

- B in hospital personnel. *Am J Epidemiol* 1975; 101:59-64.
6. Krugman S. Hepatitis B Immunoprofilaxis. *Lab Med* 1983; 14: 727-732.
7. Fields HA, et al. Sensitivity of enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) for detection of hepatitis B surface antigen. *WHO* 1983; 61: 135-142.
8. Altafulla M, Del Castillo R. Incidence of hepatitis B surface antigen in hospital personnel, Metropolitan hospital complex in Panama. *Rev Lat Amer Microbiol* 1983; 23: 160-171.
9. Prince Am. Prevalence of serum hepatitis related antigen (SH) in different geographic regions, *Am J Trop Med* 1970;19:872-879.
10. Hoofnagle JF. Serological markers of hepatitis B virus infection. *Ann Rev Med* 1981; 32: 1-11.
- 

## TESIS PREMIADA ESCUELA DE BIOLOGIA

### DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MONITOREO BIOLÓGICO A LARGO PLAZO MOSTRADO A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CASO: EL CORTE SELECTIVO DEL BOSQUE EN LA COOPERATIVA BETHEL, LA LIBERTAD, PETÉN.

Claudio Aquiles Menéndez Hernández<sup>1</sup>  
Oscar Francisco Lara<sup>2</sup>

#### I. RESUMEN

Los requerimientos para el planteamiento, diseño y ejecución de un programa de monitoreo ecológico son mostrados a través de este estudio de caso, el efecto a largo plazo del corte selectivo del bosque sobre la diversidad biológica en la Cooperativa Bethel, La Libertad, Petén.

La información existente sobre los planes de manejo forestal de Bethel fue analizada para conocer los detalles de su ejecución. Se examinaron los datos de un estudio del efecto del primer corte selectivo efectuado según el plan de manejo. Se realizaron verificaciones de campo para conocer los aspectos prácticos del manejo forestal referido y las características del área en general. Con esta información fue posible caracterizar e interpretar el tratamiento. Se recopilaron y analizaron los datos de un estudio piloto sobre mariposas diurnas, escarabajos copronecrófagos y mamíferos menores para ser probados como indicadores de los cambios en la diversidad biológica producidos por el tratamiento, siguiendo las recomendaciones de Landres (1988), Noss (1990) y Kremen (1992).

Con toda esta información se planteó un diseño de monitoreo de la diversidad biológica con una duración

mínima de 20 años. El diseño busca probar posibles cambios en la heterogeneidad (diversidad  $\beta$ ) producidos por el efecto crónico del tratamiento.

#### II. INTRODUCCION

En septiembre de 1993, en el Primer Congreso Mundial de Manejo de Vida Silvestre celebrado en Costa Rica, en un panel se discutió sobre el significado, utilidad y necesidad de monitoreo biológico (Bissonette y Krausman 1995). La palabra en si es un anglicismo, derivado de "monitoring" y ha sido ampliamente difundida, siendo ahora parte de la jerga científica.

"Monitoreo" es el seguimiento de un fenómeno a lo largo de un tiempo dado; sin embargo debería especificarse en que consiste un verdadero monitoreo. En el citado congreso se llegó a la conclusión que "monitoreo biológico" es el estudio del efecto de algún agente, factor o condición establecida, sobre un sistema medido a través de cambios en algún componente sensible (e.g. la diversidad biológica). Así, se "monitorea" la calidad del agua en relación al establecimiento de una explotación minera o se monitorea la diversidad de insectos en relación al posible efecto de un plaguicida en un ecosistema.

Noss (1990) señala que la diversidad biológica ha sido una consideración menor en la política ambiental,

<sup>1</sup> Licenciado en Biología.

<sup>2</sup> Licenciado en Biología, Maestría en Manejo de Vida Silvestre, Director de Escuela de Biología, USAC.

en parte porque se ha visto como un concepto demasiado amplio, vago y difícil de aplicar en las regulaciones y el manejo de los problemas del mundo conservacionista real. Contradictoriamente, cada día se hace más común la justificación de cualquier plan o programa de manejo en función de su beneficio para la conservación de la diversidad biológica, como la que se ha utilizado en Guatemala para el desarrollo de una política conservacionista (Nations 1989, Nations 1984, Villar 1983).

Afortunadamente y paralelamente a esta contradicción se están afinando cada día más los conceptos relativos a diversidad biológica. Halffter (1992) dice que "la diversidad biológica" es un resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes modos de ser para la vida. Mutación y selección determinan las características y la cantidad de diversidad que existen en un lugar y momentos dados. También diferencias a nivel genético, diferencias en las respuestas morfológicas, fisiológicas y etiológicas de los fenotipos, diferencias en las formas de desarrollo en la demografía, y en las historias de vida. También se sabe que la diversidad biológica como atributo perceptible varía con la actividad humana y que una medida del efecto de esta actividad puede ser la medición de la biodiversidad y sus cambios.

