

SOBRE EL CARÁCTER MULTIFUNCIONAL DE LA AGROECOLOGÍA: EL MANEJO DE LA MATRIZ AGRÍCOLA Y LA CONSERVACIÓN DE ESPECIES SILVESTRES COMO SISTEMAS METAPOBLACIONALES

Diego Griffon^{1,2,3}, Dayaeth Alfonso¹, Maria Josefina Hernandez³.

¹Programa de Formación de Grado en Agroecología, Universidad Bolivariana de Venezuela. ²Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (Venezuela). ³Laboratorio de Evolución y Ecología Teórica, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. E-mail: d.griffon@lycos.com.

Resumen

La preservación de la biodiversidad y la lucha contra el hambre son banderas que han sido enarboladas por los movimientos sociales a nivel mundial. Sin embargo, en un primer momento ambas luchas parecieran incompatibles. En este trabajo, mediante un acercamiento teórico-práctico se muestra como la Agroecología puede reconciliar estas dos importantes problemáticas. En concreto, aquí se muestra cómo el manejo agroecológico de la matriz agrícola en paisajes fragmentados puede estimular el establecimiento de dinámicas metapoblacionales en diferentes grupos de insectos, asegurando de esta manera su supervivencia. Esto se logra haciendo estimaciones de campo de las tasas de migración de diferentes grupos de insectos y utilizando el modelo de Función de Incidencia (Hanski 1994) para evaluar las dinámicas metapoblacionales a largo plazo de estos grupos. Nuestros resultados muestran enfáticamente los efectos positivos de la Agroecología en la conservación de la biodiversidad entomológica, a la vez que evidencian los daños que sobre esta ejerce la agricultura convencional. De esta forma, se resalta el carácter multifuncional de la agricultura de base agroecológica y se muestra la importancia que esta tiene para alcanzar importantes objetivos sociales, ambientales y económicos.

Palabras clave: Metapoblaciones, fragmentación de hábitat, conservación.

Summary

On the multifunctional character of agroecology: the management of the agricultural matrix and the conservation of wild species as metapopulation systems

The preservation of biodiversity and the fight against hunger are slogans that have been hoisted by social movements worldwide. However, at first both struggles seem incompatible. In this paper, using a theoretical-practical approach we show how Agroecology can reconcile these two important issues. Specifically, we show how the agroecological management of the agricultural matrix in fragmented landscapes may stimulate the establishment of metapopulation dynamics in different groups of insects, thus ensuring their survival. This is done by estimating migration rates of different groups of insects in the field, and using the Incidence Function Model (Hanski 1994) to assess the long-term metapopulation dynamics of these groups. Our results strongly show the positive effects of agroecology in the conservation of entomological biodiversity, as well as the damage that can be inflicted upon it when using conventional agriculture. This highlights the multifunctional character of agriculture with an agroecological base, and shows its importance in the achievement of crucial social, environmental and economic objectives.

Key words: Metapopulations, habitat fragmentation, conservation.

Introducción

Dos de los más grandes retos que enfrenta la humanidad en la actualidad son la preservación de la biodiversidad y la eliminación del hambre en el mundo. Sin embargo, estos dos desafíos parecen ser incompatibles.

Es planteado comúnmente que la solución de la crisis agrícola involucra necesariamente una mayor intensificación de las prácticas agrícolas propias de la revolución verde (*e.g.*, laboreo de los suelos, uso de agroquímicos y monocultivos) y la expansión de la frontera agrícola a expensas de áreas no intervenidas. Por su parte, la visión conven-

cional para la conservación de la biodiversidad, contempla la creación de áreas protegidas de gran tamaño. Por lo tanto, las estrategias para solucionar los problemas agrícolas y de biodiversidad compiten, por lo que pareciera imposible producir alimentos y a la vez conservar la biodiversidad.

Para abordar esta problemática, es importante reconocer que la mayoría de los paisajes en el planeta son tipo mosaico. En estos paisajes típicamente se encuentran colindando parches de vegetación natural no alterada con áreas dedicadas a la producción agrícola. Es en estas zonas donde los conflictos entre biodiversidad y agricultura son más pronunciados. La solución convencional a los conflictos en estas áreas, involucra la atención de uno de los aspectos de la problemática a expensas del otro. Soluciones que en ningún caso se consideran satisfactorias.

Vandermeer y Perfecto (2007) han sugerido que este escenario no es necesariamente el único posible. Estos investigadores han propuesto que el empleo de prácticas agrícolas de base agroecológica, en paisajes tipo mosaico, pueden favorecer el establecimiento de dinámicas metapoblacionales entre las poblaciones silvestres presentes en los parches de vegetación no alterada.

La teoría de metapoblaciones predice que bajo ciertas condiciones, una población que habite un ecosistema fragmentado, puede presentar mayores probabilidades de permanecer en el tiempo que una población no estructurada de igual tamaño. Por su parte, contrariamente a la idea imperante en las ciencias agrícolas, la agroecología puede suplir de iguales o mayores cantidades de alimentos que la agricultura convencional (Badgley *et al.* 2007). De esta manera, mediante la implementación de prácticas agroecológicas en las áreas de conflicto, se lograría reconciliar la producción agrícola con la conservación de la biodiversidad.

