimatic gradients from clear-cut edges into old growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications* 5: 74-86.
- Chust, G., L.J. Pretus, D. Ducrot, A. Bedos y L. Deharveng. 2003. Identification of landscape units from an insect perspective. *Ecography* 26: 257-268.
- Collinge, S.K. 2000. Effects of grassland fragmentation on insect species loss, colonization and movement pattern. *Ecol.* 81: 2211-2226.
- Dobrowolwski, K., A. Banach. y A. Kazakiewicz. 1993. Effect of habitat barriers on animal population and communities in heterogeneous landscape. pp. 61-70. En: (R.G.H., Bunce, L. Ryszkowsky y M.G. Paoletti (eds.). *Landscape ecology and agroecosystem.* Lewis Publishers. London.
- Dungan, L.J., J.N. Perry, M.R.T. Dale, P. Legendre, S. Citron-Pousty, M.J. Fortin, A. Jakomulka, M. Miriti y M.S. Rosenberg. 2002. A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography* 25(5): 626-640.
- Fahrig, L. 2005. When is landscape perspective important? En: Wiens J. y M. Moss (eds.). *Issues and perspectives in landscape ecology.* Cambridge University Press. pp. 3-20.
- Ferguson, W.A., H.I. Williams, Z. Klukowski, B. Walczak y J.N. Perry. 1999. Spatial population dynamics of a pest and its parasitoid in an oilseed rape crop. *Aspec. Appl. Biol.* 53: 1-6.
- Forman, R.T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Forman, R.T. y M. Gordon. 1986. *Landscape ecology.* John Wiley and Sons, New York, USA.

- Hansky I. y Singer, M. C. 2001. Extinction-colonization dynamics and host plant choice in butterfly metapopulation. *American Naturalist* 158: 341-353.
- Hedlund, K., B. Griffiths, S. Christensen, S. Scheud, H. Setälä, T. Tschamtker y H. Verhoef. 2004. *Basic and Applied Ecology* 5: 495-503.
- Hunter, D.M. 2002. Landscape structure, habitat fragmentation, and the ecology of insects. *Agr. For. Entomol.* 4: 159-160.
- Isaia, M., F. Bona y G. Badino. 2006. Influence of landscape diversity and agricultural practices on spider assemblage in Italian vineyards of Langa Astigiana (northwest Italy). *Environ. Ecol.* 35(2): 297-307
- Keitt, H.T., O.N. Bjørnstad, P.M. Dixon y S. Citron-Pousty. 2002. Accounting for spatial pattern when modeling organism-environment interactions. *Ecography* 25(5): 616-625.
- Kleijn, M.V. 2000. Factors affecting the species composition of arable field boundary vegetation. *J. Appl. Ecol.* 37(2): 256-266.
- Koch, F.H., H.M. Cheshire y H.A. Devine. 2006. Landscape-scale prediction of hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Homoptera: Adelgidae), infestation in the southern Appalachian Mountains. *Environ. Entomol.* 35(5): 1313-1323.
- Kruess, A. y T. Tschamtker. 2000. Species richness and parasitism in a fragmented landscape: experiments and field studies with insects on *Vicia sepium*. *Oecologia* 122(1): 129-137.
- Landis, A.D. 1996. Control biológico: aproximaciones y aplicación. En: E.B. Radcliffe y W.D. Hutchison (eds.). *Radcliffe: texto mundial de MIP*. Universidad de Minnesota. En: <http://ipmworld.umn.edu>; consulta: enero 2006.
- Lefko, A.E. 1998. Spatial modeling of preferred wireworm (Coleoptera: Elateridae) Habitat. *Enviro. Entomol.* 27(2): 184-190.
- Legendre, P., M. Dale, M.J. Fortin, J. Gurevitch, M. Hohn y D. Myers. 2002. The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. *Ecography* 25(5): 601-615.
- Liebhold, A.M y J. Gurevitch. 2002. Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology. *Ecography* 25(5): 553-557.
- Liebhold, A.M., R.E. Rossi y W.P. Kemp. 1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 303-327.
- Marshall, B., F. Burel, W. Joenje, B. Gerowitt, M. Paoletti, G. Thomas, D. Kleijn, D. Le Coeur y C. Moonen. 2002. Field boundary habitats for wildlife, crop, and environmental protection. *Landscape ecology in agroecosystem management*. L. Ryszkowski. Boca Raton, CRC Press: 219-247. En: [http://www.crcpress.com/shopping\\_cart/products/product\\_detail.asp?sku=0919&parent\\_id=409&pc=](http://www.crcpress.com/shopping_cart/products/product_detail.asp?sku=0919&parent_id=409&pc=); consulta: enero 2006.