El monitoreo de la diversidad biológica, como se plantea aquí, busca como principal meta medir sus cambios como resultado de la variación en las condiciones iniciales (consideradas como factores), por procesos naturales o inducidos, a través del tiempo. El presente trabajo de tesis pretende mostrar los requerimientos para el establecimiento de un programa de monitoreo biológico, ejemplificados a través de un estudio de caso: la medición del efecto sobre la diversidad de extracciones forestales selectivas, este estudio fue realizado en la Cooperativa Bethel, Petén. Se propuso estimar el cambio en la diversidad biológica a través de mediciones en especies consideradas indicadoras.

Además, se buscó definir las bases para un programa de monitoreo a largo plazo empleando un enfoque multitaxonómico, el cual consiste en comparar resultados desde varios puntos de vista y no sólo el obtenido del estudio particular de un taxón (Méndez et al. 1995); y observando las recomendaciones de

Landres y colaboradores (1988) y Kremen (1992). Esto es, en relación a las cualidades de un indicador que deben ser analizadas previamente a su utilización y también a las preguntas que se quiere responder a través del desarrollo de un programa de monitoreo.

### III. MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio.

Este proyecto se desarrolló en la cooperativa Bethel, ubicada en el Municipio de la Libertad, al extremo oeste del departamento de Petén (mapa 1). Se conformó como Cooperativa Agropecuaria de Servicios Varios R. L. en el año de 1975, con un total de 50 socios activos.

La ubicación geográfica de Bethel es la siguiente:  
Latitud Norte: 16°47'44.52" a 16°51'53.28"

Longitud oeste. 90°46'28.20" a 90°51'16.92"

De acuerdo al Decreto 5-90, la Cooperativa Bethel se encuentra ubicada dentro de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Maya. Según el catastro del INTA, la extensión total de la Cooperativa es de 4,226.86 ha. De estas, 388.9 ha. se encuentran dentro del Área Núcleo en el Parque Nacional Sierra del Lacandón.

#### CUBIERTA ARBOREA

Datos provenientes del Plan de Manejo Forestal de la Cooperativa Bethel (Gretzinger y Salazar 1993), indican que un 69.32% de la cubierta forestal aún se encuentra presente. Sin embargo estos mismos datos afirman que en los años 91-92 fueron intervenidas ciertas áreas por extracción selectiva de maderas preciosas, principalmente cedro y caoba. Sin embargo, la mayoría del área boscosa estaría de alguna manera intervenida (observaciones personales efectuadas en 1994).

La zona boscosa es un fragmento relativamente grande que está sujeto a la intervención de los habitantes de la cooperativa, así como los del poblado Retalteco, ubicado al noreste. Las principales actividades productivas de la gente son la agricultura tradicional y en menor grado la ganadería. También hay prácticas extractivas de madera, hojas de palmas y cacería.

### PROCEDIMIENTO

La presente tesis abarcó únicamente lo correspondiente al diseño del programa de monitoreo desde su definición, factibilidad, contexto, planteamiento de preguntas y variables. Para ello se consideraron dos fuentes de información: las obtenidas a través de consultas, revisiones y la obtenida de las visitas de campo. La implementación del programa de monitoreo por parte de otra entidad debería basarse en esta primera fase de diseño.

#### ETAPA 1 (Gabinete)

Como se quería conocer si existe un efecto medible de las actividades humanas sobre la diversidad biológica, como producto de las extracciones forestales selectivas, se estudió los detalles descritos en los antecedentes, sobre: 1) la cubierta forestal, 2) topografía, 3) suelos, 4) clasificación del bosque y 5) los detalles del plan de aprovechamiento forestal. Así mismo se evaluó los taxa propuestos con respecto a los aspectos y criterios ya descritos, sobre el uso de indicadores. Para cada aspecto, de acuerdo a Noss (1990), existen indicadores y herramientas para obtener la información. Para ubicar el lugar y sus áreas de influencia se empleó imágenes de sensores remotos fotografía aérea e imágenes Land-Sat TM y mapas (IUFRO 1992). Revisión de estudios previos y de aquellos actualmente en progreso, dieron la ubicación dentro de un contexto mayor (Petén).

#### ETAPA II (trabajo de campo)

Se efectuó visitas de verificación de la información recopilada a partir de los mapas de GIS y de las consultas a los encargados del aprovechamiento (Centro Maya). También se buscó redefinir las preguntas específicas del programa de monitoreo, ante la realidad: otras posibles fuentes de variación no detectadas antes, problemas logísticos y contacto con las comunidades humanas. El principal objetivo de los viajes al campo fue verificar las condiciones reales del área. Se recabaron los criterios de los especialistas de cada taxón respecto a los problemas y necesidades para el desarrollo de su estudio. Con el auxilio del sistema de posicionamiento global (GPS) se ubicó y mapeó áreas y puntos de posible interés para cada una de las fases del monitoreo.