En este trabajo, mediante un acercamiento teórico-práctico, se evalúa el efecto que tiene el manejo de los agroecosistemas sobre el establecimiento de dinámicas metapoblacionales. Para lograr esto, en un primer

paso se obtuvieron estimaciones de campo sobre las tasas de migración de diferentes grupos de insectos, a través de agroecosistemas bajo distintos tipos de manejo (*i.e.*, convencional y agroecológico). Luego, para evaluar el efecto a largo plazo de los diferentes tipos de manejo sobre las dinámicas poblacionales, se realizaron simulaciones computacionales. En las simulaciones se utilizaron como datos las estimaciones de las tasas de migración y se evaluó el comportamiento a largo plazo de poblaciones hipotéticas bajo los diferentes manejos agronómicos. Las simulaciones fueron conducidas en ambientes hipotéticos, compuestos de múltiples parches de vegetación no intervenida rodeados por áreas agrícolas. Es decir, el objetivo de este trabajo es realizar predicciones generales, sobre los posibles efectos futuros en la entomofauna, de los diferentes esquemas de manejo agronómico de los predios.

Material y Métodos

Muestreo y estimación de las tasas de migración

Se realizaron muestreos en campo que permitieron estimar las tasas de migración de diferentes grupos de insectos bajo dos esquemas de manejo contrastantes: convencional y agroecológico. Este trabajo se llevó a cabo en el Camino de los Españoles del Parque Nacional El Avila (Venezuela) (Fig. 1). En esta zona, a pesar de ser Parque Nacional, existe una mediana producción agrícola llevada a cabo por personas cuyas familias habitan en el área desde un tiempo previo a la declaración del Parque Nacional. La agricultura presente en la zona se fundamenta en la explotación de rubros hortícolas, bajo esquemas convencionales de producción basados en el uso masivo de agroquímicos y laboreo intensivo del suelo.

Para realizar los muestreos se seleccionaron tres sitios que representan el mosaico de complejidad paisajística de la zona, estos sitios de muestreo se ubicaron en: (i) un bosque primario no intervenido (B), (ii) una parcela de

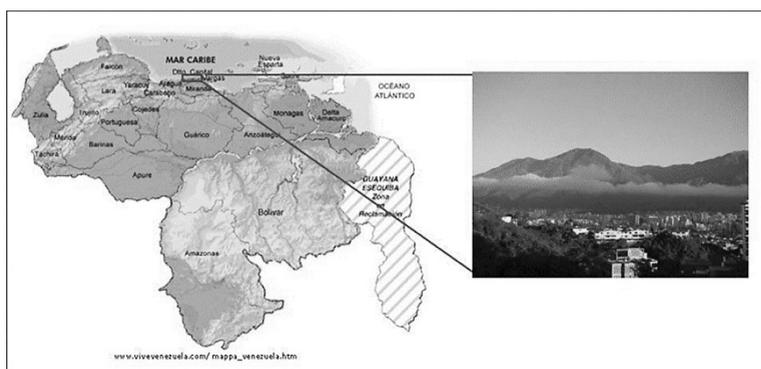


Figura 1. Parque Nacional El Avila. A la izquierda, se presenta la ubicación geográfica del Parque, se puede apreciar que el Parque se encuentra aledaño a la ciudad de Caracas. A la derecha, se presenta una fotografía de la zona en la cual se realizaron los muestreos de campo, se observa el alto grado de fragmentación de hábitat presente en la localidad.

producción agrícola manejada bajo esquemas agroecológicos (CA) y (iii) dos parcelas agrícolas convencionales (CC) (Fig. 2). Durante el período de muestreo en el CA se produjeron en asociación los siguientes rubros: Maíz (*Zea mays*), Cilantro (*Coriandrum sativum*), Ají (*Capsicum annum*), Pimentón (*Capsicum annum*), Berenjena (*Solanum melongena*), Lechuga (*Lactuca sativa*), Rábano (*Raphanus sativus*), Zanahoria (*Daucus carota*), Cebollín (*Allium schoenoprasum*) y Albahaca (*Ocimum basilicum*). En los CC se producía en monocultivo Brócoli (*Brassica oleracea*) en uno y Tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el otro.

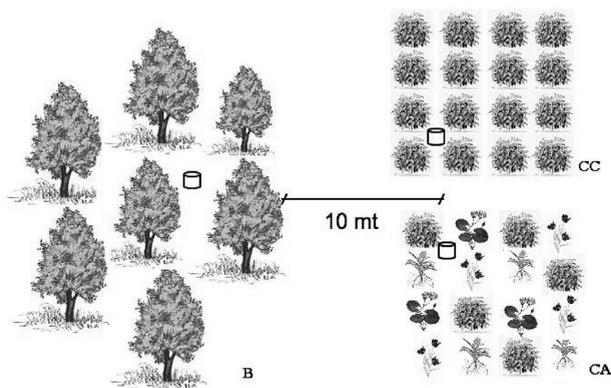


Figura 2. Representación esquemática de los sitios de muestreo. Los muestreos fueron realizados en: un bosque (B), dos monocultivos bajo manejo convencional (CC), y un cultivo asociado bajo manejo agroecológico (CA). En la figura se muestra que en el caso de manejo convencional y agroecológico las trampas fueron colocadas a una distancia de 10 mts del bosque.

El muestreo se realizó con trampas de caída. En cada una de las localidades se ubicaron tres trampas, es decir, se colocaron un total de doce. El trabajo de campo se efectuó durante el período de Marzo a Julio del año 2007. Este lapso de tiempo corresponde al principio del período de producción de secano (bajo lluvias) en la zona. Las trampas fueron revisadas en intervalos quincenales.

