

Volumen 11 (4)

Febrero de 2008



MESOAMERICANA

Revista Oficial de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación



ISSN 1659-2794

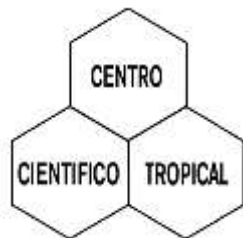


MESOAMERICANA

Revista Oficial de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación

Volumen 11 (4)

Febrero de 2008



La Junta Directiva de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación agradece profundamente al Centro Científico Tropical y a la Universidad Nacional de Costa Rica por financiar este número de Mesoamericana. Así mismo, agradece sinceramente a Alexander Gómez (Universidad Nacional, Costa Rica) y Sara González Bonilla (Relaciones Públicas, Universidad Nacional, Costa Rica) por sus gestiones en favor de la publicación de este número.



MESOAMERICANA

Revista Oficial de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación

Volumen 11 (4) Febrero de 2008

EDITORES

Jaime Raúl Bonilla-Barbosa
Olivier Chassot

CONSEJO EDITORIAL

Jim Barborak
Juan Carlos Martínez-Sánchez
Eduardo Carrillo
Alfonso Mata
Lenin Corrales
Guisselle Monge Arias
Oliver Komar
Daisy Rodríguez Batista
Bruce Ferguson
Christopher Vaughan
Jaime García
René Calderón-Mandujano
Fernando González
Jorge Correa
Bernal Herrera

COMITÉ EDITORIAL

Andrea Bolongaro-Crevenna Recaséns
Elizabeth Arellano Arenas
Jorge Luna Figueroa
María Cristina Saldaña Fernández
Salvador Santillán Alarcón
David Valenzuela Galván
Marisela Taboada Salgado
Tigram Contreras MacBeath
Hortensia Colín Bahena
Marcela Osório Beristain
Vicente Torres Rodríguez
Clotilde Arrocha Vásquez
Víctor Manuel Mora Pérez

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Jaime Raúl Bonilla-Barbosa
Vicente Torres Rodríguez

© 2008 Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación

Una publicación trimestral

Derechos reservados

Edición impresa de este número, Heredia, Costa Rica

ISSN 1659-2794

Entregado al Presidente de la Junta Directiva el 15 de julio, aprobado el 5 de agosto 2008

Diseño de la portada: Tigram Contreras MacBeath

Fotografía de la portada: Javier Madariaga

Las opiniones expresadas en Mesoamericana no necesariamente reflejan las opiniones de la Junta Directiva, el Editor o el Comité Editorial de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación.

DIRECTORIO

SOCIEDAD MESOAMERICANA PARA LA BIOLOGÍA Y LA CONSERVACIÓN

PRESIDENTE

Olivier Chassot

VICEPRESIDENTE

Gerardo Borjas

SECRETARIA

Fengmei Wu Chen

TESORERO

Néstor Herrera

FISCAL

Luis Eduardo Girón Galván

FISCAL SUPLENTE

Vacante

PRESIDENTE CAPÍTULO BELICE

Elma Kay

PRESIDENTE CAPÍTULO COSTA RICA

Zaida Piedra Cerdas

PRESIDENTE CAPÍTULO EL SALVADOR

Milagro Salinas

PRESIDENTE CAPÍTULO GUATEMALA

Vacante

PRESIDENTE CAPÍTULO HONDURAS

Sara Raquel Romero Flores

PRESIDENTE CAPÍTULO MÉXICO

Jaime Raúl Bonilla-Barbosa

PRESIDENTE CAPÍTULO NICARAGUA

Luis E. Hernández Santamaría

PRESIDENTE CAPÍTULO PANAMÁ

Ricardo J. Pérez

PRESIDENTE CAPÍTULO EXTRAREGIONAL

Jesse Fagan

EDITORES MESOAMERICANA

Jaime Raúl Bonilla-Barbosa

Olivier Chassot

EDITOR DEL PORTAL VIRTUAL SMBC

Carlos Galindo-Leal

PRESENTACIÓN

De acuerdo con su Plan de Trabajo, nuestra Junta Directiva está realizando esfuerzos para mejorar la presentación, el contenido y la gestión de *Mesoamericana*. A pesar de la falta de financiamiento, desde el año 2005 hasta el año 2007, el Editor en turno, Martín Lezama, con el apoyo de varios miembros de la Junta Directiva pasada y actual, logró mantener el flujo de publicación de *Mesoamericana*. La mayoría de los artículos publicados han sido generados por miembros de la Junta Directiva, Presidentes de Capítulos y Grupos de Interés Temático.

Mesoamericana ha tenido varias facetas, lo que refleja sin duda la diversidad cultural de todas las personas que se han esmerado en convertirla en nuestra carta de presentación. Podemos afirmar que hasta el momento su elaboración ha sido principalmente “artesanal”, con la mayor parte de los esfuerzos centrándose en la personalidad del Editor con la ayuda de algunos otros miembros en la revisión de los artículos, a veces escasos. Pareciera que aún el destino de *Mesoamericana* no ha sido completamente definido, y es algo que nuestra Junta Directiva ha debatido en todas sus reuniones desde el X Congreso de la SMBC en Antigua, Guatemala, en 2006.

Es importante recordar que *Mesoamericana* nació como un boletín de comunicación de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y La Conservación (SMBC), y que poco a poco ha surgido el interés de parte de la membresía de publicar los resultados de sus investigaciones y de sus proyectos de conservación. Sin duda, no se pretende que nuestra humilde Revista *Mesoamericana* compita con otras revistas científicas prestigiosas, sin embargo, creemos que esta postura no nos exime de asegurar su calidad y presentación. A través de ella, se refleja el objetivo y quehacer de la SMBC, exhibiendo su seriedad y su ánimo de convertirla en una asociación regional amplia y abierta para todos.

Son relativamente pocos los espacios de este tipo en los que se tiene la posibilidad de publicar artículos científicos o ensayos en varios idiomas, como el español e inglés, con cierta flexibilidad y sin preocuparnos de que dichos artículos sean rápidamente descartados por personas que en algunos casos desconocen la realidad de nuestra cultura y no valoren la relevancia de nuestras investigaciones. Es por esta razón que *Mesoamericana* se está concibiendo como un proyecto en continuo proceso de mejoramiento. Sin embargo, representa muchas tareas para una sola persona, y es por esto que desde el año 2007 hemos buscado fortalecer la revista por medio de la constitución de un Consejo Editorial, el registro del Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas (ISSN), y un diseño más profesional y estandarizado.

A partir del XI Congreso de la SMBC en Oaxtepec, encantados con la calidad y presentación del Libro de Resúmenes, y con el ofrecimiento del Dr. Jaime Bonilla-Barbosa de dirigir un Comité Editorial con experiencia y calidad, nuestra Junta Directiva acordó confiar esta ardua tarea a nuestro Presidente del Capítulo México. En este momento, el Dr. Bonilla-Barbosa está en el proceso de elaboración de una propuesta de Reglamento para *Mesoamericana*, el cual nos brindará las pautas a seguir para los años futuros, así como de lograr que nuestra revista sea indexada. Por supuesto, el éxito de esta nueva etapa en la trayectoria de *Mesoamericana* depende en gran parte de las contribuciones de los miembros y amigos de nuestra prestigiada Sociedad. En este sentido, nos complace recibir y publicar varias contribuciones de nuestra membresía cubana, las cuales contribuyen de manera elegante no solamente a ampliar el enfoque geográfico de la revista, sino también a integrar a nuestros hermanos y hermanas cubanos en el seno de la SMBC.

Queremos aprovechar este espacio para agradecer muy profundamente a Martín Lezama por su intensa labor en dirigir *Mesoamericana*. Martín ha sido un ejemplo de abnegación y de sacrificio en pro de nuestra revista y de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. Martín nos ha demostrado como es posible realizar un gran trabajo con amor, trabajo y dedicación constante de manera voluntaria. Al igual que con sus antecesores (Carlos Ramírez Sosa, Oliver Komar, Carlos Galindo-Leal y Mark Bonta), la SMBC tiene una fuerte deuda moral con Martín Lezama, y le expresamos nuestro más sincero reconocimiento.

Los Editores
Jaime Raúl Bonilla-Barbosa
Olivier Chassot

MENSAJE DEL PRESIDENTE

Estimados Mesoamericanos y Mesoamericanas,

Es un honor para su servidor y de la Junta Directiva, externarles nuestros mejores deseos para este nuevo año, esperando que sus sueños y metas para el 2008 se cumplan.

Espero que hayan tenido un feliz regreso desde Oaxtepec y aprovecho para felicitar al Dr. Jaime Bonilla-Barbosa, a la M. en C. Andrea Bolongaro y a todo su entregado equipo por haber logrado la cabal organización y desarrollo del XI Congreso de nuestra Sociedad en Oaxtepec, Morelos, México, a pesar del corto plazo, la falta de financiamiento externo y la adversidad en el componente logístico. Sobre este último punto, soy testigo, de los increíbles esfuerzos que el Comité Organizador realizó para mantener el buen desarrollo de este magno evento académico. La atención que además nos brindaron fue excelente y en lo personal, me sentí en Oaxtepec como en mi propia casa.

Después de la celebración de la XII Asamblea General de la SMBC, deseo informarles sobre algunos puntos de interés para la membresía.

En primer lugar, tengo el placer de comunicarles que se ha reactivado el Capítulo de Cuba de la SMBC. Para ello, este año, realice gestiones importantes para nuestra Sociedad, destacando entre ellas: el contacto permanente con el MSc. Maikel Cañizares del Instituto de Ecología y Sistemática (IES), conversaciones y reuniones con la Dra. Daisy Rodríguez (IES), el Dr. Hiram González, Presidente de la Sociedad Cubana de Zoología, y el Dr. René Capote, Delegado del Presidente de la Academia Nacional de Ciencias, así como participación de la Presidencia en el VII Simposio Internacional de Zoología en Topes de Collantes, Cuba. Con base en lo anterior, 22 solicitudes individuales de afiliación a la SMBC fueron recibidas, con el apoyo principal de la Sociedad Cubana de Zoología. Por tal motivo, la Asamblea General nombró al MSc. Maikel Cañizares como Enlace del Capítulo de Cuba, por lo que la reactivación de dicho Capítulo representa un reto y una oportunidad para la SMBC de atraer miembros estudiantes y profesionales de alto nivel académico y realizar intercambios que permitan el fortalecimiento de nuestra Institución.

En segundo lugar, se discutió la necesidad de aumentar las cuotas de membresía para poder mantener las operaciones básicas de la SMBC. En este sentido, se aprobó una propuesta de cuota diferenciada basada en el índice universal del Producto Interno Bruto por Paridad de Poder Adquisitivo, el cual difiere en cada país de la región mesoamericana. De esta manera, al igual que dentro de un estado de derecho, los miembros residentes en países con mayor capacidad de poder adquisitivo, pagarán cuotas más elevadas para equilibrar las fuentes de ingreso en nuestra sociedad y que se presentan más adelante.

También, se aprobaron cuotas de membresía institucional anual de \$200.00 para instituciones mesoamericanas y de \$500.00 para instituciones no mesoamericanas, así como una categoría de membresía vitalicia de

País	Estudiante	Profesional
América del Norte / Europa	\$40.00	\$80.00
América del Sur / Caribe	\$20.00	\$40.00
Costa Rica	\$25.00	\$50.00
México	\$25.00	\$50.00
Panamá	\$20.00	\$40.00
Belice	\$20.00	\$40.00
El Salvador	\$20.00	\$40.00
Guatemala	\$15.00	\$30.00
Nicaragua	\$15.00	\$30.00
Honduras	\$15.00	\$30.00

\$500.00 para miembros individuales, de \$2,000.00 para instituciones mesoamericanas y de \$5,000.00 para instituciones no mesoamericanas. El ingreso por concepto de membresía vitalicia entrará en una cuenta bancaria para alimentar un fondo patrimonial. En este sentido, consideramos que los primeros miembros vitalicios de la SMBC son Néstor Herrera, Luis Girón y su servidor. Todas estas cuotas serán vigentes hasta la XIV Asamblea General (2009), fecha en la cual serán evaluadas. Además, todos los ingresos por concepto de membresía serán repartidos de forma equitativa entre los respectivos capítulos (50%) y la SMBC (50%).

La Asamblea General igualmente aclamó la propuesta del Capítulo de Belice para organizar el XIII Congreso de la SMBC en su país, lo que personalmente analizo como un esfuerzo sobresaliente de integración de parte de nuestros colegas beliceños respaldando a su dinámica Presidenta, Dra. Elma Kay.

Finalmente, la Asamblea General recibió de manera positiva las propuestas de constitución de dos nuevos Grupos de Interés Temático (GIT). El *GIT de Conectividad*, a cargo del Dr. Bryan Finegan, el cual aparece como la secuencia lógica y deseable del seguimiento a los talleres y actividades que la SMBC ha llevado a cabo en el pasado con el Proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano, y nos permitirá divulgar y promover la implementación de las herramientas programáticas del CBM en nuestra región. El *GIT Manatí*, a cargo de Zaida Piedra y Alexander Gómez, también surge como una exitosa consecuencia del taller celebrado en el año 2006 durante el X Congreso de la SMBC en Antigua, Guatemala, y reafirma el interés de la SMBC por realizar investigaciones relacionadas con especies bandera en peligro de extinción.

En el año 2008, la Junta Directiva seguirá elaborando los reglamentos internos de la SMBC que tanto nos hacen falta, destacando entre ellos: Reglamento de la Junta Directiva, Reglamento de Capítulos, Reglamento de Grupos de Interés Temático, Reglamento de Ediciones, Protocolo de Congresos, así como los Reglamentos de Tesorería y de Fiscalía.

Me complace en invitarles a que con mucho animo se integren a la vida social y académica de la SMBC, por medio de sus Capítulos y Grupos de Interés Temático, así como en enviarnos sus artículos para publicarlos en nuestra Revista *Mesoamericana*, y espero compartir con cada uno de ustedes en sus actividades nacionales.

Fraternalmente,

Olivier Chassot

Presidente 2006-2008

Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación

Diciembre de 2007

CONTENIDO

Variations in the nutrient, physical, catabolic, and genetic characteristics in soil from five intact forests and three altered habitats in Belize. W. D. Eaton and R. E. Farrell	8
Hummingbird ecology and climate change in Monteverde Cloud Forest, Costa Rica. Elizabeth Deliso	20
Distribución y abundancia de los bandos de psitácidos de Cuba Central. Maikel Cañizares Morera y Vicente Berovides Álvarez	36
Hábitos alimenticios de <i>Ara militaris</i> en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México. Rocío Martínez Domínguez y Carlos Bonilla Ruz	45
Hacia un comportamiento, una cultura y una ética ambiental. Olivier Chassot y Guisselle Monge Arias	51
Los sitios más críticos para evitar extinciones de especies globalmente amenazadas: la importancia de su identificación y de recabar información en el campo. Jaime García-Moreno, Amy Upgren, Jorge Iván Restrepo, Wilfredo Matamoros, Alfredo D. Cuarón, Topiltzin Contreras-MacBeath, Nora López, John Lamoreux, Meghan McKnight, Antonio Muñoz, Paul Walker, Josiah Townsend, Carlos Vásquez-Almazán, Claudia Macías, Oliver Komar, Jim Barborak, Ruth Jiménez y Jaime R. Bonilla-Barbosa	59
MEMBRESÍA Y AFILIACIÓN	64

VARIATIONS IN THE NUTRIENT, PHYSICAL, CATABOLIC, AND GENETIC CHARACTERISTICS IN SOIL FROM FIVE INTACT FORESTS AND THREE ALTERED HABITATS IN BELIZE

W. D. Eaton¹ and R. E. Farrell²

¹Peninsula College, 1502 East Lauridsen Blvd, Port Angeles, WA 98362, bille@pcadmin.ctc.edu

²Penn State University, 1031 Edgecomb Avenue, York, PA 17403, jrf10@psu.edu

ABSTRACT

In this study we used a combination of nutrient-based and microbial diversity indicators to compare the stress condition status and efficiency of microbial growth in the soil from four different forest habitats, a nearby cleared site and two coffee fields in Northwestern Belize, and to compare the potential impact that different land use management strategies has on the soil health. The observations discussed in this study were the result of measuring nutrient and diversity parameters in the soil to determine nutrient stress levels, the efficiency of microbial utilization of nutrients, and microbial diversity as indicators of soil ecosystem health and the quality of functioning of the soil in managed and disturbed lands as well as in established forests. We suggest that these combined methodologies be used as a set of indicators by which to examine the overall soil ecology of a habitat, and assess the condition within intact and altered sites following land management activities as this can provide managers with information to help in making land management decisions and in monitoring habitats after management strategies are implemented. The data indicate that the soils from the three intact forests, with no human intervention, and the two coffee fields appear to be healthy, exhibiting normal soil successional effect. This is not true of the Bajo forest soils and the cleared site, both of which exhibit clear signs of nutrient stress and poor microbial growth efficiency.