Se examinó las rutas de acceso, caminos y senderos que permiten llegar a los sitios de extracción, vegetación remanente que será aprovechada y la que no lo será; se evaluó estas rutas en función de los requerimientos mínimos de transporte y tiempo necesarios para efectuar los muestreos de cada taxón, según los métodos estandarizados que se explican adelante.

Se diseñó un estudio piloto empleando las áreas sujetas al tratamiento (EX) y comparandolas con áreas no extraídas (CL). EX1 es la extracción de 1994 y EX2 la de 1995.

Esta tesis está limitada al diseño del programa de monitoreo, incorpora el uso de varios taxa como indicadores y el empleo de información generada por los especialistas. Mariposas diurnas (*Papilionoidea* y *Hespenoidea*), *Coleoptera* de algunas familias y mamíferos menores. No se busca justificar el uso particular de estos grupos, sino conocer las consideraciones teóricas y prácticas para su aplicación en el monitoreo biológico.

Se empleó los métodos estándar que han sido probados por los especialistas en otros estudios, los cuales se describen a continuación:

La unidad muestral para mariposas diurnas consistió en un transecto de 500 metros en los cuales se disponen 10 trampas equidistantes, según la metodología modificada de Sparrow et al. (1994). El censo consiste en contar las especies que llegan a cada punto de trampa en un radio de 20 metros aproximadamente y tratar de determinar por medio de: observaciones sin captura, capturandolas con una red de mano o por medio de las trampas con cebo, el cual es banano fermentado. El censo tiene una duración de 7 minutos por estación. Hay dos unidades por sitio de muestreo separadas por lo menos 200 metros. Las trampas son colocadas una vez cada mes durante el año. El censo es únicamente diurno, retirándose las trampas por la tarde después de concluido éste. La muestra consiste en un día por mes y por área de estudio (EX 1, EX 2, CL1, CL2).

La unidad muestral para los escarabajos copronecrófagos es 10 trampas de tipo Pit-fall,

colocadas en un transecto y separadas cada 20 metros. Se coloca una unidad por área de estudio. Se utilizan como cebos, estiércol de vaca y pescado putrefacto. El método es el descrito por Halfier y Fávila (1993). La colocación de trampas es por la mañana y son retiradas al día siguiente para reunir información de la actividad diurna y nocturna. El censo se realiza una vez cada mes durante los meses de mayor actividad (junio a noviembre), según Cano E. (com. pers. 1995). La muestra es un día por mes y por área de estudio.

La unidad muestral utilizada para los ratones se basa en el método de O'Farell (1977) y modificada por Jolon (1994). Consiste en un total de 60 trampas-jaula tipo Sberman, colocadas en dos líneas paralelas. La muestra se obtuvo por la permanencia de las trampas durante 3 días (720 trampas noche en las 4 áreas), por área cada mes y durante todo el año.

Después de verificar todos estos ajustes se realizó censos a partir de julio de 1994 hasta junio de 1996, aunque hubo meses donde no se realizó, principalmente por condiciones meteorológicas adversas.

#### ETAPA III (Diseño)

En este estudio se ha predeterminado la variable dependiente diversidad biológica, en función del cambio de la cobertura arbórea sujeta a la extracción forestal selectiva. El estudio de caso de Bethel ilustra la forma de ordenar y procesar la información obtenida en las etapas 1 y 11, lo que permitió obtener un diseño, buscando medir el cambio en la diversidad biológica como una posible consecuencia del corte selectivo del bosque.

### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

#### ETAPAS I Y II

#### CONSIDERACIONES PRACTICAS AJUSTE Y VERIFICACION DE CAMPO

El estudio de la información recopilada (etapa 1) y las visitas efectuadas desde octubre de 1993 hasta finales de 1995 al área de la Cooperativa Bethel permitieron reunir la información sobre el desarrollo del programa de corte selectivo del bosque, su

reconocimiento y de visitar otros sitios aledaños utilizados por la población. Se realizó los contactos con los representantes de la comunidad y se involucró a algunos de ellos para ser entrenados en las técnicas de muestreo y para que actuaran como guías en el bosque.

Con la ayuda de un receptor de Posición Global (GPS), se localizó y recorrió las áreas de aprovechamiento forestal. Así también se recorrió las diferentes áreas que aparecen en un mapa de estratificación realizado por PROPETEN, en base de un inventario forestal. Ello permitió establecer que los estratos mencionados como "ya aprovechados" en realidad no muestran diferencias aparentes con los estratos que serán aprovechados. En los primeros se realizó en 1991 cortes de caoba y cedro. Pero la constante actividad de los pobladores dentro del bosque en busca de madera para sus casas y leña, agrega una extracción equiparable y más difundida que esta extracción de 1991. Un estudio realizado sobre la homogeneidad del bosque en Bethel (Coronado 1995), muestra que las diferencias en estructura y composición tienen relación con gradientes de humedad, los que están relacionados con los pantanos de La Vaca y del Peje Lagarto.