En la realización de este trabajo, el interés se encuentra en evaluar la propuesta de Vandermeer & Perfecto (2007) a un nivel general, no en particular para una especie. Por lo tanto, los datos de campo fueron procesados a un nivel taxonómico de órdenes de insectos. Es decir, las capturas fueron categorizadas por grupos de insectos correspondientes a los órdenes: Diptera, Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera y Lepidoptera. Esto como una manera de obtener una estimación general del efecto del manejo de los agroecosistemas sobre el desplazamiento de la entomofauna.

Para cada uno de los ambientes evaluados (B, CC y CA), se obtuvo el promedio de capturas en todos los muestreos por grupo de insectos. Se hace la suposición de que los muestreos realizados en bosque correspon-

den a una estimación correcta de la densidad de las poblaciones presentes en ese ambiente. Esto quiere decir que suponemos esta medida como el máximo posible para la población en los parches no intervenidos. Los muestreos realizados en los cultivos convencionales y agroecológicos se consideran estimaciones de la tasa de migración entre los parches de vegetación no intervenida.

Las probabilidades de migración en los cultivos convencionales y agroecológicos para cada grupo de insectos, se estiman dividiendo los resultados obtenidos en cada tipo de cultivo entre el valor obtenido en el bosque, es decir:

$$probabilidad\ migración = \frac{estimación\ cultivo}{estimación\ bosque} \quad (1)$$

En el caso de que las estimaciones en los cultivos sobrepasen a las estimaciones en el bosque, se concede a la probabilidad de migración un valor igual a 1. De esta manera la probabilidad de migración está acotada entre 0 y 1. Esta probabilidad es calculada por separado para cada uno de los órdenes de insectos estudiados.

Dinámicas metapoblacionales y la Función de Incidencia

El modelo de Función de Incidencia (Hanski 1994) permite inferir las dinámicas a largo plazo bajo los diferentes tipos de manejo agronómico. Este modelo pertenece a la familia de "modelos de parche" de metapoblaciones, en los cuales sólo se considera la presencia o ausencia de la población en cada parche (Hanski & Gilpin 1997). Técnicamente el modelo de Función de Incidencia se deriva de cadenas de Markov de primer orden. Según este modelo (Hanski *et al.* 1996) las tasas de colonización y extinción son constantes, y específicas de cada parche. La probabilidad estacionaria de que un parche J_i este ocupado (incidencia), viene dada por:

$$J_i = \frac{C_i}{C_i + E_i} \quad (2)$$

donde C_i representa la probabilidad de colonización de un parche i , y E_i representa la probabilidad de extinción de un parche i .

Las probabilidades de extinción dependen de las áreas de los parches según la expresión:

$$E_i = \min \left[\frac{\mu}{A_i^x}, 1 \right] \quad (3)$$

donde A_i representa el área del parche i , μ y x son dos parámetros del modelo.

La probabilidad de colonización de un parche i , depende de la ubicación espacial de otros parches habitados, así como del área de estos parches, de la siguiente manera:

$$C_i = \frac{M_i^2}{M_i^2 + y^2} \quad (4)$$

donde y es un parámetro del modelo y M_i es el número de inmigrantes que llegan al parche i por unidad de tiempo; esta cantidad está definida de la siguiente manera:

$$M_i = \beta \sum_{j=1}^n p_j A_j e^{-\alpha d_{ij}} \quad (5)$$

donde α y β son parámetros del modelo, p_j es igual a 1 para parches ocupados e igual a 0 para los desocupados, A_j es el área del parche j , y d_{ij} es la distancia entre los parches i y j . Es importante destacar que en esta última expresión, la conectividad entre los parches es simulada utilizando una función exponencial negativa, que determina la probabilidad de éxito de la migración. Esta función es:

$$\text{probabilidad de migración} = A_j e^{-\alpha d_{ij}} \quad (6)$$

de manera que α es un parámetro relacionado con la calidad de la matriz (cuyo efecto deseamos evaluar). El parámetro α determina la forma precisa de la curva exponencial que describe la relación entre la probabilidad de migración y la distancia; mientras más alto sea su valor absoluto, más rápido cae la relación, de manera que la probabilidad de migración se haría cercana a cero a menor distancia. En nuestro caso, el área del parche esta representada por el área del bosque, la cual es igual en los dos sistemas de manejo, por lo que suponemos que tiene un valor igual a 1. Las distancias (d_{ij}) son iguales a 10 metros en todos los escenarios. Las probabilidades de migración pueden ser obtenidas mediante la ecuación (1). Por lo tanto, con la ecuación (6) fácilmente podemos establecer el valor del parámetro α .

Probabilidad de supervivencia de cada grupo de insectos

Basados en los valores estimados de α para cada grupo de insectos en cada matriz de manejo, se realizaron simulaciones para establecer el comportamiento a largo plazo de las metapoblaciones hipotéticas. Las simulaciones fueron ejecutadas haciendo uso del programa SPOMSIN (Moilanen 2004), el cual implementa numéricamente el Modelo de Función de Incidencia. Los valores de los parámetros utilizados (excepto para α) fueron tomados de los sugeridos por Hanski (1994). La simulaciones fueron realizadas en redes regulares de 25 parches. La proporción inicial de parches habitados en las simulaciones fue 30% y el tamaño de cada parche fue 0,1 ha. Las simulaciones fueron conducidas por 1000 iteraciones y se realizaron 10 repeticiones de cada una.