Key words: microbial diversity, RISA analysis, catabolic diversity and evenness.

RESUMEN

En este estudio utilizamos una combinación de indicadores de diversidad nutricional y microbianos para comparar el estado de stress y la eficacia del crecimiento microbiano en el suelo de cuatro diferentes hábitat del bosque, de un sitio cercano deforestado y de dos plantaciones de café en el Noroeste de Belice, así como para comparar el impacto potencial de diversas estrategias de manejo de la tierra sobre la salud del suelo. Las observaciones discutidas en este estudio son el resultado de la medición de los parámetros de nutrientes y diversidad en el suelo para determinar los niveles de stress, la eficacia de la utilización microbiana de nutrientes, y de la diversidad microbiana como indicadores de la salud del ecosistema del suelo y de la calidad del funcionamiento del suelo en tierras manejadas y alteradas así como en bosques. Sugerimos que esta combinación de métodos pueden ser utilizados como una serie de indicadores para examinar la ecología global del suelo de un hábitat y determinar su condición en sitios intactos y alterados posteriormente a actividades de uso de la tierra, debido a que esto puede proveer la información necesaria para apoyar en la toma de decisiones de manejo de la tierra y en monitoreo de hábitat después de que se ejecuten las estrategias de manejo. Los datos indican que los suelos de los tres bosques intactos, sin la intervención humana, y de las dos plantaciones de café aparecen ser sanos, exhibiendo efectos normales de sucesión del suelo. Esto no es el caso de los suelos del bosque de Bajo y del sitio deforestado, los cuales exhiben muestras claras del stress nutricional y de la pobre eficacia del crecimiento microbiano.

Palabras clave: diversidad microbiana, análisis del espacio intergénico ribosomal (RISA), diversidad y similitud catabólica

INTRODUCTION

Soil quality or health has been described as the capacity of a living soil to function, within natural or managed ecosystem boundaries, to sustain plant and animal productivity and health, and to maintain or enhance water and air quality (Doran, 2002). The biogeochemical processes that are critical to maintaining a healthy ecosystem are mediated by the microbial biota, the diversity of which changes with respect to vegetation change and succession (Whipps, 1990; Lemanceau *et al.*, 1995; Latour *et al.*, 1996; Hodge *et al.*, 1998; Marilley and Aragno, 1999; Nusslein and Tiedje, 1999; Wardle, 2006).

The measurement of soil microbial diversity and activity and other biologically-related soil quality characteristics has been shown to be useful as sensitive indicators of the impacts of environmental disturbances and management practices in soil ecosystems (Powlson *et al.*, 1987; Anderson and Domsch, 1990, 1993; Atlas *et al.*, 1991; Piccolo *et al.*, 1994; Reiners *et al.*, 1994; Borneman and Triplett, 1997; Arshad and Martin, 2002; Doran 2002; Filip, 2002; Anderson, 2003). Specific land management practices, other environmental disturbances, and naturally occurring habitat variations associated with decreased levels of available C and N in soil, or with decreased ability of soil microbes to utilize C and N from the soil organic matter (SOM), effectively cause nutrient stress conditions which can impact the overall soil health (Powlson *et al.*, 1987; Anderson and Domsch, 1990; Brookes, 1995; Leita *et al.*, 1999; Eaton, 2001; Anderson, 2003; Calfapietra *et al.*, 2003; Allen and Schlesinger, 2004; Moscatelli *et al.*, 2005).

The impacts of these types of soil stress conditions can be assessed by determining the effects they have on the soil microbial components and related biological characteristics. In particular, indicators such as basal soil respiration, biomass C, biomass C to total organic C ratio, metabolic quotient ($q\text{CO}_2$; basal respiration to biomass C ratio), and levels of mineralized N, have been extensively used as indicators of microbial nutrient utilization efficiency changes related to ecosystem stress or disturbance (Powlson *et al.*, 1987; Anderson and Domsch, 1990, 1993; Anderson, 2003). In addition, soil microbial diversity indices have been used as indicators of naturally occurring or anthropogenic changes in soil quality, as these indices change with

land use alterations or environmental disturbances (Atlas *et al.*, 1991; Reiners *et al.*, 1994; Kennedy and Smith, 1995; Borneman and Triplett, 1997; Giller *et al.*, 1997; Trevors, 1998; Degens *et al.*, 2000; Doran, 2002; Filip, 2002), and with respect to vegetation change and succession (Fogel and Hunt, 1979; Whipps, 1990; Lemanceau *et al.*, 1995; Latour *et al.*, 1996; Hodge *et al.*, 1998; Marilley and Aragno, 1999; Nusslein and Tiedje, 1999; Wardle, 2006). Moreover, such changes in the composition of soil microbial populations have been shown to affect overall soil health and quality (Reiners *et al.*, 1994; Kennedy and Smith, 1995; Borneman and Triplett, 1997; Arshad and Martin, 2002; Doran, 2002; Filip, 2002).

In this study, a combination of soil nutrient-based and microbial diversity indicators were used to compare the stress condition status and efficiency of microbial growth in each of four different forest habitats, a nearby cleared site and two coffee fields in Northwestern Belize, and compare these with respect to the impact that different land use management strategies has on the soil health. The nutrient-based indicators used were basal soil respiration (BSR), biomass C (BC), biomass C to total organic C ratio (BC/TOC), metabolic quotient ($q\text{CO}_2$; basal respiration to biomass C ratio), mineralization quotient ($q\text{M}$; BSR/TOC), and mineralized nitrogen (min N). These were chosen because typically in healthy soil not experiencing nutrient stress and exhibiting efficient microbial growth, it is common to observe a greater amount of BC due to more microbial growth; greater amount of TOC and lower $q\text{CO}_2$ levels as efficient microbial growth means less TOC needs to be mineralized for growth; a higher BSR due to greater microbial activity; and higher levels of Min N due to the enhanced role of greater amounts of microbes (Insam and Haselwandter, 1989; Anderson and Domsch, 1990, 1993; Wardle and Ghani, 1995; Leita *et al.*, 1999).

Functional and genetic microbial diversity indices were also used as potential indicators of impacts of land use management practices. Community-level catabolic or functional diversity (H) and evenness (E) profiles (i.e., carbon source utilization profiles) were used as indicators of variations in soil microbial functional activity (Garland and Mills, 1991; Zak *et al.*, 1994; Haldeman *et al.*, 1995; Wunsche *et al.*, 1995; Degens and Harris, 1997; Degens, 1998; Lupwayi *et al.*,

1998; Degens, 1999; Degens and Vojvodic-Vukovic, 1999; Degens *et al.*, 2000). The RISA (ribosomal intergenic space assay) method of amplification of bacterial intergenic regions of the rRNA operon was used to generate DNA fingerprints or profiles of the community-level genetic diversity (H) of major bacterial groups (Borneman and Triplett, 1997; Robledo *et al.*, 1998; Acinas *et al.*, 1999; Fisher and Triplett, 1999; Ranjard *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2003; Nesme and Normand, 2004).

The purpose of this study was to determine if the combined use of indicators of soil stress condition status and efficiency of microbial growth, and indicators of community-level functional and genetic microbial diversity could show variations in soil ecosystems and quality between four different forest habitats, a nearby cleared site and two coffee fields in Northwestern Belize.

METHODS

Sample sites and soil sampling

Soil samples were collected from four types of undisturbed forest habitat sites typical of this region of Belize, Central America: Uplands forest (U), Cohune Palm forest (CP), Bajo forest (B), and Riparian Cohune forest (RC). The sites are located in the Gallon Jug/Chan Chich Lodge Private Reserve region, adjacent to the Rio Bravo Conservation Area of Programme for Belize, approximately 17° N latitude and 89° W longitude. The four habitat types have been previously described by Hartshorn *et al.* (1984), and Brokaw and Mallory (1993). Soil samples were also collected from three nearby disturbed sites: a new coffee field (NC), an old coffee field (OC), and a cleared forest (CF). Both coffee fields were part of a shade-tree coffee project in the Gallon Jug area. The new coffee field had been cleared and planted for 18 months, and the old coffee field had contained coffee plants for 8 years at the time of sampling. The soil in both coffee fields is annually tilled and fertilized with manure from a local cattle ranch. The cleared site had been cleared of the forest vegetation and tilled 5 months prior to sampling, and had scattered patches of young herbaceous plant growth on it. The Uplands, Cohune Palm, Bajo, and Riparian Cohune forests were all within approximately 2 km of one another. The three disturbed sites were all immediately adjacent to one another, and were about

15 km from the other intact forest sites.

At the time of sampling, a round plot of 5.65 m radius was established in each habitat. The upper leaf, debris, and humus layer was removed from four randomly chosen 1 m x 1 m subplots within each round plot. Four 7-10 cm x 2 cm soil cores were randomly collected within each 1 m x 1 m subplot and pooled. This resulted in four distinct pooled subplot samples for each round plot site. The four subplot soil samples from each round plot were analyzed independently, immediately after collection.

Soil sample nutrient analysis

The bulk density and texture were determined for each sample using standard methods. The BC levels in the different habitats were estimated by the Fumigation-Extraction method. Briefly, this is determined by taking the difference in the extractable organic carbon levels (using the modified Walkley-Black method; Alef and Nannapieri, 1995) in soil samples that have been fumigated with ethanol-free chloroform and in unfumigated samples and then applying a Kc factor of 0.411 to convert extractable carbon to BC. The TOC is simply the amount of organic carbon in the unfumigated sample. From these values the BC/TOC ratios were then calculated. The BSR was measured as the change in CO₂ within sealed containers containing soil, per 24 h incubation (Alef and Nannapieri, 1995). From this value and the qCO₂ and qM values were calculated. The levels of nitrate (NO₃), ammonium (NH₄), were determined spectrophotometrically using the HACH DREL 2010 system, and were combined to give the mineral nitrogen levels (Min N).

Soil sample diversity analysis

The soil microbial functional diversity was determined using the BIOLOG microtiter ECOPLATE system. Specifically, the methods of Zak *et al.* (1994) and Degens *et al.* (2000), respectively, were used to determine the catabolic diversity (Shannon diversity index H ; Cat H) of the soil samples, which involve making dilutions of 1.0 g of soil, inoculating 150 μ L of the solution onto the ECOPLATES and reading the optical density at 72 h.

For DNA analysis, the methods of Eaton and Farrell (2004) were used. Briefly, 10.0 g of soil from each of the four subplot samples within an individual

round plot were thoroughly mixed together and DNA isolated using the UltraClean Soil DNA Kit (Mo Bio Laboratories), following the manufacturers directions. The DNA was amplified using a modification of the PCR-based RISA methods. Specifically, each 50 μ l reaction consisted of 1X reaction buffer (10mM Tris, pH 8.3; 50 mM KCl), 2.5 mM MgCl₂, 50 μ g/ml BSA, 200 μ M dNTP, 400 μ M primer 1406f (5' TGY ACA CAC CGC CCG T), 400 μ M primer 23Sr (5' GGG TTB CCC CAT TCR G), 2.5 U *Taq* polymerase and 350 ng template DNA. Cycling was performed in a PE/Applied Biosystems 9700 Thermal Cycler, using an initial melt at 94° for 2 min, followed by 30 cycles of amplification at 94° for 15 sec, 55° for 15 sec, and 72° for 45 sec. Reactions were then maintained at 72° for 5 min before holding at 4°.

At the conclusion of the first run, a 2 μ l aliquot of the reaction product was transferred to a fresh tube containing 48 μ l of fresh PCR mix (excluding additional template), and amplified through an additional 25 cycles. This methodology was needed in order to support amplification of the DNA because of the presence of an unknown component in the soil in Belize that rendered the DNA samples difficult to amplify. A 5 μ l aliquot of the PCR products was electrophoresed on a 1.5 mm 8% non-denaturing polyacrylamide gel in standard 1X TBE buffer (90mM Tris, 89 mM boric acid, 2 mM Na₂-EDTA; pH 8.3), then stained for 1 h in 1X SYBR Green I diluted in 1X TBE buffer and photographed. Gel images were digitized for image analysis using Gel-Pro Analyzer (Media Cybernetics). The PCR products in each lane were analyzed for variations in both mass (estimated by comparison with molecular weight mass standards) and molecular weight of the DNA bands.

The data from the functional and genetic diversity analyses converted into Shannon diversity index *H* and *E* values using the calculations described by Zak *et al.* (1994) and Van Verseveld and Röling (2004).

Statistical analysis

The values for all assays were determined to be non-parametric, and thus were analyzed accordingly using the NCSS Statistical Software (www.ncss.com; NCSS, Kaysville, Utah, USA, 84037). The results were analyzed to determine if significant difference

existed in mean values using the Kruskal-Wallis ANOVA for the significance of the differences in the mean values by analysis of variance. Spearman-rank correlation coefficients were used to establish relationships between the different parameters and between habitats.

RESULTS

Some variations in the measured soil parameters were observed among the samples collected from the U, CP, and RC forests (Table 1). However, the differences were minimal, thus for analytical purposes, these forest were viewed as similar, well-established forests, and the data from these samples were examined in the aggregate. These collective data were compared to that from the B and CF sites, and the coffee fields. The OC and NC sites were also considered similar and were viewed collectively as managed sites.

The key indicators of the levels of habitat nutritional stress and microbial growth and nutrient use efficiency were determined as described. The BC, TOC, BC/TOC and Min N were significantly lower and the qCO₂ and qM significantly higher ($p < 0.001-0.009$) in the B than in either the U/CP/RC and the OC/NC sites (Table 1). The same patterns were also observed comparing the CF site to the U/CP/RC and the OC/NC sites, except that the samples from the CF site exhibited very low qM values (Table 1). The BC, TOC, BC/TOC and Min N were negatively correlated with the qCO₂, qM, percent clay and bulk density ($r^2 = -0.33$ to -0.73 ; mean of -0.60).

The key indicators of microbial diversity were determined as described. The Catabolic *H* was significantly lower ($p < 0.001$) in the B and the CF sites than in the U/CP/RC and OC/NC sites (Table 1). The RISA-generated genetic fingerprints were different for each habitat, with sizes of PCR products between approximately 200-1250 bp in the U, CP, RC, and B sites, and 450-1350 bp in soils from the OC/NC managed sites and CF site (Table 2). The Genetic *H* was significantly higher ($p < 0.001$) in the B site than in the U/CP/RC sites and about the same as the OC/NC sites (Table 1). The Genetic *H* in the CF site was about the same as in the U/CP/RC sites and lower than in the B and OC/NC sites (Table 1). In addition, the Catabolic and Genetic *H* were positively correlated with BC, TOC, BC/TOC and

Min N ($r^2 = -0.50$ to 0.80 ; mean of 0.59).

DISCUSSION

This study showed that the use of traditional soil analysis methods combined with analysis of the community level functional and genetic diversity methods can successfully demonstrate differences in the levels of nutrient stress and microbial growth efficiency between soil communities from different habitat types. Moreover, this combination of methods can also provide a useful data set by which to compare the effects on soil biology and function following the use of different land management strategies.

The soil analysis suggested that the Upland (U), Cohune Palm (CP), and Riparian Cohune (RC) forest soils were well-established, exhibiting no obvious nutrient stress and good microbial growth efficiency, as these soils had high Min N, TOC, BC, BC/TOC, low qCO_2 and qM , high Catabolic H and moderate Genetic H levels. Moreover, these conditions infer a homeostatic environment suggestive of successional effect that can occur with the establishment of a consistent, stable microbial population, exhibiting lower species diversity that might occur as a forest matures, resulting in increased efficiency at nutrient utilization (Insam and Haselwardter, 1989; Anderson and Domasch, 1990; Zelles *et al.*, 1992; Wardle and Ghani, 1995). In general, this study showed that the U, CP, and RC forest habitats, when examined in the aggregate, contained richer soil environments than the Bajo (B) forest. This is consistent with earlier studies of this region of Belize (Eaton, 2001). Interestingly, the positive correlations found between the diversity index H and the nutrient factors in these habitats are similar to correlations made by others in both tropical and temperate environments (Smith and Paul, 1990; Degens *et al.*, 2000; Groffman *et al.*, 2001).