En lo extremos de este gradiente encontramos la vegetación parcialmente sumergida especialmente en la temporada de lluvia y la vegetación de la parte alta de pequeñas colinas.

Estas primeras observaciones sirvieron para definir un criterio general para la ubicación de las unidades muestrales: no serán colocadas en los extremos del gradiente de humedad del bosque. Los otros aspectos de la estratificación y clasificación de la cobertura, presentados por PROPETEN, no son relevantes en apariencia por lo que no serán considerados para la selección de los sitios de muestreo.

Al efectuar el estudio piloto se pudo establecer aspectos logísticos que afectan el diseño futuro del programa de monitoreo. Los más relevantes son: CL1 es accesible desde la carretera a Retalteco a unos 200 metros de ésta. CL2 se encuentra a 800 metros de esta misma carretera. EX1 está a unos 3000 metros de la carretera principal y se requiere entrar a través de una

vereda en mal estado, con un vehículo de doble tracción, lo que demora unos 20 minutos. También es posible entrar desde CL2 caminando 45 minutos. EX2 está a unos 400 metros de la orilla de la carretera a la comunidad conocida como La Técnica. Considerando la hora de inicio de los muestreos y censos de todos los taxa, EX1 muestra el límite práctico permisible de distancia y dificultad a la que se puede entrar y realizar un muestreo.

Los resultados de un año de censo y colectas despliegan un inventario parcial de las especies de mariposas diurnas, el total (o muy cerca) de los escarabajos y total de los ratones. Se completó el inventario de mariposas con los datos de colectas de un año (con colectas antes de iniciar el estudio piloto), colectas con red fuera de las áreas de censo y en habitats de borde. Todos los datos alimentaron una base de datos en Quattro Pro 5.0 para ventanas. La determinación de los especímenes colectados y que no fue posible realizarla en el campo se realiza actualmente en el laboratorio de Entomología Sistemática de la Universidad del Valle, donde también están depositados la mayoría de especímenes de mariposas y escarabajos del programa CCB/CECON.

El censo registró 2,663 especímenes de escarabajos entre los meses de julio a noviembre de 1995 correspondientes a 39 especies: las diferencias observadas son especialmente notorias entre el área de potrero y las áreas de bosque: *Canthon viridis*, *Onthophagus landolii* y *Onthophagus* sp. "a" se encuentran casi exclusivamente en potrero. Entre los controles y las extracciones también se nota una ligera diferencia: *Megathoposoma candezei*, *Bdelyropis bowditchi*, *Ateuchus* sp., *Canthon femoralis* y *Deltochillum sacbriusculum*, se muestran en los datos con mayor abundancia en bosques sin corte selectivo.

Las colectas y el censo de mariposas efectuado entre agosto de 1994 a noviembre de 1995 registró 117 especies de las familias *Nymphalidae*, *Papilionidae* y *Pieridae*. No se presenta aquí los resultados para las familias *Lycaenidae* ni *Hesperiidae*, de las cuales, muchas especies se encuentran pendientes de determinación. Durante el censo se registró 77 especies y 659 individuos cuyos datos de abundancia relativa. El estudio de mariposas diurnas no incluyó el hábitat de pastizal o potrero.

Durante un año de muestreo julio de 1995 a junio de 1996 se capturó 4 especies de ratones y una especie de musaraña: *Heteromys desmarestianus*, *Otodylomys phyllotis*, *Oryzomys melanotis*, *Sbmodon hispidus* y una musaraña (Insectívora: Soricidae).

Se aplicó a los datos de escarabajos y mariposas un análisis de grupos usando el Porcentaje de Disimilitud de Bray-Curtis. El agrupamiento se realizó con base de la estrategia flexible recomendada por Ludwig y Reynolds (1988) y con un valor para  $\beta$  de 0.25.

#### DISEÑO DEL PROGRAMA DE MONITOREO (etapa III)

La información obtenida por los muestreos de los taxa ya descritos forma la línea base que permite desplegar datos sobre las especies presentes, fenología y abundancia relativa. El análisis descriptivo de la distribución de las especies sugiere también una posible hipótesis sobre el efecto del tratamiento sobre la heterogeneidad: los dos grupos que se segregan representan el efecto del tratamiento o alternativamente, la distancia entre grupos representa el efecto del sitio.

También se sabe ahora cuales son los requerimientos logísticos y limitantes impuestas por la naturaleza del lugar: sitios cercanos a los pantanos no será posible evaluar. Tampoco debe evaluarse las colinas pues no sólo representan el extremo del gradiente de humedad además no habrá extracción en estos lugares, por limitantes en la remoción de la madera.

La disposición de los futuros compartimientos de corta no es precisa en el plan de manejo y la que se presenta aquí es hipotética. El modelo muestra 4 áreas que ya han sido establecidas: extracciones de 1994, 1995, 1996 y 1997. Dos áreas que han sido estudiadas como controles (sin extracción) y la posible disposición de los restantes 16 compartimientos. Se puede distinguir entonces tres condiciones del área experimental: sitios que ya han sido extraídos, sitios de futura extracción y sitios que no tendrán extracción, todos completamente intercalados y sin un orden preestablecido.

preestablecido.