Paisajes evaluados

En este trabajo también se evaluó el efecto del manejo de la matriz en diferentes arquitecturas paisajísti-

cas. Para hacer esto, se calculó un α promedio entre los grupos de insectos bajo manejo agroecológico (α_a) y bajo manejo convencional (α_c). Estos valores de α fueron contrastados mediante simulaciones conducidas en diferentes estructuras de paisajes. Se evaluaron todas las combinaciones de las siguientes posibilidades (Figs. 3a, b):

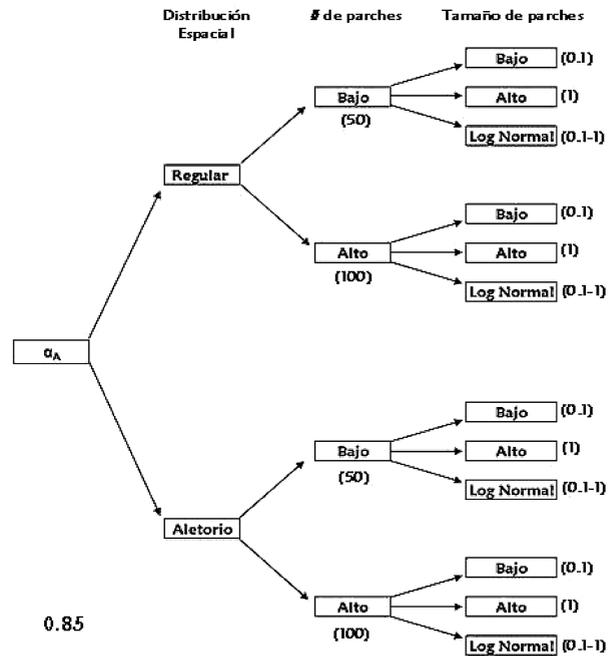


Figura 3a. Árbol de posibilidades de las simulaciones para el cultivo agroecológico.

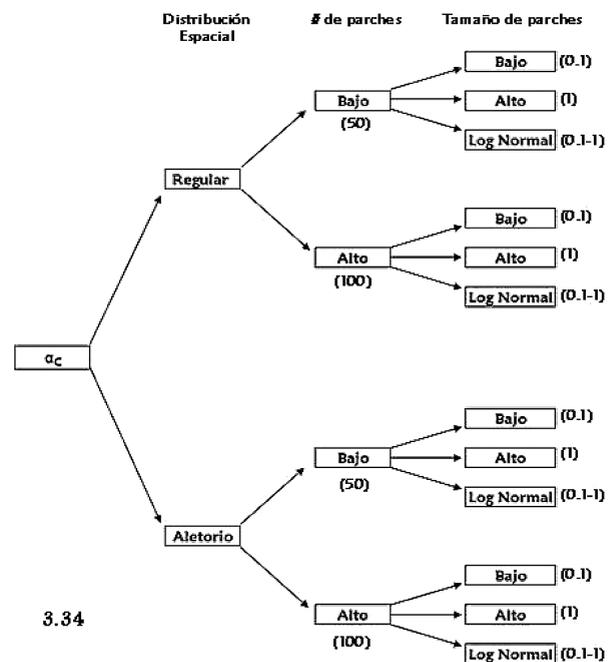


Figura 3b. Árbol de posibilidades de las simulaciones para el cultivo convencional.

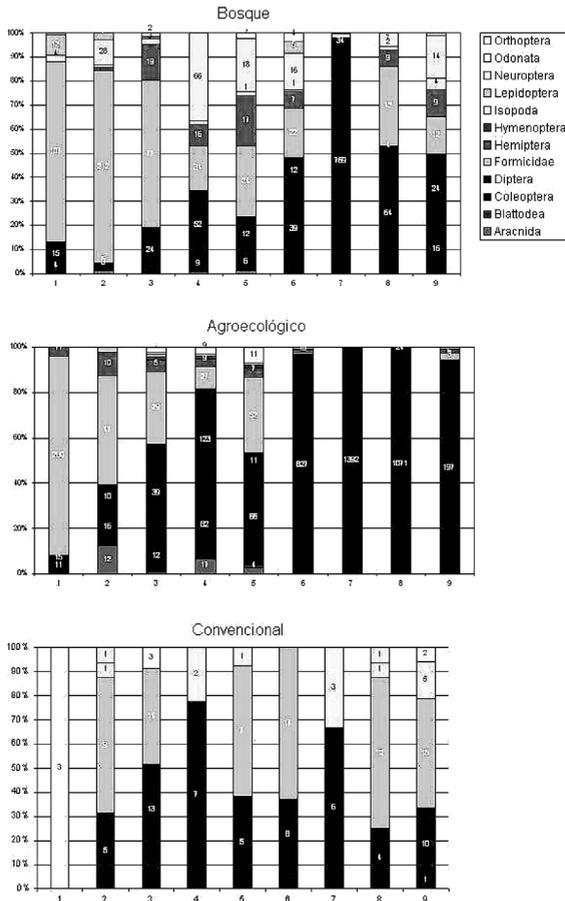


Figura 4. Muestras obtenidas en cada evento de muestreo en los diferentes ambientes. Se observa una gran similitud entre las composiciones de las capturas efectuadas en el Bosque y el Sistema Agroecológico.

- Número de parches: se evaluaron redes compuestas por 25 y 49 parches.
- Disposición espacial de los parches: se evaluaron redes de parches con una distribución regular (lattices) y redes de parches con distribución espacial aleatoria.
- Tamaño de los parches:
 - Todos los parches de igual tamaño: se evaluaron parches de 0,1 ha y de 1 ha.
 - Tamaños de los parches tomados de una distribución log-normal (con variación en el tamaño de los parches entre 0,1 y 1 ha.).