The soil from the managed coffee field sites had properties similar to those from the U, CP, RP forests except that the Genetic H indices were higher and the Catabolic H indices were slightly lower, but still moderately high. Since clearing, these soils have been treated annually with soil tillage and organic fertilizers (manure). The thick coffee bushes and the seasonal soil treatments contribute to a high level of nutrients and increased microbial diversity in the soil.

In addition, the seasonal soil treatments are required to maintain the soil quality, and result in changing soil habitat conditions that does not occur in the U, CP, and RP soils. Thus, as the nutrient levels change, the microbial populations probably fluctuate, thus preventing establishment of a more homeostatic soil community as occurs in the other forests, and results in the higher microbial diversity indicators. However, the microbial populations in these sites making efficient use of the nutrients and indicated no nutrient stress.

The Bajo (B) soils clearly exhibit evidence of nutrient stress and less efficient microbial growth and utilization of nutrients than the soils from the other forests and the coffee field sites. The Bajo is a normal forest habitat, common in the region, which has a shallow topsoil layer, high % BD, poor drainage and experiences transient environmental conditions, going from dry cracked soil to flooded within a manner of days at the outset of the rainy season (Eaton, 2001). Still, these habitats remain well-established even though they exhibit nutrient stress and inefficient microbial use of nutrients. This is because there is a ready source of leaf litter and a thick mat of grass and herbaceous plant growth on the forest floor, which supplies the nutrient input and SOM layer needed to maintain a microbial population that is inefficiently using the nutrients.

The Bajo soils appear to be exhibiting the opposite of the successional effect found in the U, CP, and RP soils (i.e., high diversity, low biomass, low TOC). There is a high Genetic H and low Catabolic H level found in these soils, along with low BC, TOC, and Min N levels, and a known seasonal fluctuation in the amount of water in the soil. Thus, it appears that due to these environmental conditions, there is a no opportunity for establishment of homeostatic microbial population.

The successional effect and the effect that forest management activities have on nutrients and microbial diversity in both temperate and tropical habitats have been well documented (Robertson and Tiedje, 1988; Insam and Haselwardter, 1989; Anderson and Domasch, 1990; Zelles *et al.*, 1992; Parsons *et al.*, 1993; Piccolo *et al.*, 1994; Reiners *et al.*, 1994; Fernandes and Sandford, 1995; Neill *et al.*, 1996; Wander *et al.*, 1995; Wardle and Ghani, 1995; Giller, 1996; Borneman and Triplett, 1997; Lupwayi

et al., 1998; Guggenberger and Zech, 1999; Degens *et al.*, 2000). However, the type of management activity and land use after clearing will determine the degree of effect on the soil and, thus, be significant in determining the soil health of the habitat (Caldwell, 1999; Groffman *et al.*, 2001).

It is interesting to compare the Bajo soils with those of the Cleared Forest (CF). The CF soils had similar levels of indicators of nutritional stress and inefficient microbial use of nutrients, except that the qM (BSR/TOC) values were lower than in the Bajo and most other habitats. This, along with the low TOC and Min N, suggests that the amount of nutrients may be decreasing in the CF soil. This could be due to loss of ground cover and vegetation biomass as the trees and most plants were removed, with only scattered vegetation patches remaining. Thus, there is little leaf litter and SOM to provide a consistent source of nutrients. In addition to these effects, the CF soil also exhibits evidence opposite of the successional effect, with high Genetic *H*, low Catabolic *H* and low BC.

Thus, the well-established U, CP, and RC forest soils exhibit high levels of nutrients, efficient use of nutrients by microbes, and exhibit evidence of healthy, well-functioning soils. In addition, these soils exhibit evidence of soil successional effect with high Catabolic *H*, lower Genetic *H*, and higher BC levels than the other soils. The Bajo is also a well-established habitat, but its soils exhibit a high level of nutrient stress and inefficient microbial use of nutrients. However, these conditions are maintained by a significant mat of litter and debris from the thick herbaceous layer and small shrubs, which provide enough SOM to allow for the inefficient use of nutrients by the microbes. The Bajo soils also exhibit suppression of the soil successional effect observed in the U, CP, and RC forest soils, with lower Catabolic *H*, higher Genetic *H*, and lower BC levels.

The lack of soil succession effect in the Bajo is the result of both the nutrient stress and the seasonally changing conditions that occur there, in which significant changes occur as the soils move very quickly from dry, cracked, hot aerobic soils in the dry season to flooded, more anaerobic, cooler soils during the rainy season. These seasonal changes are much more dramatic and are associated with more significant percent increases in microbial biomass,

nutrient levels, and nitrification rates in the Bajo than other forested sites in the area (Eaton, 2001). This significant seasonal alteration could result in a seasonal change in the composition of the microbial population in the Bajo soils, rather than allowing for the establishment of a consistent, stable microbial population that might occur otherwise as a forest matures, resulting in increased efficiency at nutrient utilization (Insam and Haselwardter, 1989; Anderson and Domasch, 1990; Zelles *et al.*, 1992; Wardle and Ghani, 1995).

The CF site represents a classic example of nutrient stress with inefficient microbial use of nutrients and diminishing levels of nutrients that can occur in a cleared forest as a result of little vegetation biomass remaining, little soil protection, and little SOM input. In addition, the soil from this site also exhibits the effects on microbial diversity that can be a result of a changing environment. In this case, the diminishing nutrient levels and the impact of the rainfall with no soil protection can result in no established microbial populations and a decreasing BC in the soil.

The human-based input of nutrients and soil manipulation in the managed coffee fields allows for the high levels of nutrients measured and the efficient microbial use of nutrients. However, the higher Genetic *H* and moderate Catabolic *H* serve as warnings that this managed habitat is dependent on human intervention, without which nutrient stress would occur and the quality of the system would decrease. Rapport *et al.* (1997) defines a healthy managed ecosystem, in part, to include the need for minimal human intervention and with no need for increasing human-based input of nutrients and other manipulations. For the soil ecosystem in the managed coffee fields to remain healthy, human intervention is required. If this intervention does not need to increase and the soil remains healthy, then the management is successful and the system exhibits a high level of ecosystem health. If the level of human intervention needs to increase to avoid nutrient stress and inefficient microbial use of nutrients, then the system has been set up such that it exhibits a lowered level of ecosystem health.

The goal of land use managers when determining land use strategies pertaining to soil health should be to establish a managed ecosystem that exhibits a high

level of ecosystem health. This will mean that it requires minimal human interventions, the level of which should not be increasing, resulting in a soil ecosystem that does not exhibit nutrient stress, has efficient microbial use of nutrients, and a stable, well-functioning, and diverse microbial population.

The observations discussed in this study were the result of measuring nutrient and diversity parameters in the soil to determine nutrient stress levels, the efficiency of microbial utilization of nutrients, and microbial diversity as indicators of soil ecosystem health and the quality of functioning of the soil in managed and disturbed lands as well as in established forests. These methods can provide managers with information to help in making land management decisions and in monitoring habitats after management strategies are implemented. The synergistic benefits of using these methods combined can provide a detailed understanding of the relationships between soil microbial diversity, land management practices, and the effects that

altered soil microbial diversity may have on soil quality, which can be of significant value in deciding strategies for forest and land management practices and developing baseline data on habitat characteristics. We suggest that the use of the combined methodologies employed in this study can result in a set of indicators by which to examine soil microbial diversities, provide detailed information on the overall soil ecology of a habitat, and assess the condition within intact and altered sites following land management activities.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Tom and Josie Harding, Norman Evanko, Barry Bowen, and all the staff at Chan Chich Lodge and Gallon Jug Ranch for their help and patience; Penn State University, York Campus for their assistance and support; and the Government of Belize, Forest Department, Conservation Division for the Permit #CD 60-3-01-32.

LITERATURE CITED

- Acinas, S. G., J. Anton and F. Rodríguez-Valera. 1999. Diversity of free-living and attached bacteria in offshore western Mediterranean waters as depicted by analysis of genes encoding rRNA. *Appl. Environmental Microbiology* 65: 514-522.
- Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, UK. Academic Press, Harcourt Brace & Company.
- Allen, A. S. and W. H. Schlesinger. 2004. Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. *Soil Biology and Biochemistry* 36(4): 581-589.
- Anderson, I. C., C. D. Campbell and J. I. Prosser. 2003. Potential bias of fungal 18s rDNA and internal transcribed spacer polymerase chain reaction primers for estimating fungal biodiversity in soil. *Environmental Microbiology* 5: 36-47.
- Anderson, T. H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98: 285-293.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 251-255.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 393-395.
- Arshad, M. A. and S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 88: 153-160.
- Atlas, R. M., A. Horowitz, M. Krichevsky and A. K. Bej. 1991. Response of microbial populations to environmental disturbances. *Microbial Ecology* 22: 249-256.
- Borneman, J. and E. W. Triplett. 1997. Molecular microbial diversity in soils of Eastern Amazonia: evidence for unusual microorganisms and population shifts associated with deforestation.

- Applied and Environmental Microbiology 63: 2647-2653.
- Brokaw, N. V. L. and E. P. Mallory. 1993. Vegetation of the Rio Bravo conservation and management area, Belize. Manomet, MA: Manomet Bird Observatory.
- Brookes, P. C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fertil. Soils* 19: 269-279.
- Caldwell, B. A., R. P. Griffiths and P. Sollins. 1999. Soil enzyme response to vegetation disturbance in two lowland Costa Rican soils. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1603-1608.
- Calfapietra, C., B. Gielen, A. N. J. Galema, M. Lukac, P. De Angelis, M. C. Moscatelli, R. Ceulemans and G. Scarascia-Mugnozza. 2003. Free-air CO₂ enrichment (FACE) enhances biomass production in a short-rotation poplar plantation (POPFACE). *Tree Physiology* 23: 805-814.
- Degens, B. P. 1998. Microbial functional diversity can be influenced by the addition of simple organic substrates to soil. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1981-1988.
- Degens, B. P. and J. A. Harris. 1997. Development of a physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 1309-1320.
- Degens, B. P., L. A. Schipper, G. P. Sparling and M. Vojvodic-Vukovic. 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 189-196.
- Degens, B. P. and M. Vojvodic-Vukovic. 1999. A sampling strategy to assess the effects of land use on microbial functional diversity of soil microbial communities. *Australian Journal of Soil Research* 37: 593-601.
- Doran, J. W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice, *Agriculture Ecosystems and Environment* 88: 119-127.
- Eaton, W. D. 2001. Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America before and during the transition from dry to wet season. *Applied Soil Ecology* 16: 219-227.
- Eaton, W. D. and R. E. Farrell. 2004. Catabolic and genetic microbial indices, and levels of nitrate, ammonium and organic carbon in soil from the Black Locust (*Robinia pseudo-acacia*) and Tulip Poplar (*Liriodendron tulipifera*) trees in a Pennsylvania forest. *Biology and Fertility of Soils* 39: 209-214.
- Fernandes, D. N. and R. L. Sanford Jr. 1995. Effects of recent land-use practices on soil nutrients and succession under tropical wet forest in Costa Rica. *Conservation Biology* 9: 915-922.
- Filip, Z. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture Ecosystems and Environment* 88: 169-174.
- Fisher, M. M. and E. W. Triplett. 1999. Automated approach for ribosomal intergenic spacer analysis of microbial diversity and its application to freshwater bacterial communities. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4630-4636.
- Fogel, R. and G. Hunt. 1979. Fungal and arboreal biomass in a western Douglas-fir ecosystem: distribution patterns and turnover. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 245-256.
- Garland, J. L. and A. L. Mills. 1991. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Applied and Environmental Microbiology* 57: 2351-2359.
- Giller, K. E., M. H. Beare, P. Lavelle, A. M. N. Izac and M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6: 3-16.
- Giller, P. S. 1996. The diversity of soil communities, the "poor man's tropical forest", *Biodiversity and Conservation* 5: 135-168.
- Groffman, P. M., W. H. McDowell, J. C. Myers and J. L. Merriam. 2001. Soil microbial biomass and activity in tropical riparian forests. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1339-1348.

- Guggenberger, G. and W. Zech. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Region Huetar Norte, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 124: 93-104.
- Haldeman, D. L., P. S. Amy, D. Ringelberg, D. C. White, R. E. Garen and W. C. Ghiorse. 1995. Microbial growth and resuscitation alter community structure after perturbation. *FEMS Microbiology Ecology* 17: 27-38.
- Hartshorn, G. S., L. Nicolait, L. Hartshorn, G. Bevier, R. Brightman, J. Cal, A. Cawich, W. Davidson, R. Dubois, C. Dyer, J. Gibson, W. Hawley, J. Leonard, R. Nicolait, D. Weyer, H. White and C. Wright. 1984. Belize: Country Environmental Profile: A Field Study. Belize City, Belize: Robert Nicolait & Associates, Ltd.
- Hodge, A., E. Paterson, S. J. Grayston, C. D. Campbell, B. G. Ord and K. Killham. 1998. Characterization and microbial utilization of exudates material from the rhizosphere of *Lolium perenne* under CO₂ enrichment. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1033-1043.
- Insam, H. and K. Haselwandter. 1989. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia* 79: 174-178.
- Kennedy, A. C. and K. L. Smith. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant Soil* 170: 75-86.
- Latour, X., T. Corberand, G. Laguerre, F. Allard and P. Lemanceau. 1996. The composition of fluorescent pseudomonad populations associated with roots is influenced by plant and soil type. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 2449-2456.
- Leita, L., M. Denobili, G. Muhlbachova, C. Mondini, L. Marchiol and G. Zerbi. 1995. Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. *Soil, Biology and Fertility of Soils* 19: 103-108.
- Lemanceau, P., T. Corberand, L. Gardan, X. Latour, G. Laguerre, J. M. Boeufgras and C. Alabouvette. 1995. Effect of two plant species, flax (*Linum usitatissimum*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) on the diversity of soilborne populations of fluorescent *Pseudomonas*. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 1004-1012.
- Lupawayi, N. Z., W. A. Rice and G. W. Clayton. 1998. Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1733-1741.
- Neill, C., M. C. Piccolo, P. A. Steudler, J. M. Melillo, G. J. Feigl and C. C. Cerri. 1995. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon Basin. *Soil Biology and Biochemistry* 27: 1167-1175.
- Marilley, L. and M. Aragno. 1999. Phylogenetic diversity of bacterial communities differing in degree of proximity to *Lolium perenne* and *Trifolium repens* roots. *Applied Soil Ecology* 13: 127-136.
- Moscattelli, M., A. Lagomarsino, S. Marinari, P. De Angelis and S. Grego. 2005. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecological Indicators* 5: 171-179.
- Neill, C., B. Fry, J. M. Melillo, P. A. Steudler, J. F. L. Moraces and C. C. Cerri. 1996. Forest-and pasture-derived carbon contributions to carbon stocks and microbial respiration of tropical pasture soils. *Oecologia*. 107: 113-119.
- Nesme, X. and P. Normand. 2004. Easy individual strain and community typing by rDNA ITS1 analysis. In Kowalchuk, G. A., F. J. de Bruijn, L. M. Head, A. D. L. Akkermans and J. D. van Elsas (eds.). *Molecular microbial ecology manual*. Second Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. p. 671-688.
- Nusslein, K. and J. M. Tiedje. 1999. Soil bacterial community shift correlated with change from forest to pasture vegetation in a tropical soil. *Applied and Environmental Microbiology* 65(8): 3622-3626.
- Parsons, W. F. J., M. E. Mitre, M. Keller and W. A. Reiners. 1993. Nitrate limitation of N₂O production and denitrification from tropical pasture and rain forest soils. *Biogeochemistry* 2: 179-193.
- Piccolo, M. C., C. Neill and C. C. Cerri. 1994. Natural abundance of ¹⁵N in soils along forest-to-pasture

- chronosequences in the western Brazilian Amazon Basin. *Oecologia* 99: 112-117.
- Powelson, D. S., R. C. Brookes and B. T. Chnstensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 159-164.
- Ranjard, L., F. Poly, J. Combrisson, A. Richaume, F. Gourbiere, J. Thioulouse and S. Nazaret. 2000. Heterogeneous cell density and genetic structure of bacterial pools associated with various soil microenvironments as determined by enumeration and DNA fingerprinting approach (RISA). *Microbial Ecology* 39: 263-272.
- Rapport, D. J., R. Costanza and A. J. McMichael. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution* 13: 397-402.
- Reiners, W. A., A. F. Bowman, W. E. J. Parsons and M. Keller. 1994. Tropical rain forest conversion to pasture: changes in vegetation and soil properties. *Ecological Applications* 4: 363-377.
- Robertson, G. P. 1984. Nitrification and nitrogen mineralization in a lowland tropical rainforest succession in Costa Rica, Central America. *Oecologia* 61: 99-104.
- Robertson, G. P. and J. M. Tiedje. 1988. Deforestation alters denitrification in a lowland tropical rain forest. *Nature* 336: 756-759.
- Robleto, E. A., J. Borneman and E. W. Triplett. 1998. Effects of bacterial antibiotic production on rhizosphere microbial communities from a culture-independent perspective. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 5020-5022.
- Smith, J. L. and E. A. Paul. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. In Bollag, J. M. and G. Stotzky (eds.). *Soil Biochemistry*. Vol. 6. Marcel Dekker, Inc. New York. p. 357-396.
- Trevors, J. T. 1998. Bacterial biodiversity in soil with an emphasis on chemically contaminated soils. *Water Air Soil Pollution* 101: 45-67.
- Van Verseveld, H. W. and W. F. M. Röling. 2004. Cluster analysis and statistical comparison of molecular community profile data. In Kowalchuk, G. A., F. J. de Bruijn, L. M. Head, A. D. L. Akkermans and J. D. van Elsas (eds.). *Molecular microbial ecology manual*. Second Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. p. 1373-1396.
- Wander, M. M., D. S. Hedrick, D. Kaufman, S. J. Traina, B. R. Stinner, S. R. Kehmeyer and D. C. White. 1995. The functional significance of microbial biomass, in organic and conventionally managed soils. *Plant Soil* 170: 87-97.
- Wardle, D. A. 2006. The influence of biotic interactions on soil biodiversity. *Ecology Letters* 9: 870-886.
- Wardle, D. A. and A. Ghani. 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology and Biochemistry* 27: 1601-1610.
- Whipps, J. M. 1990. Carbon economy. In Lynch, J. M (ed.). *The Rhizosphere*. Wiley & Sons Ltd. John Essex, UK. p. 59-97.
- Wunsche, L., L. Bruggemann and W. Babel. 1995. Determination of substrate utilization patterns of soil microbial communities: an approach to assess population changes after hydrocarbon pollution. *FEMS Microbiology Ecology* 17: 295-306.
- Zak, J. C., M. R. Willig, D. L. Moorhead and H. G. Wildman. 1994. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1101-1108.
- Zelles, L., Q. Y. Bai, T. Beck and F. Besse. 1992. Signature fatty acids in phospholipids and lipopolysaccharides as indicators of microbial biomass and community structure in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 317-323.