Para abarcar la amplitud de este tratamiento se propone disponer los sensores (unidades muestrales de los taxa indicadores) en un modelo espacial de tipo sistemático (Hurlbert 1984) disponiendo los sensores a lo largo del camino principal y tratando de cubrir todos los eventos. La información de la abundancia temporal del estudio piloto sugiere que los censos sean realizados cada año en la época lluviosa, lo que comprende los meses de junio a noviembre cuando se ven aumentadas las poblaciones de muchas especies.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El enfoque de estudio con indicadores que se está aplicando tiene dos salidas de datos, el de especies analizadas separadamente y el de ensambles de especies (Kremen 1992). Para los dos casos se quiere analizar la relación entre algún valor de la variable diversidad ( $\beta$  diversidad) en un punto dado con el valor de esta variable en otros puntos. Este enfoque de análisis corresponde a la medición de la continuidad espacial (Rossi et al 1992):

Los estudios piloto han provisto una línea base de información que refleja el probable comportamiento de las especies en relación con el tratamiento. Esta primera propuesta es de carácter general y los detalles se establecerían al instalar todo el diseño de muestreos propuesto arriba. Se estimará la covarianza entre los valores de disimilitud de EX vrs. los de CL. Los valores de abundancia relativa de especies indicadores provenientes de sitios EX y CL pueden ser considerados como variables ( $u, v$ ) y entonces calcular su covarianza, la cual se define como el producto medio de las diferencias entre cada variable y su respectiva media (Roossi et al. 1992):

$$\hat{C}_{kv} = \frac{\sum_{i=1}^N (u_i - \mu_u) (v_i - \mu_v)}{N}$$

$N$  es el total de pares de valores de la muestra (todos los datos EX y CL de las abundancias de los indicadores). O su conveniente conversión al coeficiente de correlación lineal de Pearson:

$$\hat{P} = \frac{\sum_{i=1}^N (u_i - \mu_u) (v_i - \mu_v)}{S_u S_v}$$

donde el denominador es ahora el producto de las respectivas desviaciones estándar de los valores de las variables  $u$  &  $v$ .

Los resultados de este análisis de exploración de los datos puede guiar al usuario para el uso de geoestadística. Posiblemente el llamado h-plot de dispersión sería muy informativo para la comprensión de múltiples poblaciones y sus tendencias (Rossi et al. 1992).

Este estudio puede ser considerado como un experimento natural de trayectoria (Galindo-Leal 1996) en el cual se compara una comunidad durante intervalos de tiempo en los cuales se produce una perturbación; en este caso, el corte selectivo del bosque. Es inherente a este tipo de estudio la dificultad de manipular las fuentes de variación. Tal situación se magnificó por la falta de precisión de las características del tratamiento. La aproximación hecha de este tratamiento impone algún grado nuevo de incertidumbre. Algo similar ocurrió al referirse a la variable de respuesta esperada, la diversidad biológica. Aún visualizandola como una variable también dependiente de la escala de tiempo y espacio sigue siendo un problema bastante teórico que urge darle características prácticas.

Recientemente surge otro concepto abstracto e impreciso: integridad de un ecosistema (King 1993) y más aún, "integridad ecológica"; las agencias donantes urgen a los gobiernos y entidades ejecutoras a enfocarse en el monitoreo de la "integridad". En realidad es mejor ir paso a paso, recordando que la idea de los modelos es poder anticiparse a los hechos y de esa manera corregir.

El monitoreo de la diversidad biológica solo es un caso de la aplicación de herramientas científicas de medición y podrá dar respuestas relevantes si las metas son claramente establecidas en relación de un problema correctamente definido.

En el presente estudio cabe muy bien la pregunta: ¿Qué caso tiene monitorear la diversidad biológica relacionada con un sistema de manejo forestal como es el corte selectivo del bosque?

Una respuesta desde el punto de vista puramente académico es porque es una oportunidad de avanzar en la investigación de los cambios en los ecosistemas tropicales inducidos por los estilos de vida y uso de los recursos. Y, entre mas se avance en este sentido, será posible modelar cuales son y serán las tendencias establecidas.

Desde el punto de vista del manejo, incorporar estas actividades de monitoreo se convierte en una poderosa herramienta de evaluación de los planes de manejo y consecuentemente, en una forma de modificarlos o incluso elaborarlos de nuevo. Por ejemplo, el plan maestro de la RBM considera tres zonas fundamentales: zonas núcleo, zonas de uso múltiple y zonas de amortiguamiento (CATIE 1996). La zona de usos múltiples permite el uso "racional" de los recursos para darle sostenibilidad" a la RBM. Se está considerando la aplicación de un plan general de manejo forestal para esta zona y podrían aplicarse criterios de manejo similares a los de Bethel, como el corte selectivo de tipo industrial y comunitario (Synnott 1994). Por otro lado, la zona de uso múltiple secciona o separa las zonas núcleo. Estudios serios de monitoreo ecológico ayudarían a establecer cuales podrían ser las consecuencias de un tipo de manejo como el corte selectivo. En teoría parece que este esquema de manejo fomentará la fragmentación; pero ambas consideraciones deberían ser probadas.