En este caso las simulaciones también fueron realizadas utilizando el programa SPOMSIN (Moilanen 2004). Los valores de los parámetros utilizados (salvo α) fueron tomados de los sugeridos por Hanski (1994). Las simulaciones fueron ejecutadas durante 1000 iteraciones y se realizaron 10 repeticiones de cada una.

Resultados

Muestreo

Los resultados obtenidos en los muestreos de insectos indican claramente que hay una similitud entre

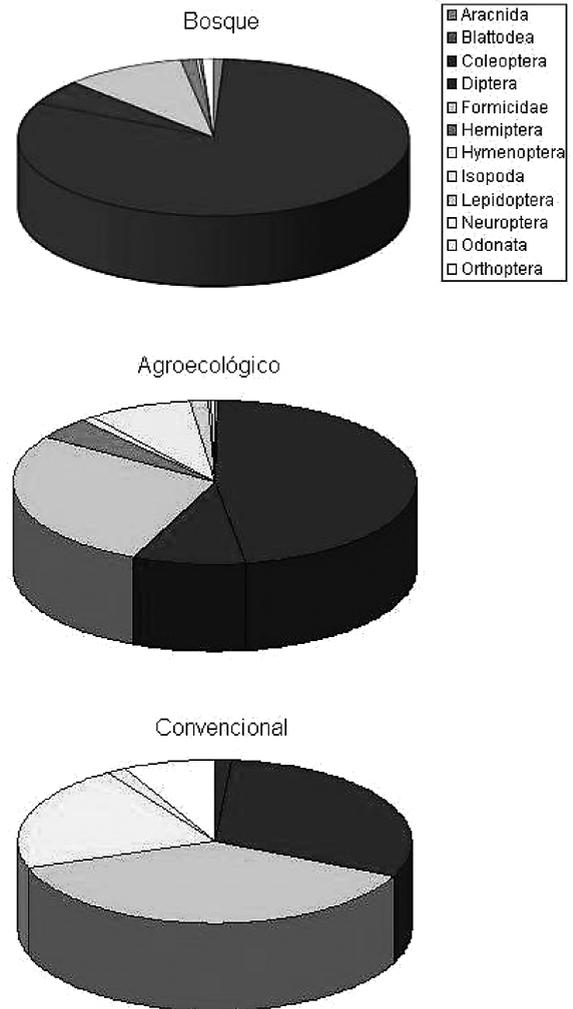


Figura 5. Proporciones de los diferentes órdenes de insectos (en base a las capturas totales) observados en los diferentes ambientes.

la composición faunística del bosque y la del sistema agroecológico. Por el contrario, existe una marcada diferencia entre el bosque y los sistemas convencionales. Estas similitudes y diferencias pueden ser observadas en detalle para cada evento de muestreo en la Figura 4.

La similitud entre el bosque y el sistema agroecológico también se puede apreciar en las capturas totales por hábitat (Fig. 5). Para establecer cuantitativamente el grado de similitud entre estos resultados, se realizó un ANOVA para la variable riqueza. Los resultados muestran que el tipo de manejo tiene efecto sobre esta variable ($P=0,004$). Mediante una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,01$), se estableció que el bosque y el sistema agroecológico forman un grupo estadístico diferente al sistema convencional. Estos resultados muestran claramente que el manejo agroecológico de la matriz resulta en el establecimiento de una fauna entomológica en el agroecosistema muy similar a la observada en el bosque, este patrón no se observa cuando la matriz es manejada bajo esquemas convencionales.

Tabla 1. Probabilidades de migración y parámetro α para cada grupo de insectos en cada sistema de manejo agronómico.

	Probabilidad Migración Agroecológico	Probabilidad Migración Convencional	α Agroecológico	α Convencional
Hemiptera	1	0.00***	0.000	¥***
Coleoptera	0.25	0.00	1.396	¥
Hymenoptera	1	1.30	0.000	0.000
Formicidae*	1	0.16	0.000	1.833
Diptera	0.77	0.25	0.256	1.399
Lepidoptera	1	0.00	0.000	¥
Orthoptera	0.19	0.19	1.658	1.658
Arachnida**	0.22	0.00	1.504	¥
Total	0.43	0.04	0.855	3.335

* Se presenta Formicidae por separado a pesar de ser una familia y no un orden, debido a las grandes densidades poblacionales observadas para este grupo.

** Este grupo es incluido por su importancia ecológica.

***Cuando no se observaron individuos en un grupo en un área de muestreo, se asumió que no pueden migrar bajo este esquema de manejo (probabilidad de migración = 0), por lo que el valor de parámetro α es infinito.

Tabla 2. Incidencias a largo plazo de cada grupo de insectos en cada sistema de manejo. Las incidencias presentadas corresponden al promedio (de las diferentes repeticiones) de los valores obtenidos al final de las simulaciones.

	Incidencia Agroecológica	Incidencia Convencional
Hemiptera	0.9	0.0
Coleoptera	0.7	0.0
Hymenoptera	0.9	0.9
Formicidae	0.9	0.65
Diptera	0.85	0.75
Lepidoptera	0.9	0.0
Orthoptera	0.7	0.7
Arachnida	0.65	0.0
Total	0.8	0.3

Tabla 3. Incidencias en los diferentes paisajes para los dos escenarios de manejo. Las incidencias presentadas corresponden al promedio (de las diferentes repeticiones) de los valores obtenidos al final de las simulaciones.