Table 1. Results of the analysis of soil samples from the Cohune Palm (C), Riparian (R), Uplands (U), and Bajo (B) forests, and the Old Coffee field (OC), New Coffee field (NC), Mesic Transition forest (F), and Cleared Site (CS) in the study area within Belize. Samples were analyzed for the various parameters as described in the text.

Sample	BSR (mg/g/d)	Min N ($\mu\text{g/g}$)	TOC (mg/g)	BC (mg/g)	qCO_2	BC/TOC	qM	Catabolic H	Catabolic E	BD (g/cc)	% Clay	Genetic H
C1	0.09219	17.4	99.01	0.396	0.233	4	0.931	2.974	17.46	0.81	57.1	
C2	0.12533	37.02	100.5	0.402	0.312	4	1.247	3.082	20.84	0.894	68.4	
C3	0.09143	30.75	94.55	0.336	0.272	3.556	0.967	3.177	20.75	0.829	65.7	
C4	0.1221	29.84	94.23	0.339	0.36	3.6	1.296	2.863	15.72	0.728	65.8	
												1.879
R1	0.09637	22.78	118.42	0.461	0.209	3.889	0.814	2.806	14.82	0.883	69	
R2	0.12114	19.98	89.66	0.323	0.375	3.6	1.351	2.998	16.94	0.824	63.9	
R3	0.10726	18.94	94.31	0.353	0.304	3.742	1.137	2.956	16.89	0.775	67.8	
R4	0.13944	28.24	123.14	0.506	0.275	4.111	1.132	3.03	18.67	0.787	69.3	
												1.727
U1	0.12895	34.68	142.32	0.506	0.255	3.556	0.906	2.82	14.15	0.704	38.5	
U2	0.13038	40.52	103.16	0.413	0.316	4	1.264	3.085	17.09	0.713	15.8	
U3	0.14293	34.96	124.01	0.427	0.334	3.447	1.153	2.918	16.35	0.662	36.7	
U4	0.14119	38.78	138.76	0.533	0.265	3.844	1.018	3.241	17.23	0.73	31.5	
												1.593
B1	0.11214	16.04	78.44	0.264	0.425	3.366	1.43	2.621	12.12	0.907	88.3	
B2	0.0919	15.16	68.87	0.217	0.423	3.156	1.334	2.563	10.43	0.987	85.2	
B3	0.08726	16.86	80.21	0.238	0.367	2.967	1.088	2.611	10.55	0.942	90.1	
B4	0.09344	12.92	82.92	0.254	0.367	3.067	1.127	2.656	10.29	0.866	86.8	
												1.929
OC1	0.12213	30.15	119.65	0.452	0.27	3.778	1.021	2.883	16.23	0.853	90.5	
OC2	0.10694	27.4	117.83	0.44	0.243	3.733	0.908	2.916	15.31	0.926	91.2	
OC3	0.10114	29.82	120.61	0.472	0.214	3.911	0.839	2.876	16.19	0.877	91	
OC4	0.10822	27.96	118.38	0.434	0.249	3.667	0.914	2.901	16.01	0.889	90.7	
												1.856
NC1	0.12262	19.82	109.41	0.41	0.299	3.744	1.121	2.626	12.42	0.946	91.3	
NC2	0.10838	21.3	108.02	0.42	0.258	3.889	1.003	2.671	11.57	0.876	94.6	
NC3	0.11522	20.45	113.96	0.453	0.254	3.978	1.011	2.635	12.09	0.885	94.1	
NC4	0.11613	20.65	112.55	0.453	0.257	4.022	1.032	2.723	13.62	0.931	93	
												2.244
CS1	0.07376	12.5	87.24	0.194	0.38	2.222	0.845	2.438	8.35	0.796	90.3	
CS2	0.09743	11.07	85.76	0.206	0.473	2.4	1.136	2.337	8.96	0.815	90.1	
CS3	0.09185	11.75	92.13	0.225	0.408	2.444	0.997	2.468	8.14	0.804	89.2	
CS3	0.08869	11.77	90.48	0.201	0.441	2.222	0.98	2.317	8.72	0.836	90	
												1.763

Table 2. The size distribution and relative mass (as an estimate the molecular mass in comparison to the mass of the molecular weight standards) of DNA bands, within the 8% polyacrylamide gel, from a RISA assay conducted on DNA extracted from various soils within the area studied in Belize, following densitometer analysis using Gel Pro Analyzer software (Media Cybernetics, Silver Springs, MD). Lanes 1 and 10, molecular weight/mass standard; lane 2, Mesic Transition forest; lane 3, Uplands forest; lane 4, Cohune Palm forest; lane 5, Riparian Cohune forest; lane 6, Old Coffee field; lane 7, New Coffee field; lane 8, Bajo forest; lane 9, Clear Site.

1	2		3		4		5		6		7		8		9		10
MW bp	MW	mass	MW	mass	MW	mass	MW	mass	MW	mass	MW	mass	MW	mass	MW	mass	MW bp
											1351	6.36					
					1175	5.07	1254	7.84	1206	3.2	1190	3.22					
					1022	3.82	1086	3.03			1072	7.51					
1000									941	5.43			970	4.23			1000
	925	5.6									901	4.65	921	5.78			
			836	9.32	847	6.75	855	11.1	851	7.83	851	5.64	859	4.43	859	11	
	801	27	787	10.7	790	8.54	797	10.6	794	9.15	794	10.5	801	5.7	797	9.22	
750	739	3.96					739	9.03							739	7.77	750
	732	4.26	721	5.12	719	5.75			734	7.77	732	7.65					
	665	5.88							635	12.8	651	4.47			653	5.97	
									572	4.23	574	4.51	587	7.66	589	5.32	
500			513	8.27													500
					481	10.6	474	6.27			479	7.26					
													452	10.5	450	7.29	
													363	9.63			
300																	300
			211	1.98	200	3.58											

HUMMINGBIRD ECOLOGY AND CLIMATE CHANGE IN MONTEVERDE CLOUD FOREST, COSTA RICA

Elizabeth Deliso

Centro Científico Tropical, Apartado 8-4870-1000 San José, Costa Rica, phalarope@gmail.com

ABSTRACT

It has been recently reported that the climate in Monteverde, Tilarán Mountain Range, Costa Rica, is changing rapidly, and that these changes have begun to affect wildlife populations in the region. Anecdotal evidence suggests that the distributions and abundances of hummingbird species are shifting. It is possible that these changes are related to climate. This paper investigates this potential link, examining how climate affects hummingbirds directly and how it affects their resources, namely nectar producing plants. Hummingbirds have complex effects on the plant community through pollination. In turn, nectar and flower production affects hummingbird behavior, population size, and life cycle. Climatic variables including precipitation, temperature, and cloud cover all affect nectar production. Research shows that precipitation also impacts hummingbirds directly. In Monteverde where the climatic trend is one of decreased precipitation, increased temperature, and increased cloud cover, the potential effects on hummingbird populations and the plants that support them are complex. It is possible that there will be a shift in the spatial and temporal distributions of both hummingbirds and plants and a change in the relative abundances of species. A decline in nectar resources resulting in a reduction of hummingbird diversity is possible. Because of the complexity of the potential effects, it is crucial to implement a monitoring program and conduct experiments to deepen our understanding of the relationship between climate change and wildlife biology.

Key words: hummingbirds, ecology, climate change, cloud forest, Monteverde, Costa Rica

RESUMEN

Se ha reportado recientemente que el clima en Monteverde, Cordillera de Tilarán, Costa Rica, está cambiando rápidamente, y que estos cambios han comenzado a afectar a las poblaciones de fauna en la región. Evidencias anecdóticas indican que las distribuciones y la abundancia de especies de colibrí están cambiando. Es posible que estos cambios estén relacionados con el clima. Este estudio investiga un posible vínculo, examinando cómo el clima afecta directamente a las especies de colibrí, y cómo afecta a sus recursos, específicamente el néctar producido por las plantas. Los colibríes producen efectos complejos sobre las comunidades de plantas por medio del mecanismo de polinización. Por otro lado, la producción de néctar y de flores afecta el comportamiento, el tamaño poblacional y el ciclo de vida de los colibríes. Las variables climáticas, incluyendo la precipitación, la temperatura y la cobertura nubosa afectan a la producción del néctar. Las investigaciones demuestran que la precipitación también afecta directamente a los colibríes. En Monteverde, donde la tendencia climática es hacia la disminución de la precipitación, el aumento de la temperatura, y el incremento en la cobertura nubosa, los efectos potenciales sobre poblaciones de colibríes y poblaciones de plantas que los sostienen son complejos. Es posible que se dé un cambio en las distribuciones espaciales y temporales de las especies de colibríes y plantas, así como un cambio en la abundancia relativa de especies. Un declive de los recursos del néctar con la consecuencia de una reducción de la diversidad de colibríes es posible. Debido a la complejidad de los posibles efectos, es crucial ejecutar un programa de monitoreo y realizar experimentos para profundizar nuestra comprensión de la relación entre el cambio de clima y la biología de la fauna silvestre.

Palabras clave: colibríes, ecología, cambio climático, bosque nuboso, Monteverde, Costa Rica

BACKGROUND

It is well known that the global climate is changing rapidly, and that these changes influence the ecology of many wildlife species. However, the specific nature of these biological changes is often unknown. Many wildlife populations and species throughout the world are threatened by climate change, and some have undergone dramatic declines. In Monteverde several species of amphibians have already declined, and a few have gone extinct. The data show that in the last three decades the regional climatic patterns have tended towards warmer temperatures, and have been characterized by a marked reduction in the rains and mist produced by the trade winds during the dry season (Pounds *et al.*, 1999). This cloud forest system, dependent on low lying clouds carrying moisture into the forest, is likely to suffer changes that will adversely affect plants and the species that depend on them in many ways.

Several recent biological changes have been statistically correlated with climate change at both local and large scales (Pounds *et al.* 1999; Pounds *et al.*, 2006). A recent study demonstrates that the growth rates of trees in the forests of Central America and Asia have declined over the last twenty years, most likely as a result of increased temperatures and increased cloud cover (Feely *et al.*, 2007). This trend is likely to have negative impacts for Monteverde's cloud forest and the species it supports both in the short and long term. Not only might this decreased growth rate reduce the available forest habitat for species, but it also reduces the ability of the forest to take up carbon, thereby leaving more carbon in the atmosphere and exacerbating the effects of climate change (Feely *et al.*, 2007).

Climate and ecology are inextricably linked in Monteverde, and global warming combined with other forms of environmental degradation presents a considerable threat to the biodiversity of the area. Although previous studies have focused on the impacts on amphibians, reptiles, and orchids, many groups of organisms could be in danger. The published data show that the distributions of many species of birds that reproduce in the area are changing (Pounds *et al.*, 1999). However, little knowledge of the mechanisms of these changes or their consequences exists. No detailed study of any group of birds has been conducted that would allow

us to evaluate their survival prospects as the climate continues to change. The purpose of this study is to determine possible pathways through which the changing climate could impact one important avian family, hummingbirds, and then design a program to evaluate their future conservation status in Monteverde.

RECENT CHANGES IN AVIAN POPULATIONS

It has been reported that bird species in Costa Rica have already begun to respond to a changing climate. Avian studies conducted in Monteverde comparing data from the 1970s with that collected in the late 1990s report that several species have moved upwards in elevation, and that others, which previously occurred at higher elevations, have declined in abundance (Powell and DeRosier, 1999). These high elevation species are possibly at the greatest risk of population collapse since they cannot move any higher and may be displaced by lower elevation species. Ecologists link these trends to changes in climate (Pounds *et al.*, 1999; Powell and DeRosier, 1999). While these studies lack baseline data for hummingbirds, the observed trend mirrors that of other avian species. Biologists have recently noted that in Monteverde, as in other parts of Costa Rica, hummingbirds are moving to higher ground. Steely-vented Hummingbirds, Fiery-throated Hummingbirds, Purple-throated Mountain-gems, and Magenta-throated Woodstars have all shifted their distributions upwards (Fogden and Fogden, 2005). Additionally the relative abundances of Purple-throated Mountain-gems and Green-crowned Brilliants appear to be changing (Fogden and Fogden, 2005). If these changes are indeed related to climate, they are likely to continue and intensify.

Biologically, Monteverde has cause for celebration and cause for alarm. In general, middle elevations (between 1800 and 2500 m in the tropics) support the greatest diversity of hummingbird species (Wethington *et al.*, 2005). Likewise, neotropical mid elevation forests, ranging from 1800-2100 m, host the greatest diversity of epiphytes of any habitat in the world (Nadkarni and Matelson, 1989). Monteverde ranges in elevation from 700 to 1850 m, thus occurring geographically at the lower edge of this center of biodiversity (Haber, 2000). It is well

known that the effects of climate change are amplified in highland areas (Nadkarni and Solano, 2002). Thus, Monteverde lies in an area of significant threat. As climatic conditions change and its impacts become more severe, it is likely that this biological center will shift upward in elevation. This means that Monteverde could easily lose some of the diversity it currently boasts, even as species from lower areas move into the zone.

PLANTS AND HUMMINGBIRDS

Co-evolution

In most cases, hummingbirds and the plants they pollinate have a mutually beneficial relationship. Hummingbirds obtain nectar, their main source of energy, from plants, and in turn pollinate them, thereby facilitating plant reproduction. It is believed that certain groups of plants and hummingbirds present an example of a co-evolved mutualism (Stiles, 1985). Stiles (1985) use the following criteria to define co-evolution: the occurrence of “repeated, reciprocal evolutionary responses of each partner to selective pressures generated by the other”. Therefore, hummingbird characteristics affect the process of evolution by natural selection in plants and *vice versa*. As such, both groups have developed traits that suit the needs of the other.

Hummingbird effects on plants

The behavior, preferences, and needs of nectarivorous species affect the flowering biology of the plants they pollinate (Young and McDonald, 2000). Consequently, hummingbird plants differ from those pollinated by insects and bats in the characteristics of their floral displays. Often their flowers are brightly colored and tubular, and produce high volumes of relatively dilute nectar (Baker, 1975; Bolten and Feinsinger, 1978; Briscoe *et al.*, 1983; Wyatt *et al.*, 1992; Stiles and Freeman, 1993; Nicolson, 1995; Nicolson and Fleming, 2003; Fenster *et al.*, 2006). Hummingbirds prefer sucrose based (rather than fructose or glucose based) nectar, and not surprisingly, hummingbird pollinated flowers are indeed sucrose rich (Boose, 1997, Murray *et al.*, 2000; Nicolson and Fleming, 2003).