Tomando en cuenta la escala temporal y espacial en la que ocurren los efectos previstos de la fragmentación de los ecosistemas (Shafer 1990, Brown 1989) en contraste con las apreciaciones provenientes de estudios de impacto ambiental y otros tipos de evaluaciones sobre cambios en la diversidad biológica y que apoyan medidas correctivas como el sistema de áreas protegidas y planes de manejo, se puede esperar un incentivo a la fragmentación en Guatemala y en la región. Solamente estudios verdaderos de monitoreo de estas tendencias naturales e inducidas, los cuales se proyectan arriba de 20 años como mínimo serán relevantes. Vale la pena considerar que los bosque de la zona Maya en Petén podrían tener una edad de 1000 años nada más, producto de la actividad de las culturas que poblaron la región (Leyden 1984) y éste podría ser un tiempo razonable para comprender el desarrollo de este tipo de bosque tropical.

Como estrategia de investigación y monitoreo el uso de indicadores está logrando importantes avances: los estudios piloto de inventario y monitoreo con mariposas diurnas en el Parque Nacional Tikal proveen una línea base de información que ha estimulado investigaciones como la que se presenta en este estudio. Se tiene datos sobre fenología, distribución y abundancia en varios tipos de hábitats (Austín et al 1996). Sin embargo no hay que olvidar que estos avances son una pequeña parte de la información necesaria cuando se habla de indicadores como se explicó anteriormente.

Ahora estamos calibrando métodos y estos resultados muestran algunos aspectos de la formulación de programas de monitoreo pero falta mucho más. El enfoque multitaxonómico empleado en este trabajo muestra ventajas sobre el uso de un solo taxón. Los resultados del análisis de grupos aplicado a los datos de mariposas diurnas son muy similares a los de escarabajos. Esto puede reforzar un análisis de la continuidad espacial de estos puntos de muestreo.

El siguiente modelo explica el comportamiento supuesto de un indicador y como los criterios de selección ayudan a predecir los cambios en el comportamiento producidos por el tratamiento:

La Figura No. 3 representa el tratamiento al bosque donde en A los puntos que se mueven en líneas ondulantes son los indicadores. Estos están ampliamente distribuidos en el hábitat. Hay algunos elementos fuera del hábitat y detrás de la línea nombrada como borde. Las líneas onduladas representan el flujo de los indicadores simplificado y en una sola dirección. En A1 se representa una muestra en un área sin tratamiento. En B1 fue practicada una extracción forestal creándose un claro. El claro afecta el flujo de los indicadores de la siguiente manera: algunos elementos evitan este punto; otros lo atraviesan sin cambios. Otros que estaban fuera del hábitat, por ejemplo detrás del borde, ingresan al lugar. Se supone que las especies que se estudian se aproximan bastante a este comportamiento ideal de un indicador, porque están ampliamente distribuidos, son abundantes y sensibles al tratamiento (propiedades 1 y 2).

El cuadro dentro de las figuras muestra que su

tamaño es independiente de su efectividad capturando indicadores, pues estos son lo suficientemente abundantes y completamente distribuidos en el área. De esta forma lo que se deberá calibrar será la duración del esfuerzo de muestreo y la forma de la unidad muestral.

De esta manera los indicadores serán sensibles a cambios en la heterogeneidad del sistema porque el tratamiento cambia su flujo dentro de él. Puede distinguirse a priori dos situaciones diferentes de la respuesta al tratamiento: el cambio instantáneo producido por la modificación de la cantidad de luz (y por ende cambios en microclima como humedad y temperatura). Este cambia la distribución pero no necesariamente la abundancia de los indicadores. Un segundo efecto es de mas largo plazo el cual es causado por degradación progresiva del área sujeta al tratamiento: cambios en microclima como humedad y temperatura y cambios en la composición y estructura del sistema, los que se podrían traducir en cambios en la disponibilidad de alimento, hospederos, aumento de depredadores, patógenos, etc. Estos pueden producir cambios en la abundancia de los indicadores. Se asume que el indicador es sensible a toda esta gama de cambios.