- McGarigal, D. 2006. Fragstats workshops. University of Massachusetts. En: [http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/workshops/fragstats\\_workshops.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/workshops/fragstats_workshops.html)
- Menalled, D.N.F., C.M. Marino, H.G. Gage y D.A. Landis. 1999. Does agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity? *Ecol. Applic.* 9(2): 634-641.
- Naveh, Z. 1991. Some remarks on recent developments in landscape ecology as a transdisciplinary ecological and geographical science. *Landscape Ecology* 5(2): 65-73.
- Perry, N.J., A.M. Liebhold, M.S. Rosenberg, J. Dungan, M. Miriti, A. Jakomulska, S. Citron-Pousty. 2000. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography* 25(5): 578-600.
- Rong, Ji; Dian-Mo; Bao-Yu Xie; Zhe Li; Dong-Li Meng. 2006. Spatial distribution of oriental migratory Locust (Orthoptera: Acrididae) egg pod population. *Environ. Entomol.* 35(5): 1244-1248.
- Ryszkowski, J.K., G. Margalit, M.G. Paoletti, y R. Zlotin. 1993. Above ground insect biomass in agricultural landscape. pp. 71-82. En: R.G.H., Bunce; L. Ryszkowski y M.G. Paoletti (eds.). *Landscape ecology and agroecosystem*. Lewis Publishers. London, UK.
- Schweiger, O., J.P. Maelfait, W. van Wingerden, F. Hendrickx, R. Billeter, M. Speelmans, I. Augenstein, B. Aukema, S. Aviron, D. Bailey, R. Bukacek, F. Burel, T. Diekötter, J. Dirksen, M. Frenzel, F. Herzog, J. Liira, M. Roubalova y R. Bugter. 2005. Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural landscapes across organizational levels and spatial scales. *J. Appl. Ecol.* 42(6): 1129-1139.
- Scott, A.L. y D.F. Hochuli. 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography* 27(3): 350.
- Thies, C. y T. Tschamtker. 1999. Landscape structure and biological control in Agroecosystems. *Science* 285: 893-895.
- Tschamtker, T., A.M. Klein, A. Kruess, I. Stefan-Dewenter y C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* 8(8): 857-874.
- Tschamtker T. y R. Brandl. 2004. Plant-insect interaction in fragmented landscape. *Annual Rev. Entomol.* 2004. 49: 405-430
- Turner, M.G. y R.H. Gardner. 2005. Landscape ecology: what is the state of the science? *Ann. Rev. Ecol. Evol. System.* 36: 319-344.
- Turner, M.G. and R. H. Gardner (eds.). 1991. *Quantitative methods in landscape ecology*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Turner, S.J., R.V. O'Neill, W. Conley, M.R. Conley y H.C. Humphries. 1991. Pattern and scale: statistics for landscape ecology. pp. 17-49 En: M.G. Turner y R.H. Gardner (eds.). *Quantitative methods in landscape ecology*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Urban, D., R. O'Neill y H. Shugart, Jr. 1987. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience* 37(2): 119-127.
- Valladares, G., A. Salvo y L. Cagnolo. 2006. Habitat fragmentation effects on trophic processes of insect-plant food webs. *Conserv. Biol.* 20(1): 212-217.
- Weibull, A.C y Ostman, O. 2003. Species composition in agroecosystems: the effect of landscape, habitat, and management. *Basic Appl. Ecol.* 4: 349-361.
- Wiens, J.A. 1997. Metapopulation dynamics and landscape ecology. pp. 43-62. En: I.A. Hanski y M.E. Gilpin (eds.). *Metapopulation biology*. Academic Press, San Diego, USA.
- Wiens, J.A. 1996. Wildlife in patchy environments: Metapopulations, mosaics, and management. pp. 53-84. En: D.R. McCullough (ed.). *Metapopulations and wildlife conservation*. Island Press, Washington, USA.
- Wiens, J.A. 1992. What is landscape ecology, really? *Landscape Ecology* 7: 149-150.
- Wiens, J.A. 1976. Population responses to patchy environments. *Ann. Rev. Ecol. System.* 7: 81-120.