It remains unclear what exactly drives selection for the dilute nectar characteristic of hummingbird-

pollinated plants. While it has been shown that hummingbirds cannot consume nectar that is too concentrated they may prefer nectar that is actually more concentrated than those they visit. Hummingbird flowers produce nectar that ranges from 20-25% in its sugar concentration (Baker, 1975; Roberts, 1996), but experimental studies show that hummingbirds actually prefer concentrations greater than 45% (Roberts, 1996). This suggests that it is not the preference of hummingbirds that encourages the production of dilute nectar (Roberts, 1996). However, this concentration is clearly not accidental. Flowers actively employ different mechanisms, including the secretion and reabsorption of sugars, to maintain this dilute concentration of their nectars (Corbet and Wilmer, 1981; Nicolson, 1995). A species of *Columnnea* in Monteverde has been shown to use compass orientation to prevent excessive exposure to sunlight and therefore evaporation of water, which would lead to more concentrated nectar (Corbet and Wilmer, 1981). This regulation of nectar concentration suggests that the specific concentration could be an adaptation to the needs of their pollinators by maintaining low enough nectar concentrations for birds to consume in the face of constant evaporation (Corbet and Wilmer 1981; Nicolson, 1995). Other theories explaining why hummingbird flowers produce secrete such dilute nectars include maintaining low viscosity for better assimilation by hummingbirds, deterring nectar robbing bees, meeting the hydration requirements of birds, preventing hummingbird satiation (thereby increasing visitation rates), and encouraging genetic outcrossing through pollination (Baker, 1975; Nicolson and Fleming, 2003).

Some argue that hummingbirds and other pollinators fail to have a significant influence on the quantity of nectar yield and the rate at which it is produced because they respond to overall nectar availability in the field, or standing crop, rather than the nectar production rate of individual flowers (Zimmerman, 1988; McDade and Weeks, 2004b). While it may seem counterintuitive, studies reveal that the relationship between nectar production rate and standing crop is weak (Zimmerman, 1988) or nonexistent (McDade and Weeks, 2004b). This is because not only is standing crop a factor of nectar production rate but also of all causes of nectar removal including legitimate visitation, nectar

robbing, and evaporation. Because the standing crop of all species at a given time is so variable, pollinators find a wide range of nectar volumes regardless of which species they visit (Zimmerman, 1988). This suggests that the difference in nectar availability among species is negligible and does not allow hummingbirds to discern among species on the basis of nectar production rate, thereby limiting their ability to exert selection pressure on this characteristic.

While animal visitation of nectar producing plants obviously reduces the standing crop, its influence on the rate of nectar production is highly variable. Investigators have found that for certain species, nectar removal suppresses nectar production (Corbet and Wilmer, 1997; McDade and Weeks, 2004b), while for other species visitation actually stimulates nectar and sugar production (Gill, 1988; Torres and Galetto, 1998), and in yet others it has no apparent effect (McDade and Weeks, 2004b).

Certain groups of plants are adapted to serve the needs of particular hummingbird species. Morphologically, there are roughly two main groups of hummingbirds and two corresponding groups of plants. The length of the flower corolla corresponds to the length of the principal pollinator's bill. Hermit hummingbirds with long, curved bills visit flowers with long corollas that produce copious volumes of nectar, while shorter billed hummingbirds can only access the less abundant nectar in flowers with short corollas (Feinsinger *et al.*, 1979).

Through their nectar consumption and pollen transport, hummingbirds influence individual plant success (Hodges, 1993). However, the effects are varied and confounding. Nectar encourages pollination by hummingbirds, but if the plant is not pollen limited, the energetic cost of producing nectar may lead to decreased energetic resources for producing seeds, and reproductive output can actually decline (Pyke, 1991). Likewise the quantity of nectar that a plant yields leads to complex outcomes in terms of plant fitness. For example, some hummingbirds visit more flowers on plants that provide more nectar, thereby conferring greater pollination success (Mitchell, 1993). However, producing large volumes of nectar or many flowers may also cause hummingbirds to remain at each flower for a longer period of time, reducing pollen

transfer and genetic outcrossing, with the end result being that the plant produces fewer seeds per inflorescence (Schemske, 1980; Mitchell and Waser, 1992). However, these large, high-yield plants may still have the advantage because their overall seed set may be larger due to the presence of more flowers (Schemske, 1980). The effects also depend on which types of hummingbirds use a certain plant. It has been demonstrated that hermits, which are more likely to visit dispersed flowers cause more outcrossing among plants while pollination by species tending to remain close to one clump of flowers results in self pollination (Stiles, 1975).

Hummingbird interactions in response to changing nectar supplies also have implications for plant fitness. When faced with intense competition for nectar, hummingbirds increase their foraging effort and visit more flowers (Garrison and Gass, 1999). Because pollination success increases with frequency of hummingbird visits (Mitchell and Waser, 1992), plants in nectar limited systems may receive more hummingbird visits and experience greater fitness. Taken together this portrays a complex balance between nectar and pollen transfer. Therefore, a plant must carefully balance its energy output according to the reproductive benefit derived from its nectar reward and the associated reproductive costs.

The combined effects of hummingbirds on plant fitness define the plant community composition. Hummingbirds help to structure the plant community by creating competition among plants for pollinators (Feinsinger, 1978). When multiple species of plants flower contemporaneously, hummingbirds can choose to visit only the species that provide the greatest reward. Therefore, plant competition for pollinators may be lower when plants stagger their flowering peaks in time (Feinsinger, 1978). This may also reduce the likelihood of hybridization among closely related species (Stiles 1975). In Monteverde, the competition is not intense enough to select for a divergent flowering phenology (Feinsinger and Tiebout, 1991; Murray *et al.*, 2000; Young and McDonald, 2000). Although the reproduction of many plant species does not depend entirely on pollinators, which plants get pollinated does play a role in influencing the community structure. Only plant species that successfully reproduce will persist in the area.

Therefore the interactions between plants and hummingbirds shape the community in dynamic ways (Feinsinger, 1978).

Foraging behavior

While hummingbirds are all related in one phylogenetic family, they have evolved varied morphologies to maximize their resource use. Ecologists have attempted to categorize hummingbirds in terms of correlations between their morphological characteristics, their foraging behavior, and their preferred plant species. Feinsinger and Colwell (1978) described six different behavioral roles played by different types of hummingbirds: high reward trapliners, low reward trapliners, territorialists, marauders, filchers, and generalists. However, because the groups are not fixed at the species level (behavior varies daily, seasonally, and with sex and individual characteristics) Stiles (1985) finds limited utility in the delimitation of these ecological roles and describes instead subcommunities consisting of several species of hummingbirds with similarly adapted morphologies that depend on similar resources (Stiles, 1985). Regardless of the best way to classify hummingbirds, the six foraging strategies described by Feinsinger and Colwell (1978) shed light on the many ways hummingbirds use the landscape to meet their energetic needs. Their foraging behaviors vary according to levels of competition, resource availability (Feinsinger and Colwell, 1978), and elevation due to the increased energetic costs of living at higher realms (Feinsinger *et al.*, 1979). Different hummingbirds exhibit unique responses to changing ecological conditions. Territorial birds, which defend small but productive clumps of flowers, are more affected by changes in the resource base than trapliners, which visit dispersed flowers on a fixed route in the forest (Feinsinger, 1976). The territorial behavior of hummingbird species is not necessarily fixed, but rather shifts as different species of plants come into flower (Wolf, 1970). Certain hummingbirds may only exhibit territorial behavior in periods of plant abundance, when the resource is rich enough to be worth the cost of defense (Wolf *et al.*, 1976).

Hummingbirds rely on a diversity of plant species and forms. They are not restricted to terrestrial flowering species, but also forage high in the canopy

on several species of epiphytic plants. The Bromeliaceae, Ericaceae, and Marcgraviaceae families are three of the most important groups of epiphytes to hummingbirds, which take advantage of their nectar resources (Nadkarni and Matelson, 1989). A study in Monteverde revealed that Mountain Gems, *Lampornis castaneiventris*, use epiphytic species for a significant portion of their foraging needs (Nadkarni and Matelson, 1989). In addition, the Striped-tailed Hummingbird, the Fork-tailed Emerald, the Coppery-headed Emerald, the Green-crowned Brilliant, and the Violet Sabrewing use epiphytes to varying degrees (Nadkarni and Matelson, 1989).

Species behavior and competitive interactions impact the entire community. Certain species have a greater influence over the community dynamics than others. Dominant, aggressive, and territorial species affect the behavior of the more subordinate species. A flight cage experiment in Monteverde shows that traplining species increase their foraging visits during the times of day when the territorial species are least aggressive (Tiebout, 1992). Similarly at Cerro de la Muerte where four hummingbird species coexist, the dominant species, the Fiery-throated Hummingbird (*Panterpe insignis*) affects the behavior of the other species. Its population size, along with nectar availability, determines the other species' places in the guild (Wolf *et al.*, 1976). Likewise, in Monteverde, Feinsinger (1976) found that *Amazilia saucerotti* (Steely-vented Hummingbird) affects the other species' foraging patterns via its aggressive territoriality, while *Chlorostilbon canivetii* (Fork-tailed Emerald) organizes the non-territorial species (Feinsinger, 1976).

How species fare when competing for scarce resources affects the community composition. Because species under pressure from competitors require increased energy they often cannot maintain adequate energy reserves. When species operate at an energy deficit their local abundance may decline (Tiebout, 1993). This suggests that what happens to one species may have far reaching consequences for the ecological community at large.

Nectar effects on hummingbird behavior

Just as hummingbirds affect plant biology, plants, through nectar, its presence, quantity, and concentration, influence hummingbird behavior

(Hodges, 1993; Murray *et al.*, 2000; Wolff, 2006). Pollinator visitation is mostly driven by nectar volume (Wolff, 2006), both in terms of how much is produced by a single flower and in terms of how many nectar-producing flowers are in bloom in an area at a given time. In general, hummingbirds avoid flowers that lack nectar, although it is unclear what cues they rely on to distinguish which flowers on a plant contain nectar (Irwin, 2000). Hummingbirds prefer plant species that produce flowers with larger petal areas and corolla opening diameters, most likely because flower size is positively correlated with overall nectar reward (Fenster *et al.*, 2006). Likewise, one study showed that hummingbirds visit flowers in their first day of bloom three times as often as flowers in other stages because they produce significantly more nectar (Schemske, 1980). In addition, large plants with more flowers, and therefore greater quantities of nectar, receive more visits per plant and per inflorescence than small plants with few flowers (Schemske, 1980).

In Monteverde, hummingbird visitation of short flowered Ericaceae species is affected mainly by the size of the floral display (Murray *et al.*, 2000). This indicates that the more flowers a plant produces, the more likely it is to receive hummingbird visitors. When a plant offers a greater nectar volume, hummingbirds visit more flowers and spend more time probing each flower (Mitchell and Waser, 1992; Mitchell, 1993). Under experimental conditions, traplining species such as the Long-tailed Hermit, change their rates of flower visitation as the resource base fluctuates (Garrison and Gass, 1999). However, the correlation is not always positive; a patch that yields excess nectar leads to hummingbird satiation and reduced flower visitation (Garrison and Gass, 1999).

As the abundance of flowers and nectar varies seasonally and annually, so does the population size of hummingbirds (Feinsinger, 1976; Young and McDonald, 2000). Years with a lower nectar crop support fewer hummingbirds (Young and McDonald, 2000). Annual variation in population size is believed to be due largely to changes in immigration and emigration rather than in birth and death rates (Young and McDonald, 2000). This signifies that within normal ranges, nectar production affects hummingbird behavior by attracting or repelling visitors, but that it does not directly change fecundity

or mortality. The number and diversity of hummingbirds increases more with number of open flowers than with diversity of plant species (Feinsinger, 1976), suggesting that nectar presence and quantity is more important than the particular nectar characteristics of each plant in sustaining suites of hummingbirds.

In terms of the concentration of sugars, the observed effects on hummingbird behavior are contrasting. One study reports that varying the nectar concentration within natural ranges does not affect visitation rates of hummingbirds (Irwin, 2000). Another study shows that an increase in sucrose leads to increased bird visitation, but only in the morning (Garrison and Gass, 1999). Other studies report that concentrations do indeed affect visitation rates (Schemske, 1980; Lopez-Calleja *et al.*, 1997). Researchers contend that as nectar sucrose concentration increases, hummingbirds forage less frequently (Lopez-Calleja *et al.*, 1997). When hummingbirds consume nectar of very low concentrations they must rely more frequently on nighttime torpor to conserve energy, and in some cases they suffer an energy deficit (Lopez-Calleja *et al.*, 1997). A slightly higher concentration of nectar may provide another important benefit. When adults consume more concentrated nectar they increase their level of parental care towards their young (Nicolson and Fleming, 2003). However, if nectar is too concentrated hummingbirds simply cannot consume it (Nicolson, 1995; Boose, 1997).

Life cycle and timing

The life cycle of a hummingbird consists of several important stages: nesting, molting, and migrating. The timing of hummingbird behavior in Monteverde differs from that of species found in other regions of the country, and is tied mainly to nectar availability (Fogden and Fogden, 2005). Because hummingbirds are so dependent on flowering plants, the exact timing of their life stages varies yearly in accordance with environmental conditions, abundance of nectar, and competitive dynamics (Young and McDonald, 2000). In the higher elevations of Costa Rica the breeding of the tiny volcano hummingbird coincides with the blooming of a plant species whose narrow corolla precludes its use by other species, thus ensuring that the volcano hummingbird has an ample food source during this important period

(Hainsworth and Wolf, 1972). Likewise, a resident species at Cerro de la Muerte, the Fiery-throated Hummingbird, breeds when a particular plant is in flower before the migratory hummingbirds arrive from other areas of Costa Rica (Wolf *et al.*, 1976). At this site the greatest diversity and density of hummingbirds occurs during the period of peak blooming (Wolf *et al.*, 1976).

Likewise, in Monteverde hummingbirds (see Appendix) mostly nest during the last few months of the year when preferred plants are flowering (Fogden and Fogden, 2005). It has been proposed that they time their breeding effort to preempt the major flowering peak so their young will have sufficient food resources (Stiles, 1985). Others suggest that it is the timing of their molt, which follows breeding and occurs from December to April, which coincides with the maximum abundance of flowers (Young and McDonald, 2000). Both breeding and molting require enormous energy expenditures, and nectar consumption during these periods increases significantly (Stiles, 1985; Fogden and Fogden, 2005). Migration also depends on nectar production, although most of the species found in Monteverde migrate only short distances from other areas of Costa Rica (Young and McDonald, 2000; Fogden and Fogden, 2005). In Monteverde certain species including the Magenta-throated Woodstar, the Blue-throated Goldentail, and the Plain-capped Starthroat time their seasonal migrations in accordance with the flowering of one or two specific plant species (Young and McDonald, 2000). Because species migrate, conditions in all areas of their ranges affect their behavior, diversity, and abundance (Wethington *et al.*, 2005).

CLIMATE AND PLANTS

Environmental conditions impact many aspects of a plant's life. Because of plants' sensitivity to the ever-changing environment, researchers have observed a great deal of annual variation in nectar production (Boose, 1997). Below are several avenues through which climate influences the production of flowers and nectar, thus having significant consequences for all nectarivorous species including hummingbirds.

Hydrology: water and humidity

It is well known that in dry years plants generally produce less nectar, and that years with higher levels of precipitation yield greater nectar volumes

(Feinsinger, 1978; Stiles, 1978; Wyatt *et al.* 1992; Petanidou and Smets, 1996; Boose, 1997; McDade and Weeks, 2004a; Wethington *et al.*, 2005). One study demonstrated that after a dry period, providing plants with supplemental water resources doubled their nectar production (Wyatt *et al.*, 1992). In another experiment plants receiving less water produced 26% less nectar volume than those with sufficient water supplies (Boose 1997). A drought that occurred during one year of an investigation conducted at La Selva delayed, abbreviated, or eliminated the flowering peaks of several species. These effects lasted from several months to a year (Stiles, 1978). In an extremely wet year in the same study several species of *Bromeliads* experienced much larger than average flowering peaks (Stiles, 1978). Another investigation reports that severe drought during one season prevented 95% of the plants in the population from flowering (Hodges, 1993). However, it cannot be assumed that more rainfall always leads to greater flower abundances. At La Selva a pronounced flower shortage occurs regularly during the wettest season (Stiles, 1978).