Parámetros	Incidencia	Parámetros	Incidencia
<i>Agr Reg Baj Peq</i>	0.8	<i>Con Reg Baj Peq</i>	0.3
<i>Agr Reg Baj Gra</i>	0.95	<i>Con Reg Baj Gra</i>	0.9
<i>Agr Reg Baj Log</i>	0.95	<i>Con Reg Baj Log</i>	0.9
<i>Agr Reg Alt Peq</i>	0.9	<i>Con Reg Alt Peq</i>	0.7
<i>Agr Reg Alt Gra</i>	1	<i>Con Reg Alt Gra</i>	0.95
<i>Agr Reg Alt Log</i>	1	<i>Con Reg Alt Log</i>	0.95
<i>Agr Ale Baj Peq</i>	0.8	<i>Con Ale Baj Peq</i>	0.4
<i>Agr Ale Baj Gra</i>	0.95	<i>Con Ale Baj Gra</i>	0.9
<i>Agr Ale Baj Log</i>	0.95	<i>Con Ale Baj Log</i>	0.95
<i>Agr Ale Alt Peq</i>	0.9	<i>Con Ale Alt Peq</i>	0.7
<i>Agr Ale Alt Gra</i>	1	<i>Con Ale Alt Gra</i>	0.95
<i>Agr Ale Alt Log</i>	1	<i>Con Ale Alt Log</i>	0.95

Agr = Manejo agroecológico ($\alpha=0,855$), *Con* = Manejo convencional ($\alpha=3,335$), *Reg* = disposición regular de los parches, *Ale* = disposición aleatoria de los parches, *Baj* = Bajo número de parches (25), *Alt* = Alto número parches (49), *Peq* = Parches pequeños (0,1 Ha), *Gra* = Parches grandes (1 Ha), *Log* = Tamaños de los parches tomados de una distribución log-normal.

Tasas de migración

Las probabilidades de migración, así como los valores del parámetro α para cada grupo de insectos en cada sistema de manejo agronómico son presentados en la Tabla 1. En todos los casos, las probabilidades de migración son superiores en el sistema agroecológico. Es interesante apreciar además que 4 de los 8 grupos (50%) observados en el bosque y en el sistema agroecológico, no se observaron en el sistema convencional; en estos casos se asumió que su probabilidad de migración es cero.

Dinámicas a largo plazo en los diferentes grupos de insectos

Los resultados obtenidos en las simulaciones muestran claramente que el manejo agroecológico tiene un efecto positivo sobre el establecimiento a largo plazo de dinámicas metapoblacionales. Este patrón general no es observado cuando el sistema es manejado bajo un esquema convencional. En la Figura 6 se muestran algunos casos que ejemplifican claramente esta tendencia.

Las incidencias a largo plazo establecidas a través de las simulaciones para cada grupo de insectos en cada sistema de manejo pueden ser apreciadas en la Tabla 2. Se entiende por incidencia el porcentaje de parches en los cuales se encuentran subpoblaciones del grupo bajo estudio. Los resultados muestran (con la excepción de Hymenoptera y Orthoptera) que los grupos de insectos evaluados presentan mayores incidencias cuando la matriz es manejada agroecológicamente.

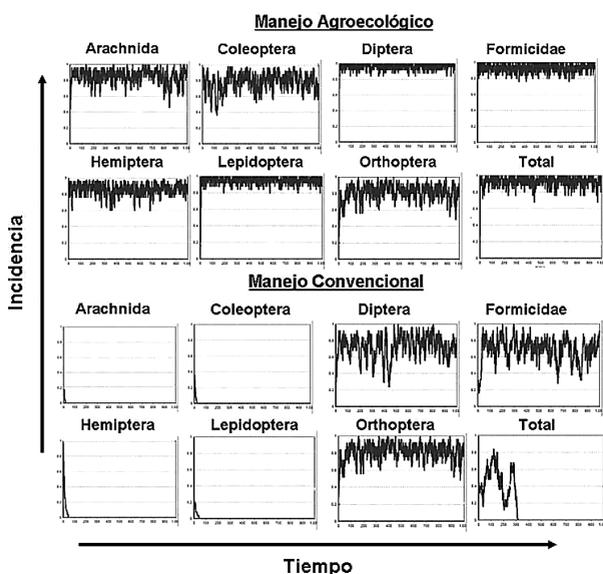


Figura 6. Resultados de algunas simulaciones de las dinámicas a largo plazo de los diferentes grupos de insectos

Dinámicas a largo plazo en los diferentes paisajes

Las incidencias establecidas mediante simulaciones en los diferentes paisajes para los dos escenarios de manejo pueden ser observadas en la Tabla 3. Se apre-

cia que el manejo agroecológico es una condición suficiente para obtener altas incidencias (nunca menores a 0,8). En el caso del manejo convencional, los resultados son muy variables. Es interesante el hecho de que la sola presencia de algunos parches grandes (*i.e.*, en las simulaciones log-normal) es suficiente para obtener altas incidencias (nunca menores que 0,9).

Discusión

La similitud entre los valores de riqueza observados en el bosque y los sistemas agroecológicos puede ser explicada en parte como el resultado de dos procesos: (i) la no aplicación de plaguicidas en el sistema y (ii) la generación de un gran número de hábitats debido a la heterogeneidad estructural de este sistema altamente diversificado (Altieri 1999). En el sistema convencional, los resultados pueden ser el producto del manejo de plagas basado en el uso intensivo de insecticidas y también se podrían explicar por la uniformidad que el monocultivo impone sobre el agroecosistema (Griffon & Torres-Alruiz 2008).