Por ahora la distribución de mariposas y escarabajos forma dos grupos en relación al tratamiento. Observando la matriz de datos cruda es fácil intuir que esta separación, en el caso de las mariposas, es producida por un grupo de especies que es exclusiva o poco compartida entre áreas de muestreo *Marpesia chiron* fué mas frecuente en las áreas EX. *Caligo urunus* es más frecuente en las áreas CL. Una explicación a estos resultados la da el modelo descrito del comportamiento de indicadores: *M. chiron* es una especie que vuela en áreas abiertas del bosque, bordes y caminos con suficiente abertura del dosel. Normalmente esta especie cruza el bosque por arriba de la bóveda y su ocurrencia dentro de los claros producidos por el tratamiento se produce por su incursión ya sea desde arriba o por los caminos dejados en la remoción de la madera. La otra especie, *C. uranus*, por el contrario evitan el exceso de luz y el calentamiento derivado. Probablemente esto produce las diferencias observadas. Ejemplos similares ya fueron explicados para los escarabajos

copronecrófagos. Estos casos ejemplifican los efectos instantáneos de los claros producidos por el tratamiento, en el comportamiento de estas especies. Dado lo pequeño del área afectada en estos primeros compartimientos de corta no es válido hablar de efecto en la diversidad desde el enfoque de heterogeneidad.

Seguramente los cambios más profundos en la distribución y abundancia de las especies tienen relación con cambios en la calidad del hábitat. Pocos estudios se han enfocado en este contexto. Un estudio en un bosque denso al norte de Manaos, Brazil, se inició en 1980 como parte de un proyecto de 25 años y está diseñado para probar las teorías de biogeografía de islas en hábitats continentales.

Las observaciones sobre los cambios físicos y biológicos han permitido evaluar los efectos de borde provocados deliberadamente, al crear fragmentos de bosque rodeados de claros (Brown 1989). Señala este estudio que en el borde del bosque, la luz puede tener ahora una penetración de hasta 150 metros. El viento de hasta 100 metros. Además, el calentamiento excesivo del área descubierta por la insolación o por quema penetra hasta 100 metros del borde, con su consecuente depresión del oxígeno. Estas condiciones ambientales favorecen la invasión de plantas y animales hasta 300 metros (bejucos y enredaderas).

El hábitat de borde favorece el crecimiento de especies de artrópodos depredadores y otros insectos. También se señala la penetración de aves de los claros. Estos factores de alguna manera han afectado a las comunidades de mariposas señala el estudio de Manaos: las grandes especies con requerimientos especiales desaparecen en los fragmentos de bosque pequeños (*Morphinae*, *Brassolinae* y *Charaxinae*). Otros grupos afectados son los que prefieren los lugares con sombra, tanto los de amplia distribución en el bosque como los *Satyrinae* o los que se agrupan como los *Ithomiinae*. Las especies asociadas a lugares iluminados como los *Heliconiinae* y que prefieren los sitios de rebrote de sus plantas nutricias cambian sus densidades por cambios en el hábitat de borde donde crecen estas plantas.

El caso de estudio en Bethel podría estar reproduciendo condiciones que remendian un efecto



de borde solo que de manera intrusiva y por eso se puede sospechar de cambios microclimáticos como los que ya se han citado en el caso de Manaos aunque de menor intensidad. Comparativamente el caso de fragmentación estudiado en Manaos es un tratamiento agudo y el de Bethel es crónico.

En todo caso el poder detectar cual es el efecto de este tratamiento sobre la biota y como atributo de esta, la diversidad; es necesario conocer estos detalles sobre la biología, comportamiento y ecología de los indicadores. La información acumulada sobre los taxa de este estudio posiblemente permitirá interpretar los cambios en las poblaciones pero entre mas profundos sean estos conocimientos, mas detallados pueden ser los análisis de causa-efecto.

La evaluación del diseño experimental utilizado en el estudio piloto también sirvió para corregir un posible diseño de monitoreo de la diversidad a largo plazo: primero debe notarse que las áreas experimentales (EX) y los controles (CL) presentan problemas de segregación simple y por lo tanto pseudorreplicación (Hurlbert 1984). Es decir las diferencias que muestran algunas especies en su distribución y en su abundancia no deberían ser tratadas a través de inferencia estadística (Hurlbert 1984). Además, como antes ya se dijo, una evaluación de 3 ó 4 años podría tener poco valor en términos de determinar cambios en heterogeneidad.

Por otro lado si el tratamiento que interesa tiene ciclos de 20 años, agregandose cada año un nuevo compartimiento de corta, los cuales afectarán amplias regiones de la banda boscosa, incluyendo áreas contiguas a los actuales controles, entonces el experimento debe tener una duración mínima de 20 años.

## V. CONCLUSIONES

Este estudio ejemplifica las etapas que deben ser cubiertas para formular un plan de monitoreo de la diversidad biológica ante una fuente de perturbación, mas aún, este esquema puede ser válido en otros estudios en los cuales se tiene en común tres aspectos: definir el problema, qué es exactamente lo que se quiere saber, qué enfoque se utilizará para resolver el

problema y cómo se aplicará. Estos tres aspectos implican definición del problema, escoger una estrategia para resolverlo y plantear un diseño de ejecución.