In addition to the effects moisture may have on nectar in the form of rainfall, atmospheric moisture also plays an important role. The relative humidity of the air influences a plant's nectar production, specifically its concentration of sugars (Pleasants, 1983; Boose, 1997). A single plant therefore can display significant variance in nectar concentration from one day to the next depending on humidity. Likewise, soil moisture may have significant effects (Feinsinger, 1978; Boose, 1997; Wolff, 2006). One study found that in a clonal *Heliconia* species, the ramets occurring on the wettest soil produced flowers with high nectar volumes, while ramets on dryer soils produced "blanks", or flowers with minimal nectar yields (Feinsinger, 1983). This may also be linked to the availability of nutrients in the soil (Feinsinger, 1978; Boose, 1997; Wolff, 2006). These factors are at play at both the very local and the very broad scale. When soil moisture is limited in a restricted area, a single plant, or a single part of a plant, may be affected. However, if the general trend is one of reduced moisture over a broad geographic area, entire communities of plants may feel the impacts.

Temperature

Nectar production varies with temperature. Various studies report that low nectar production is related to low temperature (Jakobsen and Kristjansson, 1994; Nicolson, 1995; Petanidou and Smets, 1996; McDade and Weeks, 2004a; Wolff 2006). However, this is only true until a threshold is reached as nectar production increases with temperature until a maximum and then declines (Nicolson, 1995; Petanidou and Smets, 1996). Nighttime temperatures in particular may affect nectar production and may alter the relative sugar composition of nectar. Increased night temperatures have been shown to reduce the amount of sucrose relative to glucose and fructose (Jakobsen and Kristjansson, 1994). Abiotic factors may interact in complex ways. For example, in certain species nectar volume along with sugar production and concentration increase with temperature, provided that the plant is not suffering water stress (Petanidou and Smets, 1996).

Clouds and light

It is also documented that solar irradiance and cloud cover affect nectar production because nectar production depends on photosynthesis, which is directly controlled by the intensity of sunshine (Stiles, 1978). Studies show that low light conditions lead to a reduction in nectar crops and lowered sugar concentrations (Pleasants, 1983; Petanidou and Smets, 1996; Boose 1997; McDade and Weeks, 2004a.). One investigation found that ramets grown with 70% less light produced 27% less nectar than ramets under ambient light (Boose, 1997). This may result in daily variance in nectar production of a single plant (Pleasants, 1983). However, this may be true only for certain species, or at the very least, the effect may be stronger in plant species adapted to brighter conditions (Petanidou and Smets, 1996).

Elevation

The elevation at which a plant grows affects its nectar attributes. In general nectar volume as well as sugar concentrations decrease with elevation (Hainsworth and Wolf, 1972; Baker, 1975; Stiles and Freeman, 1993; Murray *et al.*, 2000). Viscosity increases both with elevation and with concentration, which may explain why nectars are often found at lower concentrations at higher elevations. The same concentration consumed at lower elevations may be too viscous for hummingbirds to consume at higher elevations. Therefore if plants are producing nectar for hummingbirds they must produce nectar that is

less viscous, and therefore less concentrated (Baker, 1975). Sugar compositions differ across elevational gradients. At higher elevations nectars contain higher percentages of fructose relative to sucrose than in lower regions (Stiles and Freeman, 1993).

Plant genetics and variability

While plants respond in a variety of ways to environmental conditions, they are also constrained by their own genetic makeup. In general, the size of the flowers that a plant produces is positively correlated with nectar volume and concentration, or overall nectar reward (Bolten and Feinsinger, 1978; Stiles, 1985; Fenster, 2006). In Monteverde, it has been reported that there are relatively few long-flowered plant species (Stiles, 1985; Murray *et al.*, 2000). Much more abundant in the zone are flowers with shorter corollas and lower nectar rewards.

It has been widely observed that in spite of the many aforementioned correlations between environmental factors and nectar production, nectar yields are highly variable (Hodges, 1993). In fact, there is a great deal of variation in nectar production among plants of the same species (Zimmerman, 1988), plants within the same population, and even among flowers on same plant (Boose, 1997). Different genets of a single plant also respond differently to environmental factors suggesting that some are more sensitive to abiotic factors while others are more fixed in their nectar production (Boose, 1997). It has been suggested that within plant variation may have adapted to encourage outcrossing, rather than enticing pollinators to remain at a single plant (Boose, 1997). It has also been shown that both the number of open flowers and the variance in nectar production are positively correlated with the mean nectar volume per flower (Torres and Galetto, 1998). Therefore plants that are more variable in their nectar production actually produce more nectar per flower on average than those with more consistent nectar production.

Timing

Seasonality also influences nectar production. It has been shown that certain species of plants display a reduced nectar output as the flowering season progresses (Pleasants, 1983; Torres and Galetto, 1998; McDade and Weeks, 2004a). This could be due to changes in abiotic conditions, plant and flower age

(Schemske, 1980; Torres and Galetto, 1998; McDade and Weeks, 2004a), or to the changing energetic demands on plants throughout their lifecycles. For example, certain species may produce less nectar later in the season when they are allocating their resources to seed production (Pleasants, 1983). Another proposed hypothesis purports that attracting pollinators requires less nectar later in the season because by then hummingbirds have acquired knowledge of the nectar source and can rely on their spatial memory to locate nectar (McDade and Weeks, 2004a).

Several factors affect the timing and duration of flowering peaks, thereby controlling nectar output and availability. The growth form of the species and its habitat type at both the large and small scale affect when the species flowers (Stiles, 1978). For example, epiphytes have different phenologies than shrubs, species occurring in light gaps flower at different times than those under closed canopy cover, and those of the dry forest have a different flowering rhythm than those of the wet forests (Stiles, 1978; Nadkarni and Matelson, 1989). In the dry forests, where the water acts as a limiting resource, the flowering peaks among species are generally more synchronized than those areas that receive ample precipitation year round (Wolf, 1970). In addition there may be a relationship between the duration and timing of flowering. It has been shown that plants that flower very briefly are more likely to have their period of maximum flowering during the dry season (Wolf *et al.*, 1976). In the Caribbean lowlands of Costa Rica at La Selva, two annual flowering peaks of equal magnitude occur, first during the late dry season and later during the early wet season (Stiles, 1978). In contrast the late dry and early wet seasons are the periods of lowest flowering at Cerro de la Muerte, a high elevation habitat in Costa Rica (Wolf *et al.*, 1976). Seasonality affects flowering, but each habitat responds differently to the seasons.

Spatial position

How and where species grow also plays a part in their sensitivity to climate. Epiphytes, because of their position at the interface between the terrestrial world and the atmosphere and their complete dependence on nutrients deposited by clouds and mist are among the most responsive to environmental factors

governed by climate (Nadkarni and Solano, 2002). They play an important role in the cloud forest by capturing essential inputs that might otherwise pass over the system completely (Nadkarni and Solano, 2002). It has been shown that in the case of epiphytes, climate affects not only nectar production but also their very growth and survival (Nadkarni and Solano, 2002). Obviously with the reduction or loss of epiphytes comes a decline in overall nectar resources.

CLIMATE AND HUMMINGBIRDS

While very few studies have taken the next step and investigated the links between climate and hummingbird populations, an important correlation is evident. Precipitation patterns have dramatic effects on hummingbird populations at all spatial scales. Throughout their range in the New World, hummingbirds are most diverse in forested areas that receive high levels precipitation (Wethington *et al.*, 2005). Areas of Central and South America with the highest annual rainfall support the greatest hummingbird species richness (Wethington *et al.*, 2005). At more local scales and in shorter time frames hummingbird population size is also correlated with precipitation. During especially dry years hummingbird populations at various sites are markedly reduced (Wethington *et al.*, 2005). Faaborg (1982) notes that drought, depending on its timing and severity, has negative impacts on hummingbird populations. A detailed study of long tailed hermits during a drought at La Selva on the Caribbean slope of Costa Rica corroborated this conclusion. The timing of the drought led to an interruption in molt, reduced fecundity, and lowered survivorship (Stiles, 1992). In addition it took several years for the population to recover from this single drought event (Stiles, 1992). Even at the smallest scales precipitation affects hummingbirds. On a daily basis foraging behavior changes with climatic conditions. In Monteverde Striped-tailed Hummingbirds display more active territoriality during rainy days when butterflies are inactive (Young and McDonald, 2000). Dry conditions, therefore, can affect virtually all periods of a hummingbird's life cycle, and can reduce all aspects of fitness.

POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE

Climate change is not a new phenomenon, and

species have been adapting to an ever-changing world for eons, so one could argue that the plants and hummingbirds of Monteverde will simply adjust to the new conditions. However, the current period of climate change is believed to be significantly different from anything that has occurred in geologic history in terms of the rate of change. While over long time periods selection pressure from environmental factors will result in adaptation and genetic changes, the climate is currently changing more quickly than adaptation by natural selection can occur. Therefore, in the short term the ability of each species to respond is limited by its current genetic composition and its resultant morphological characteristics. However, species distributions may change rapidly depending on species motility.

The relationship between climate change and the hummingbirds of Monteverde is extremely complex. The potential impacts are many as both plants and hummingbirds are vulnerable to countless environmental factors throughout their life histories. Several possible ways in which climate could impact the species of hummingbirds found in Monteverde are described below along with important questions raised by these possibilities.

One possible outcome of climate change is that species may shift their distributions to higher elevations or more northerly latitudes. This may occur because any given elevation may take on the environmental characteristics of a lower elevation (i.e. warmer temperatures). However, it is uncertain how long such a response would take, and it is most likely that each species would adjust in a unique time frame. Hummingbirds, being highly mobile, may be able to move upwards sooner than the plants that sustain them. As species shift in distribution Monteverde will likely host a different suite of nectar producing flowers and hummingbirds. If the cloud forests of Monteverde routinely experience the climate of lower elevations, some of its current diversity will be lost and the plant community composition is likely to change, yielding manifold effects. A different group of plant species could alter competitive dynamics among plants for pollinators, which could have long-term consequences for the plant community. Different floral characteristics could attract different types of pollinators, or exclude some of the most currently abundant species (Feinsinger *et al.*, 1979). For example, an increase in the proportion of large

flowered plants may have positive effects in terms of overall nectar availability. However, if they displace short flowered plants, hummingbirds with short bills, which physically cannot extract nectar from long, curved corollas, will suffer a decline in nectar resources even when net resources have increased.

In Monteverde, it has been reported that the climatic trend is one of drying, indicating a reduction in rainfall and a decline in relative humidity (Pounds *et al.*, 2006), both of which affect nectar production and hummingbirds. In general water stress leads to reduced nectar supplies, thereby depriving hummingbirds of their main energy source, altering competitive interactions, and potentially limiting the population size. In addition, even a short-term drought can impair hummingbird populations for several subsequent years (Stiles, 1992). In the event of a long-term drought occurring at a broad geographic scale, or simply a switch to a drier climate, the hummingbird populations of Monteverde might be unable to recover. The recorded reduction in precipitation due to global climate change could be responsible for a concomitant decline in hummingbird populations.

However, the scenario is not necessarily so simple. Because the relationship between temperature and nectar production is positive, certain species of plants in Monteverde may increase their nectar output as the temperatures in the region rise. This could benefit the hummingbird populations by providing them with supplemental food resources. However, this can only occur if the temperatures do not exceed the threshold for any given plant, and that the increase in temperature is not coupled with a reduction in precipitation so severe that the plants are water stressed. Another important component of the temperature equation is the average nighttime temperature relative to the average daytime temperature. In Monteverde, the difference between the two has decreased (Pounds *et al.*, 1999). The change in nighttime temperature could affect the sugar composition of nectar, changing its appeal to hummingbirds and other pollinators and affecting competition.

Confounding matters further, the climate in Monteverde shows a trend towards increased cloud cover. Because reduced light limits the ability of plants to photosynthesize and is associated with

hampered nectar production for certain species, the new cloudier climate could result in diminished nectar production among Monteverde plants, which has potentially negative impacts for plants and nectarivorous species.

It is difficult to predict what will happen to high elevation hummingbird species in the face of a changing climate. In general, small species living at high elevations have the greatest difficulty meeting their energetic demands (Wolf *et al.*, 1975). The Volcano Hummingbird (which does not occur in Monteverde) relies on two species of plants that produce small volumes of highly concentrated nectar. If these plants cannot tolerate the new conditions and the hummingbirds are forced to rely on other species that produce nectar in lower concentrations it is unclear whether they will still be able to meet their energetic demands. It is possible that their energetic demands will decrease if the climate is warmer, but if other species of hummingbirds move up in elevation into the range of the Volcano Hummingbird they will be forced to compete with larger, unfamiliar species for nectar.

A major unknown is how climate change will alter hummingbird foraging behavior via a novel nectar production regime. The adoption of different foraging strategies could change the competitive dynamics among hummingbirds. This could impact the population structure and size, relative abundances, and species distributions of hummingbirds in Monteverde. These changes will have consequences for pollination, plant fitness, and plant community structure.

Seasonality is important with respect to climate change because the seasons themselves may shift in time or change in their defining characteristics. Either of these possibilities could alter plant phenology. The timing of peak flowering and nectar abundance may change, having implications for both the plant community and their pollinators. If plants flower during new time periods the flowering peaks of plants species that had never previously flowered concurrently may overlap, thus changing plant competition. Certain plants that were abundant may not receive sufficient pollinators to reproduce at prior levels. This portends a potentially significant change in community structure. Furthermore, if the phenologies of species upon which certain

hummingbirds depend change appreciably, nectar availability may not coincide with "normal" pollinator timing. Many hummingbirds come from other regions of the country in search of blooming plants, some seeking a single particular species. How they react to these changes in seasonality and phenology should be investigated. If plant phenologies do not shift, but instead plants continue to flower and produce nectar and seeds at the normal times but under sub-optimal conditions, plant fitness could decline. All phases of a plant's lifecycle are equally important (Galen, 1999). If a plant produces ample nectar and successfully attracts pollinators, but then fails to produce viable seeds, its fitness is severely compromised. The environmental conditions during all time periods must facilitate survival and reproduction. Therefore, when considering the impacts of changes in seasonality it is crucial to investigate the effects of environmental conditions throughout the entire cycle, not merely during flowering.

The potential effects of climate change may be significant in the cloud forests of Monteverde where epiphytes, which are highly sensitive to environmental change, contribute greatly to forest productivity and resiliency and support biodiversity (Nadkarni and Solano, 2002). So important are these plants to hummingbirds that certain species time their nesting to coincide with the peak flowering of epiphytic Ericaceae species (Fogden and Fogden, 2005). Nadkarni and Solano (2002) have proposed that epiphytes could serve as indicators of climate change as they will be among the first plants to suffer its effects. This suggests that species of epiphyte-dependent hummingbirds may respond to climate change more quickly than other species. Therefore, both epiphytes and the hummingbirds that pollinate them could serve as indicators of climate change. Likewise, the reduction of epiphytic plants could lead to a decline in hummingbird populations or a change in species composition as those species most reliant on epiphytes fail to find sufficient resources.

As the climate changes, plants and hummingbirds will be confronted with challenges across multiple scales. At a global level, changes in the climate have resulted in an altered hydrological cycle and changes in precipitation patterns (Pounds and Crump, 1994; Pounds *et al.*, 1999). Throughout hummingbirds' ranges these changes could begin to affect their

distribution and abundances. The regional climate in Monteverde has felt the effects of the global trend and has become drier and warmer. The microclimate as well is changing. Changes in the climate at every scale are important for species, and all can have severe consequences. It has already been proposed that other groups of species in the zone have undergone catastrophic collapses as a result of an altered microclimate within a larger global trend of climatic change, for example the Monteverde Harlequin Frog (Pounds *et al.*, 2006). To understand fully how climate change is affecting hummingbirds, it will be important to conduct studies at a wide range of scales.

FURTHER CONSIDERATIONS AND CONCLUSIONS

All of the studies outlined above raise interesting questions about the relationship between climate change and hummingbirds worldwide, and in Monteverde specifically. To understand the effects to date, some basic questions to be answered are:

1. Is there a clear and quantifiable link between the observed changes in hummingbird populations and the warmer, drier climate in Monteverde? Has the phenology of hummingbird pollinated plants changed along with the climate?
2. Has the timing of overall peak flowering in Monteverde changed?
3. Have nectar availability and flower abundance changed?
4. Is the new climate regime limiting, or otherwise altering nectar production in Monteverde?
5. Has the species composition of hummingbird pollinated plants changed?
6. Are changes in local species abundances of hummingbirds related to changing distributions, competitive interactions, flowering phenology or some interplay of all of these factors?
7. Has the species composition of the forest canopy changed, and more specifically has the abundance of nectar producing epiphytes declined?
8. Have epiphyte dependent hummingbirds declined in local abundance in recent years?