En las simulaciones, la tendencia general observada es que el manejo agroecológico de la matriz tiene un efecto positivo en la incidencia general de las metapoblaciones. Esto es cierto para todos los grupos de insectos evaluados. Cuando los valores de α son calculados a partir de las capturas totales (*i.e.*, sin diferenciar por grupo), se obtienen incidencias contrastantes. Utilizando este α promedio también se hace evidente los beneficios que el manejo agroecológico trae a la conservación de los insectos (muy altas incidencias). Por su parte, en el caso del manejo convencional, los resultados dependen del tamaño de los parches. En particular, los resultados muestran que para obtener valores de incidencias equivalentes a los obtenidos en los sistemas agroecológicos, sería necesario dedicar mayores extensiones de terreno a reservorios de vegetación, es decir sería necesario hacer retroceder la frontera agrícola.

Nuestros resultados muestran enfáticamente que el manejo convencional de los predios resulta en una disminución general de la biodiversidad entomológica de la zona. Por el contrario, el manejo agroecológico mantiene los niveles iniciales de riqueza. Este resultado hace evidente los beneficios que se desprenderían del impulso de la agricultura de base agroecológica en la zona.

Los resultados obtenidos se deben al incremento en la calidad de la matriz producido por el manejo agroecológico. Matrices de alta calidad generalmente protegen contra la extinción de la metapoblación. Sin embargo, este resultado general debe ser tomado con prudencia. Utilizando un modelo mecanístico, Vandermeer y Carvajal (2001) han mostrado que en algunos casos el incremento en la calidad de la matriz puede provocar dinámicas caóticas en las subpoblaciones.

Modelar la calidad de la matriz mediante la variación de la probabilidad de éxito en la migración es una forma

simple de evaluar los efectos de diferentes escenarios de manejo. Mediante esta aproximación rápidamente se llega a la conclusión de que la extinción de las poblaciones es menos probable en la medida en que se incrementa la calidad de la matriz (Vandermeer & Carvajal 2001). Este ha sido el resultado general que se ha obtenido utilizando diferentes metodologías de modelado (Gustafson & Gardner 1996, Cantrell *et al.* 1998, Vandermeer & Carvajal 2001, Alfonso *et al.* 2009). Por su parte, los trabajos empíricos también han mostrado que diferencias en la calidad de la matriz tienen efecto sobre la abundancia de las poblaciones (Aberg *et al.* 1995, Sisk *et al.* 1997, Delin & Andren 1999, Tejat *et al.* 2002).

Un punto que es importante comentar es que el incremento observado en la entomofauna en el agroecosistema manejado agroecológicamente con respecto al convencional, no está asociado a problemas de plagas. Por el contrario, durante el período de muestreo en este sistema no se observaron densidades poblacionales que pudiesen representar situaciones de riesgo económico. Una posible explicación para esta circunstancia, la encontramos en la semejanza observada entre la composición de las comunidades entomológicas en el bosque y en el sistema agroecológico. La comunidad del sistema agroecológico mimetiza a la comunidad del ecosistema natural. Es posible que la diversidad de interacciones tróficas entre los miembros de esta comunidad, se traduzca en la ocurrencia de una trama trófica altamente compleja en el interior del agroecosistema, sistema que pudiese permitir la autorregulación de las poblaciones de insectos, generando de esta manera homeostasis en el sistema (Altieri 1999, Griffon 2008a).

Es de relevancia apreciar que para obtener resultados similares en cualquier agroecosistema, sólo es necesario cambiar el manejo del sistema a uno de base agroecológica. Este cambio, lejos de aumentar los costos de producción, los puede reducir (Altieri 1999, 2000). También es importante resaltar, que el manejo agroecológico no resulta en una reducción de la productividad. Ha sido demostrado en numerosos trabajos, que un manejo de esta naturaleza produce iguales o mayores cosechas que las obtenidas en sistemas convencionales (Stanhill 1990, Rosset 1999, Toledo 2002, Badgley *et al.* 2007, Griffon 2008b, Posner *et al.* 2008). Cuando debido a razones culturales y atavismos, los agricultores sean reticentes a la Agroecología, las autoridades deben promover la creación de reservorios de vegetación natural en los predios. En este particular, resultados empíricos (Tscharrntke *et al.* 2002) han mostrado que parches de un tamaño equivalente al 20% del tamaño total del predio son suficientes para producir efectos favorables en la conservación de la entomofauna.

Un punto central dentro de la argumentación a favor de la Agroecología, es el reconocimiento del carácter multifuncional de la agricultura (Altieri 2000). La agricultura es mucho más que la simple producción de ali-

mentos. En esta actividad interactúan procesos sociales, culturales, económicos y ecológicos. Sin embargo, la agricultura convencional, centrada en la dimensión económica de la actividad agrícola, desconoce esta multifuncionalidad. Una manifestación tangible de la multifuncionalidad de la agricultura, la encontramos en los resultados de este trabajo. Aquí hemos mostrado como mediante la implementación de prácticas de base agroecológica, se logra producir alimentos sanos, a la vez que se preserva la biodiversidad. Logrando de esta manera reconciliar dos actividades consideradas fundamentales en el marco de los retos que enfrenta la humanidad.