### Sobre el planteamiento del problema

Siguiendo este esquema se logró caracterizar el tipo de manejo forestal al cual se denominó tratamiento, el que se definió en tiempo y espacio. Se escogió una variable que pudiera ser un estimador del efecto del tratamiento, se dieron las justificaciones y se eligió la diversidad biológica, definida en función de tiempo y espacio: se concluye que el problema queda definido como, ¿Cuál es el efecto del tratamiento sobre la heterogeneidad (diversidad 13) en un tiempo mínimo de 20 años?

### Sobre la estrategia de investigación

La estrategia empleada puede definirse como el uso de indicadores. Para referirse a indicadores se especificó y caracterizó según lo establecido por Noss (1990), Kremen (1992) y Landres (1988). Se completa esta definición con el establecimiento de criterios de selección de indicadores. Se validaron los taxa empleados como indicadores en base de estos criterios de selección: mariposas diurnas, escarabajos copronecrófagos y mamíferos menores. Los taxa empleados pueden considerarse como buenos indicadores de la heterogeneidad ya sea separadamente o en conjunto, con la excepción de los mamíferos menores cuya utilidad puede ser la de correlacionar los resultados de los otros grupos con ellos. Es necesario probar muchas especies y continuar los estudios básicos para tener una sistema más sensible como complejo indicador.

### Sobre el diseño experimental

El diseño experimental propuesto pretende probar si el tratamiento tiene efecto sobre la heterogeneidad (diversidad  $\beta$ ) en un tiempo mínimo de 20 años. El diseño puede considerarse también la base de un posible programa de monitoreo de la diversidad biológica, donde los indicadores son abordados como estimadores formales.

### Sobre las aplicaciones

Se concluye que por ahora, debido a la falta de inclusión de criterios científicos por los conservacionistas, políticos y administradores para la

toma de decisiones o en el diseño de planes de manejo, este tipo de análisis y monitoreo ha tenido aplicaciones limitadas. En particular ningún programa de manejo actualmente está proponiendo un estudio formal sobre la diversidad.

Por otro lado podría ser de gran valor considerar el uso de este esquema de monitoreo de la diversidad dentro de los planes de manejo en la RBM; en particular en la zona de usos múltiples donde se propone utilizar la tala selectiva y otros usos que se supone "sostenibles" y esto daría la posibilidad de probarlo.

#### VI. BIBLIOGRAFIA

1. Austin, G.T., N.M. Haddad, C.A. Méndez, T.D. Sisk, D.D. Murphy, A.E. Launer, and P.R. Ehrlich. 1996. Annotated checklist of the butterflies of Tikal National Park and vicinity, Guatemala (Lepidoptera). *Tropical Lepidoptera* 7(1): 21-37.
2. Bissonette, J. A., and P. IL Krausman, eds. 1995. Integrating people and wildlife for a sustainable future. Proceedings of the First International Wildlife Management Congress. The Wildlife Society, Bethesda, Md. 697pp.
3. Borror, D. J., D. M. DeLong and C. A. Triplehorn. 1976. An introduction to the study of insects. Fourth ed. Holt, Rinehart and Winston. U.S.A. XXXIV+789pp.
4. Brown, K. S. 1989. Conservation of neotropical environments: insects as indicators. Pags. 350-401 en N. M. Collins & J. A. Thomas. (editores). *The conservation of insects and their habitats* Academic Press. San Diego, CA. USA.
5. Centro de Datos Para la Conservación de Guatemala. 1987. Manual de Operaciones. The Nature Conservancy.
6. Centro de Datos para la Conservación. 1993. Evaluación ecológica rápida de la Reserva de la Biósfera Sierra de la Minas. Reporte final. Guatemala, Guatemala. 57pp.
7. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1996. Plan maestro Reserva de la Biósfera Maya. Consejo Nacional de Areas Protegidas. Guatemala. 39pp.
8. Contreras, J. y J. Morales. 1995. Evaluación de los efectos del aprovechamiento forestal sobre el bosque residual en Bethel, La Libertad. Petén. Guatemala, PROPETEN. Conservación Internacional 34pp.
9. Coronado, L. E. 1995. Determinación de la homogeneidad del bosque en el área del monitoreo biológico en la cooperativa Befliel (La Libertad, Petén). (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 37pp.
10. Defensores de la Naturaleza. 1990. Estudio Técnico para dar a Sierra de las Minas la categoría de Reserva de la Biósfera. World Wildlife Fund-Defensores de la Naturaleza. Guatemala. Guatemala. 44pp.

**UBL  
RGH****Servicios de Laboratorio**

**Reactivos, colorantes  
Soluciones estandarizadas  
Medios de cultivo  
Materiales para Laboratorio  
Clínico e Industrial**

Dirección : 1 ave. 2-17 zona 2, El Sauce y 18 avenida 1-45 zona 1

Tel/Fax: 221 0196, 253 1171

e-mail: [ubl@guate.net](mailto:ubl@guate.net)