Recently documented climatic trends indicate

many potential avenues for adversely affecting the diverse and abundant hummingbirds of Monteverde. The synergistic effects among the many environmental and ecological factors are likely to be far more complex than reasoning alone can predict. A monitoring program and a series of carefully designed experiments are needed in order to collect meaningful data. Through these investigations we can increase our understanding of the current situation in Monteverde, clarify the relationship between climate change and hummingbirds specifically, and protect the biodiversity for which Monteverde is so famous.

ACKNOWLEDGEMENTS

Many people contributed greatly to this project. First and foremost, thank you to Dr. J. Alan Pounds for initiating the discussion about climate change and hummingbirds in Monteverde, and for encouraging me to undertake this project. Yoryineth Méndez Corrales provided support and generously shared office space and resources. Alvaro Redondo Brenes provided countless journal articles, which formed the basis of this paper. Olivier Chassot and Jaime Bonilla-Barbosa edited the manuscript. Thank you to everyone at La Reserva Biológica del Bosque Nuboso de Monteverde for your commitment to conservation. The research was funded by a grant from the Tropical Science Center.

LITERATURE CITED

- Baker, H. G. 1975. Sugar concentrations in nectars from hummingbird flowers. *Biotropica* 7: 37-41.
- Bolten, A. B. and P. Feinsinger. 1978. Why do hummingbird flowers secrete dilute nectar? *Biotropica* 10(4): 307-309.
- Bolten, A. B., P. Feinsinger, H. Baker and I. Baker. 1979. On the calculation of sugar concentration in flower nectar. *Biotropica* 10(4): 301-304.
- Boose, D. L. 1997. Sources of variation in floral nectar production rate in *Epilobium canum* (Onagraceae): Implications for natural selection. *Oecologia* 110: 493-500.
- Brisco, M., D. Hepper, P. Lackie and C. Thomas. 1983. Cambridge hummingbird study expedition to Costa Rica: Final Report.
- Corbet, S. A. and P. G. Willmer. 1981. The nectar of *Justicia* and *Columnea*: Composition and concentration in a humid tropical climate. *Oecologia* 51: 412-418.
- Faaborg, J. 1982. Avian population fluctuations during drought conditions in Puerto Rico. *Wilson Bulletin* 94(1): 20-30.
- Feely, K. J., S. Joseph W., M. N. Nur S., A. R. Kassim and S. J. Davies. 2007. Decelerating growth in tropical forest trees. *Ecology Letters* 10: 461-469.
- Feinsinger, P. 1976. Organization of a tropical guild of nectarivorous birds. *Ecological Monographs* 46(3): 257-291.
- Feinsinger, P. 1977. Notes on the hummingbirds of Monteverde, Cordillera de Tilarán, Costa Rica. *Wilson Bulletin* 89: 159-164.
- Feinsinger, P. 1978. Ecological interactions between plants and hummingbirds in a successional tropical community. *Ecological Monographs* 48: 269-287.
- Feinsinger, P. 1983. Variable nectar secretion in a *Heliconia* species pollinated by Hermit Hummingbirds. *Biotropica* 15(1): 48-52.
- Feinsinger, P., J. Beach, Y. Linhart, W. Busby and G. Murray. 1987. Disturbance, pollinator predictability, and pollination success among Costa Rican cloud forest plants. *Ecology* 68(5): 1294-1305.
- Feinsinger, P. and R. K. Colwell. 1978. Community organization among neotropical nectar feeding birds. *American Zoology* 18: 779-795.
- Feinsinger, P., R. K. Colwell, J. Terborgh and S. Budd C. 1979. Elevation and the morphology, flight energetics, and foraging ecology of tropical hummingbirds. *The American Naturalist* 113(4): 481-497.
- Feinsinger, P., G. Murray, S. Kinsman and W. Busby. 1986. Floral neighborhood and pollination success in four hummingbird-pollinated plant species of a Costa Rican cloud forest. *Ecology* 67(2): 449-464.
- Feinsinger, P. and H. Tiebout. 1991. Competition among plants sharing hummingbird pollinators: laboratory experiments on a mechanism. *Ecology* 72(6): 1946-1952.
- Fenster, Ch. B., G. Cheely, M. R. Dudash and R. J. Reynolds. 2006. Nectar reward and advertisement in hummingbird-pollinated *Silene virginica* (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany* 93(12): 1800-1807.
- Fogden, M. and P. Fogden. 2005. Hummingbirds of Costa Rica. Zona Tropical, Miami.
- Galen, C. 1999. Why do flowers vary? *BioScience* 49(8): 631-640.
- Garrison, J. S. E. and C. L. Gass. 1999. Response of a traplining hummingbird to changes in nectar availability. *Behavioral Ecology* 10: 714-725.
- Gill, F. B. 1988. Effects of nectar removal on nectar accumulation in flowers of *Heliconia imbricata* (Heliconiaceae). *Biotropica* 20(2): 169-171.
- Haber, W. 2000. Plants and vegetation. In: Nadkarni, N. M. and N. T. Wheelwright (eds.). *Ecology and Conservation of a Tropical Cloud Forest*. Oxford University Press, New York.
- Hainsworth, F. R. and L. L. Wolf. 1972. Energetics of nectar extraction in a small, high altitude, tropical hummingbird, *Selasphorus flammula*. *Journal of Comparative Physiology* 80: 377-387.
- Hodges, S. A. 1993. Consistent interplant variation in nectar characteristics of *Mirabilis multiflora*. *Ecology* 74: 542-548.

- Irwin, R. E. 2000. Hummingbird avoidance of nectar-robed plants: spatial location or visual cues. *Oikos* 91: 499-506.
- Jakobsen, H. B. and K. Kristjansson. 1994. Influence of temperature and floret age on nectar secretion in *Trifolium*. *Annals of Botany* 74: 327-334.
- Lopez-Calleja, M. V., F. Bozinovic and C. M. del Rio. 1997. Effects of sugar concentration on hummingbird feeding and energy use. *Comparative Biochemistry and Physiology* 118A(4): 1291-1299.
- McDade, L. A. and J. A. Weeks. 2004a. Nectar in hummingbird-pollinated neotropical plants I: Patterns of production and variability in 12 species. *Biotropica* 36(2): 196-215.
- McDade, L. A. and J. A. Weeks. 2004b. Nectar in hummingbird-pollinated neotropical plants II: Interactions with flower visitors. *Biotropica* 36(2): 216-230.
- Mitchell, R. J. 1993. Adaptive significance of *Ipomopsis aggregata* nectar production: Observation and experiment in the field. *Evolution* 47(1): 25-35.
- Mitchell, R. J. and N. M. Waser. 1992. Adaptive significance of *Ipomopsis aggregata* nectar production: Pollination success of single flowers. *Ecology* 73(2): 633-638.
- Murray, K. G., S. Kinsman and J. L. Bronstein. 2000. Plant-Animal Interactions. In: Nadkarni, N. M. and N. T. Wheelwright (eds.). *Ecology and Conservation of a Tropical Cloud Forest*. Oxford University Press, New York.
- Nadkarni, N. M. and T. J. Matelson. 1989. Bird use of epiphyte resources in neotropical trees. *Condor* 91: 891-907.
- Nadkarni, N. M., M. C. Merwin and J. Nieder. 2001. Forest canopies, plant diversity. *Encyclopedia of Biodiversity* 3: 27-40.
- Nadkarni, N. M. and R. Solano. 2002. Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. *Oecologia* 131: 580-586.
- Nicolson, S. W. 1995. Direct demonstration of nectar reabsorption in the flowers of *Grevillea robusta* (Proteaceae). *Functional Ecology* 9(4): 584-588.
- Nicolson, S. W. and P. A. Fleming. 2003. Nectar as food for birds: the physiological consequences of drinking dilute sugar solutions. *Plant Systematics and Evolution* 238(1-4): 139-153.
- Petanidou, T. and E. Smets. 1996. Does temperature stress induce nectar secretion in Mediterranean plants? *New Phytologist* 133(3): 513.
- Pleasants, J. M. 1983. Nectar production patterns in *Ipomopsis aggregata* (Polemoniaceae). *American Journal of Botany* 70(10): 1468-1475.
- Pounds, J. A., M. R. Bustamante, L. A. Coloma, J. A. Consuegra, M. P. L. Fogden, P. N. Foster, E. La Marca, K. L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S. R. Ron, G. A. Sánchez-Azofeifa, C. J. Still and B. E. Young. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439: 161-167.
- Pounds, J. A. and M. L. Crump. 1994. Amphibian declines and climate disturbance: the case of the Golden Toad and the Harlequin Frog. *Conservation Biology* 8: 72-85.
- Pounds, J. A., M. P. L. Fogden and J. H. Campbell. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398: 611-615.
- Pounds, J. A., M. P. L. Fogden, J. M. Savage and G. C. Gorman. 1997. Tests of null models for amphibian declines on a tropical mountain. *Conservation Biology* 11: 1307-1322.
- Powell, G. V. N. and D. H. DeRosier. 1999. Results of project: Altitudinal changes in distribution of resident and migrant birds in Monteverde, Costa Rica as a possible indicator of climate change. *Centro Científico Tropical*. Costa Rica.
- Pyke, G. H. 1991. What does it cost a plant to produce floral nectar? *Nature* 350: 58-59.
- Roberts, W. M. 1996. Hummingbirds' nectar concentration preferences at low volume: the importance of time scale. *Animal Behaviour* 52: 361-370.
- Schemske, D. W. 1980. Floral ecology and hummingbird pollination of *Combretum farinosum* in Costa Rica. *Biotropica* 12: 169-181.
- Stiles, F. G.. 1975. Ecology, flowering, and hummingbird-pollination of some Costa Rican *Heliconia* species. *Ecology* 56(4): 285-302.

- Stiles, F. G. 1978. Temporal organization of flowering among the hummingbird foodplants of a tropical forest. *Biotropica* 10: 194-210.
- Stiles, F. G. 1985. Seasonal patterns and coevolution in the hummingbird - flower community of a Costa Rican subtropical forest. In: P. A. Buckley, M. S. Foster, E. S. Morton, R. S. Ridgley and F. G. Buckley (eds.). *Neotropical Ornithology. Ornithological Monographs* 36: 757-787.
- Stiles, F. G. 1992. Effects of a severe drought on the population biology of a tropical hummingbird. *Ecology* 73(4): 1375-1390.
- Stiles, F. G. and C. E. Freeman. 1993. Patterns in floral nectar characteristics of some bird-visited plant species from Costa Rica. *Biotropica* 25: 191-205.
- Tiebout, H. M. 1991. Daytime energy management by tropical hummingbirds: responses to foraging constraint. *Ecology* 72: 839-851.
- Tiebout, H. M. 1992. Comparative energetics of divergent foraging modes: a doubly labeled water experiment on hummingbird competition. *Animal Behavior* 44: 895-906.
- Tiebout, H. M. 1993. Mechanisms of competition in tropical hummingbirds: metabolic costs for losers and winners. *Ecology* 74: 405-418.
- Torres, C. and L. Galetto. 1998. Patterns and implications of floral nectar secretion, chemical composition, removal effects and standing crop. *Botanical Journal of the Linnean Society* 127: 207-223.
- Wethington, S. M., G. C. West and B. A. Carlson. 2005. Hummingbird conservation: Discovering diversity patterns in Southwest U.S.A. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-36*: 162-168.
- Wolf, L. L. 1970. Impact of seasonal flowering on the biology of some tropical hummingbirds. *Condor* 72: 1-15.
- Wolf, L. L., F. R. Hainsworth and F. B. Gill. 1975. Foraging efficiencies and time budgets of nectar feeding birds. *Ecology* 56: 117-128.
- Wolf, L. L., F. G. Stiles and F. R. Hainsworth. 1976. Ecological organization of a highland tropical hummingbird community. *Journal of Animal Ecology* 45: 349-379.
- Wolff, D. 2006. Nectar sugar composition and volumes of 47 species of Gentianales from a Southern Ecuadorian montane forest. *Annals of Botany* 97: 767-777.
- Wyatt, R., S. B. Broyles and G. S. Derda. 1992. Environmental influences on nectar production in milkweeds (*Asclepias syriaca* and *A. exaltata*). *American Journal of Botany* 79(6): 636-642.
- Young, B. E. and D. B. McDonald. 2000. Birds. In: Nadkarni, N. M. and N. T. Wheelwright (eds.). *Ecology and Conservation of a Tropical Cloud Forest*. Oxford University Press, New York.
- Zimmerman, M. 1988. Pollination biology of montane plants: relationship between rate of nectar production and standing crop. *American Midland Naturalist* 120(1): 50-57.

APPENDIX
HUMMINGBIRDS OF MONTEVERDE, COSTA RICA

Species common name	Latin name
White-tipped Sicklebill	<i>Eutoxeres aquila</i>
Green Hermit	<i>Phaethornis guy</i>
Little Hermit	<i>Phaethornis longumareus</i>
Green-fronted Lancebill	<i>Doryfera ludoviciae</i>
Violet Sabrewing	<i>Campylopterus hemileucurus</i>
White-necked Jacobin	<i>Florisuga mellivora</i>
Brown Violet-ear	<i>Colibri delphinae</i>
Green Violet-ear	<i>Colibri thalassinus</i>
Black-crested Coquette	<i>Lophornis helenae</i>
Green Thorntail	<i>Discosura conversii</i>
Fork-tailed Emerald	<i>Chlorostilbon canivetii</i>
Crowned Woodnymph	<i>Thalurania colombica</i>
Fiery-throated Hummingbird	<i>Panterpe insignis</i>
Blue-throated Goldentail	<i>Hylocharis eliciae</i>
Coppery-headed Emerald	<i>Elvira cupriceps</i>
White-bellied Mountain-gem	<i>Lampornis hemileucus</i>
Purple-throated Mountain-gem	<i>Lampornis calolaema</i>
Green-crowned Brilliant	<i>Heliodoxa jacula</i>
Purple-crowned Fairy	<i>Heliothryx barroti</i>
Plain-capped Starthroat	<i>Heliomaster constantii</i>
Magenta-throated Woodstar	<i>Calliophlox bryantae</i>
Scintillant Hummingbird	<i>Selasphorus scintilla</i>
Steely-vented Hummingbird	<i>Amazilia saucerrottei</i>
Rufous-tailed Hummingbird	<i>Amazilia tzacatl</i>

DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LOS BANDOS DE PSITÁCIDOS DE CUBA CENTRAL

Maikel Cañizares Morera¹ y Vicente Berovides Álvarez²¹Centro Nacional de Biodiversidad, Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana, Cuba, pilarhs@cubarte.cult.cu²Facultad de Biología, Universidad de la Habana, La Habana, Cuba, vbero@fbio.uh.cu

RESUMEN

Se actualiza el conocimiento sobre la abundancia y distribución de los bandos de las dos especies de psitácidos cubanos (*Amazona leucocephala* y *Aratinga euops*) en la región central de la isla, con datos obtenidos hasta el año 2005. A través de entrevistas a pobladores y campesinos, estimamos la magnitud de las capturas ilegales de pichones que se llevan a cabo para el comercio local de mascotas en las principales áreas de reproducción. Identificamos un total de cinco áreas geográficas y 17 localidades de la región central donde habitan o se registra la existencia de *A. leucocephala* y de *A. euops*. En total, registramos nueve bandos-poblaciones de *A. euops*: tres de ellos muy aislados en la costa norte y seis distribuidos en dos áreas geográficas de las montañas y llanuras del sur. Aunque los bandos de *A. leucocephala* tienen una menor movilidad que los de *A. euops* y anidan en un hábitat más amplio, su distribución coincide con la de esta última especie en la región de Trinidad-Topes de Collantes, mientras que en Banao-Romero, solo anida en la parte más montañosa y en los manglares de la costa sur. Las poblaciones que una vez habitaron la costa norte central fueron totalmente extirpadas.

Palabras clave: psitácidos cubanos, cotorra cubana, catey, abundancia, distribución

ABSTRACT

We update knowledge on the abundance and distribution of the flocks of two Cuban psittacid species (*Amazona leucocephala* and *Aratinga euops*) in the central region of Cuba, with data obtained up to year 2005. Through interviews to residents and peasants, we estimated the magnitude of illegal poaching of chicks carried out for the local pet trade in the main breeding areas. We identified a total of five geographical areas and 17 sites in the central region, where the Cuban Parrot (*A. leucocephala*) or the Catey (*A. euops*) inhabit or are reported. In total, we registered nine flocks-populations of *A. euops*: three of them very isolated on the north coast and six of them distributed in two geographical areas of the mountains and southern lowlands. Although flocks of *A. leucocephala* have a smaller mobility than *A. euops* and nest in a wider habitat, their distribution coincides with the latest species in the Trinidad-Topes de Collantes region, while in Banao-Romero they only nest in the most mountainous part and in the southern coastal swamps. The populations that once inhabited the central north coast have completely been extirpated.