Conclusiones

Para lograr un manejo sustentable de un área protegida, deben ser tomadas en cuenta las tres dimensiones de la sustentabilidad: social, económica y ambiental. Tristemente, los parques nacionales son típicamente creados sólo tomando en cuenta la conservación de la biodiversidad. Esta circunstancia conduce a un manejo que se caracteriza por presentar un enfoque ultra conservacionista, que no toma en cuenta las complejidades económicas y sociales propias de cualquier situación del mundo real. Este acercamiento no reconoce los derechos de los pueblos que ancestralmente han habitado estos espacios, como lo son el derecho a vivir en ellos y a realizar actividades que hagan viable económicamente su subsistencia. Desde nuestro punto de vista, este es un acercamiento básicamente erróneo. Pensamos que es necesario el desarrollo de nuevas estrategias que permitan reconciliar los objetivos de conservación de la biodiversidad, con los derechos económicos y sociales de los pueblos. El resultado general de este trabajo demuestra que el manejo agroecológico de los agroecosistemas tiene un efecto positivo en la conservación de la entomofauna. De igual manera, ha sido demostrado en múltiples trabajos que la Agroecología tiene efectos económicos y sociales positivos. Por estas razones, nosotros creemos que se deben promover políticas públicas para la implementación de sistemas agrícolas de base agroecológica en los predios situados en parques nacionales. Como es el caso de aquellos ubicados en el Parque Nacional El Avila.

Otro aspecto importante se desprende de este trabajo: la conveniencia de utilizar herramientas formales para evaluar procesos naturales y estrategias de manejo. En este caso se han puesto a prueba, a través de experimentos muy sencillos, las predicciones teóricas de modelos matemáticos referentes a dos opciones de manejo de la tierra con fines agrícolas. Se muestra como el uso de los modelos permitió evaluar la bondad de las estrategias bajo diferentes criterios simultáneamente, en este caso: manejo agrícola y conservación de la biodiversidad.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Marco Romero y María Contreras por su invaluable ayuda en la colecta de los datos en campo. Agradecen también el apoyo logístico brindado por el Postgrado en Ecología de la Universidad Central de Venezuela. Finalmente desean expresar su agradecimiento a Miguel Altieri y Clara Nicholls por su estímulo y solidaridad.

Referencias

- Aberg J, Jansson G, Swenson JE, Angelstam P. 1995. The effect of matrix on the occurrence of hazel grouse (*Bonasia bonasia*) in isolated habitat fragments. *Oecologia* (Berlin) 103:265-269.
- Alfonzo D, Griffon D, Hernandez MJ. 2009. Consecuencias del Manejo Agroecológico en la Conservación de Especies Silvestres. *Revista Brasileira de Agroecología* 4: 1960-1964.
- Altieri MA. 1999. *Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Montevideo: Nordand-Comunidad.
- Altieri MA. 2000. Multifunctional dimensions of ecologically-based agriculture in Latin America. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 7:62-75.
- Badgley C, Moghtader J, Quintero E, Zakem E, Chappell J, Avilés-Vázquez K, Samulon A, Perfecto I. 2007. Organic Agriculture and the Global Food Supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22:86-108.
- Cantrell RS, Cosner C, Fagan WE. 1998. Competitive reversals inside ecological reserves: the role of external habitat degradation. *Journal of Mathematical Biology* 37: 491-533.
- Delin AE, Andren H. 1999. Effects of habitat fragmentation on Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in a forest landscape. *Landscape Ecology* 14: 67-72.
- Griffon D, Torres-Alruiz MD. 2008. On the inherent instability of the monoculture. *Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research* pp. 708-711.
- Griffon D. 2008a. Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología* 3: 25-31.
- Griffon D. 2008b. Otra agricultura es posible y necesaria. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en :<http://www.ecoport.net/content/view/full/83444> [con acceso el 27-5-2010].
- Gustafson EJ, Gardner RH. 1996. The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. *Ecology* 77: 94-107.
- Hanski I. 1994. Patch-occupancy dynamics in fragmented landscapes. *Trends in Ecology and Evolution* 9:131-135.
- Hanski I, Gilpin M. 1997. *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics and Evolution*. New York: Academic Press.
- Hanski I, Moilanen A, Pakkala T, Kuussaari M. 1996. The quantitative incidence function model and persistence of an endangered butterfly metapopulation. *Conservation Biology* 10: 578-590.
- Moilanen A. 2004. SPOMSIM: software for stochastic patch occupancy models of metapopulation dynamics. *Ecological Modelling* 179: 533-550.
- Posner JL, Baldock JO, Hedtcke JL. 2008. Organic and Conventional Production Systems in the Wisconsin Integrated Cropping Systems Trials: I. Productivity 1990-2002. *Agronomy Journal* 100: 253-260
- Rosset P. 1999. Small is beautiful. *The Ecologist* 29: 452-456.
- Sisk TD, Haddad NM, Ehrlich PR. 1997. Bird assemblages in patchy woodlands: modeling the effects of edge and matrix habitats. *Ecological Applications* 7: 1170-1180.
- Stanhill G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30: 1-26.
- Tejat S, Teffan I, Ruess A, Carstent H. 2002. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscape. *Ecological Applications* 12: 354-363.
- Toledo V. 2002. Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Agroecología e Desarrollo Rural Sustentable* 3: 27-36.
- Tscharntke T, Steffan-Dewenter I, Kruess A, Thies C. 2002. Characteristics of insect populations on habitat fragments: a mini review. *Ecological Research* 17: 229-239.
- Vandermeer JH, Carvajal R. 2001. Metapopulation dynamics and the quality of the matrix. *The American Naturalist* 158: 211-220.
- Vandermeer J, Perfecto I. 2007. The agricultural matrix and the future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21: 274-277.