Key words: Cuban psittacids, Cuban parrot, Cuban parakeet, abundance, distribution

INTRODUCCIÓN

Las poblaciones actuales de las dos especies endémicas de psitácidos cubanos, la Cotorra (*Amazona leucocephala*) y el Catey (*Aratinga euops*), se encuentran amenazadas y con una tendencia actual al declive de sus poblaciones debido fundamentalmente a la captura de pichones como mascotas para el comercio local y regional, así como a la destrucción del hábitat (Wright *et al.*, 2000; Berovides y Cañizares, 2004). Estas especies eran consideradas abundantes en otros tiempos a través

de toda la isla y en la actualidad están limitadas a unas pocas localidades aisladas que albergan bandos de pocos individuos.

Aunque no se han realizado estudios de abundancia de estas especies que permitan dar un número de individuos para toda Cuba, Gálvez (1996) estima entre 2,000 y 5,000 cateyes y unas 10,000 cotorras para toda la isla. A pesar de que estos números pueden parecer elevados para un área como

la isla de Cuba, la preocupación mayor para estas especies radica en el nivel de aislamiento que tienen sus bandos y las amenazas sobre sus hábitat, específicamente el reproductivo. La escasez de sitios para anidar y la extracción de pichones han provocado que algunas poblaciones no solo no crezcan en número, sino que no haya reclutamiento de volantones, y como consecuencia, se produzca un envejecimiento de la población.

Desde el año 2002, hemos estudiado la distribución y ecología de los psitácidos en la región central de Cuba y con esta investigación se pretende actualizar el conocimiento sobre la abundancia y distribución de los bandos de ambas especies de psitácidos en la región central, así como estimar la magnitud de las capturas ilegales de pichones que se llevan a cabo para el comercio local de mascotas en las principales áreas de reproducción.

ÁREA DE ESTUDIO

La región central de Cuba, para este estudio, abarca las provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, incluyendo el macizo montañoso de Trinidad y Sancti Spiritus y la franja de sabana y vegetación costera ubicada al sur del macizo montañoso y hasta la línea de costa (Fig. 1).

El relieve va desde el nivel del mar hasta los 1,124 msnm, en Pico San Juan, Cienfuegos, e incluye diferentes tipos de vegetación como manglar, sabana inundable y bosque siempreverde de montaña baja o media. La zona de manglares incluye áreas importantes para la biodiversidad como son la desembocadura de los ríos Higuanojo y Agabama y parches en la región de Tunas de Zaza, entre la playa Tayabacoa y el Palmar de Romero.

Las sabanas manifiestan una marcada antropización, y lo que más ha afectado a las especies en estudio ha sido la pérdida de la mayoría de los grandes palmares de la zona. Un ejemplo lo constituye la eliminación del Palmar de Cagüeira (21°42'00.4" N y 79°33'55.4" W), el que de acuerdo con la opinión de los pobladores locales constituyó uno de los palmares más densos de *Roystonea regia* en la región, con más de 1 millón de palmas. Este palmar comenzó a explotarse de manera intensiva a principios de los años 60 para utilizar la tabla de palma en trabajos de carpintería y para 1980 había sido casi enteramente talado. Actualmente solo pueden encontrarse ejemplares aislados de palma inmersos en un mar de Marabú (*Dichrostachys cinerea*) y Aroma (*Acacia farnesiana*) que han colonizado las áreas alteradas. Una suerte similar, aunque no tan

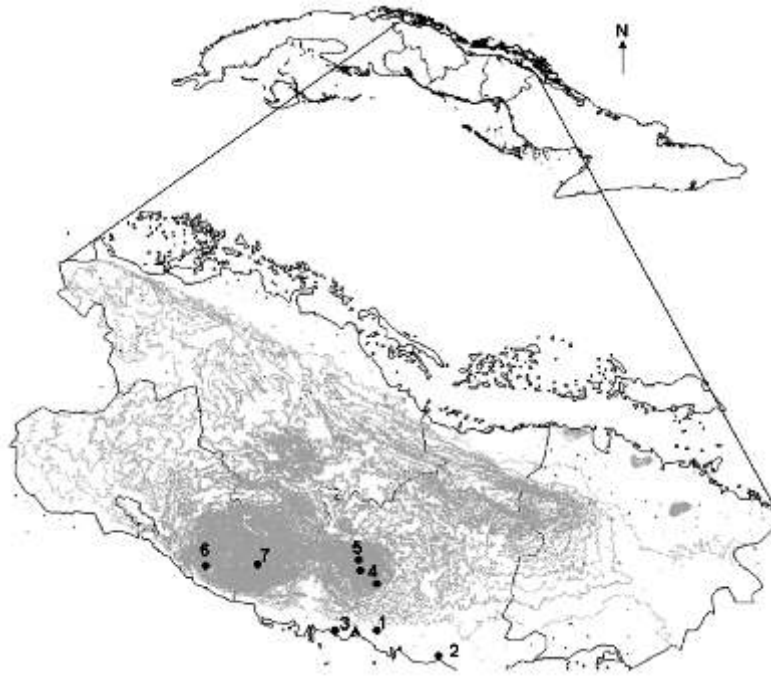


Figura 1. Área de trabajo en Cuba Central. 1) Palmar de Cagueira, 2) Palmar de Romero, 3) Playa Tayabacoa, 4) Alturas de Banao, 5) Gavilanes, 6) Valle de Yaguanabo, 7) Topes de Collantes.

extrema, han corrido otros palmares de esta región, como el Palmar de Romero, que ha sido reducido a una estrecha franja de suelo inundable próxima al manglar de la costa y que constituye un área importante para la reproducción del Catey.

Los bosques de montaña, por su parte, estuvieron sometidos a una fuerte antropización hasta la década de los años sesenta; sin embargo, la creación de varias áreas protegidas y las leyes actuales de protección forestal han permitido su paulatina recuperación.

Las localidades específicas de la Región Central que fueron estudiadas durante esta etapa son: la Reserva Ecológica "Alturas de Banao", el Valle de Yaguanabo, Gavilanes, Palmar de Romero y Tayabacoa.

Alturas de Banao

La Reserva Ecológica "Alturas de Banao" perteneciente a la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna del Ministerio de la Agricultura, se ubica en el extremo sur oriental del macizo montañoso Guamuhaya, en la provincia de Sancti Spiritus. Comprende 6,177 ha y cinco formaciones vegetales importantes, predominando el bosque siempreverde mesófilo (Bécquer, 1993). La temperatura media anual en esta zona varía entre los 20 y 22 °C y las precipitaciones entre los 1,600 y los 2,200 mm anuales. El área se caracteriza por ser de montañas bajas incluyendo la máxima elevación de las alturas de Sancti Spiritus: la Teta de Juana con 843 msnm. Además, comprende la divisoria de aguas de los ríos Banao e Higuanojo, en cuyas cuencas se concentran las áreas de nidificación de la Cotorra y del Catey, las cuales actualmente son manejadas con nidos artificiales (Cañizares y Hilburn, 2002). La vegetación en estos sitios es principalmente del tipo de bosque de galería y las especies predominantes son la Pomarrosa (*Syzygium jambos*), Guáрана (*Cupania americana*), Ayúa (*Zanthoxylum martinicense*), Ocuje (*Calophyllum antillanum*), Guamá (*Lonchocarpus domingensis*) y la Palma real, cuyos troncos secos constituyen el sustrato fundamental donde anidan estas aves.

Valle de Yaguanabo

Constituye un área protegida propuesta como Refugio de Fauna. Comprende 3,904 ha de bosque siempreverde y semidecíduo muy antropizado a lo

largo de la cuenca superior del río del mismo nombre. En la zona baja del valle se localiza un palmar con abundantes palmas reales y vegetación secundaria. En las laderas se localiza un palmar de Guano Cana (*Sabal parviflora*) que constituye el sustrato por excelencia donde anida el Catey en este sitio. El núcleo donde se concentran los nidos de Catey en esta región incluye unas 250 ha en las laderas y base del valle. Las cotorras, por su parte, anidan en un área mucho más difusa que abarca toda la región. Los bosques más altos y conservados sirven como sitios de alimentación a los psitácidos. En ellos predominan el Almácigo (*Bursera simaruba*), la Ayúa, el Anón (*Annona muricata*), el Ocuje, la Pomarrosa y el Guamá, entre otras especies de plantas.

Gavilanes

La zona de Gavilanes no es un área protegida e incluye la comunidad del mismo nombre, ubicada a unos 5 km al norte de la Reserva Ecológica "Alturas de Banao", con unos 400 habitantes que se dedican, en su mayoría, al cultivo del café de sombra, razón por la que los bosques adyacentes están poco antropizados. Con un relieve montañoso y pendientes muy fuertes, es un área donde se concentran grandes bandos de cotorras para anidar en un bosque de más de 2,000 ha. La formación predominante es el bosque siempreverde mesófilo con abundante Palma Real, Ayúa, Ocuje, Guásima (*Guazuma ulmifolia*), Guáрана y Pomarrosa en los bordes de los ríos y arroyos. También se encuentran parches de maniguas y pastizales creados para la alimentación del ganado vacuno y equino, utilizado en la cosecha de café. Semejante mosaico de vegetación ofrece a los psitácidos buenas condiciones para la alimentación y la reproducción.

Palmar de Romero

El Palmar de Romero está propuesto como área protegida y se valora la posibilidad de incluirlo en el Refugio de Fauna Tunas de Zaza. Se ubica muy próximo a la costa sur de Sancti Spiritus, a unos 36 km al sureste de las Alturas de Banao, en un área de sabanas antrópicas sobre suelo inundable de mal drenaje que comprende unas 248 ha. Hasta hace muy poco tiempo en toda la zona aledaña se cultivaba mayormente arroz, pero en la actualidad el cultivo se ha ido sustituyendo por la cría de ganado mayor. El límite de la sabana, al sur, lo forma un extenso parche

de palmas reales con algunos ejemplares aislados de Guano Cana, que se vuelven más abundantes hacia el interior del palmar a la vez que disminuyen las palmas reales. Más próximo a la costa, el palmar es reemplazado por una ancha franja de manglar que forma la frontera con el mar Caribe. La vegetación hacia los bordes del palmar y en la sabana misma incluye parches donde abundan el Roble criollo (*Tabebuia angustata*), la Guásima y el Bienvestido (*Gliricidia sepium*), especies que resultan muy importantes en la dieta de los psitácidos.

Tayabacoa

Comprende entre 200 a 300 ha de manglar y lagunas interiores con una amplia franja de mangle rojo (*Rhizophora mangle*). Después de esta franja, hacia tierra firme se encuentra el Mangle Prieto (*Avicennia germinans*) con emergentes aislados de Almácigo (*Bursera simaruba*) y parches de Marabú colonizando las zonas alteradas. En esta área las cotorras anidan en troncos viejos y secos de mangle prieto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer la distribución y abundancia de las dos especies de psitácidos en Cuba Central, se revisó literatura concerniente al tema que nos ocupa, los registros y la información proveniente de investigaciones en el área, incluida información inédita, y se realizaron viajes de campo donde se entrevistaron a guardabosques, campesinos y otros pobladores conocedores de las especies. En la mayoría de los casos, fueron personas que han vivido por varios años en la localidad. Estas entrevistas también incluyeron la información referida a la tenencia de los psitácidos como mascotas. Se realizaron conteos directos de individuos por bando, georreferenciando las áreas donde se registraron las especies. La estimación de abundancia se refiere a conteos realizados durante la etapa previa e inmediatamente posterior a la época de reproducción, período en el que ambas especies se concentran en las áreas de anidamiento. En todos los casos, se consideró como abundancia al mayor número de bandos observados o registrados. Se compiló la información y se confeccionaron los mapas de distribución de las especies. Los datos de preferencias acerca de la Cotorra y el Catey se analizaron por una prueba de Chi cuadrada.

RESULTADOS

Abundancia y distribución

Se identificaron un total de cinco áreas geográficas y 17 localidades de la región central donde habitan o se registra la existencia de la Cotorra y del Catey (Fig. 2).

Próximo a la costa norte, se reportan tres poblaciones remanentes de Catey con un elevado aislamiento geográfico entre ellas. Una población en Mogotes de Jumagua, con unos 50 individuos, fue objeto de manejo durante los años 1996-1998 por Castillo y Díaz (2000). En la Ciénaga de las Guayaberas, Parque Nacional Caguanes, al norte de Sancti Spiritus, se registró un bando de 30 cateyes. En una evaluación rápida en esta zona durante el 2004 se pudo comprobar el déficit de sitios para anidar en esta localidad, lo que ha provocado que la población vaya en decline. El reporte más oriental de la costa norte en el centro de Cuba se localiza en las Lomas de Cunagua, donde Inguanzu y Planell (en prensa) reportan entre 1 y 3 bandos de Catey. Debido a la gran movilidad de esta especie (hasta 25 km diarios entre sitios de alimentación y reproducción) y a la cercanía entre los sitios de nidificación (Cañizares *et al.*, 2006), se considera que en esta área haya posiblemente dos bandos de entre 20 y 30 individuos, lo que arroja un total de unos 50 cateyes y coincide con los valores registrados para las otras dos poblaciones de esta especie en la costa norte central. Estas tres poblaciones, al parecer formaron parte de una metapoblación que debió extenderse por todas las sabanas de la costa norte y que debido a la deforestación y fragmentación del hábitat han quedado geográficamente aisladas.

A través de las entrevistas aplicadas a los residentes, se pudo conocer que durante la década de los ochenta, grandes cantidades de palmas reales muertas fueron extraídas con fines utilitarios en esta zona, lo que contribuyó, según los propios entrevistados, a la completa desaparición de la Cotorra y a la disminución de los bandos de Catey, los que sobreviven en estado crítico entre la región de Caibarién y la Ciénaga de las Guayaberas (Cañizares *et al.*, 2006).

En las montañas del sur se localizan dos grandes regiones donde se reportan estos psitácidos. Las montañas de Trinidad-Topes de Collantes, con una superficie aproximada de 1,200 a 1,500 km² donde

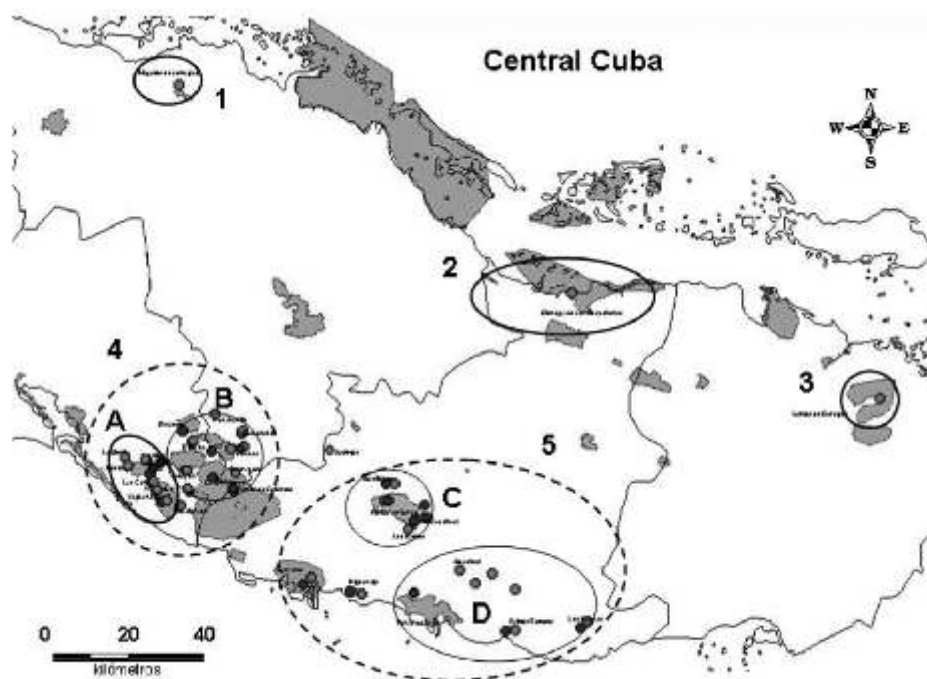


Figura 2. Áreas geográficas y localidades donde se registra la presencia de los psitácidos en la región central de Cuba. 1) Mogotes de Jumagua, 2) Ciénaga de las Guayaberas, 3) Lomas de Cunagua, 4) Región Trinidad-Topes (A: Valle de Yaguanabo; B: Topes de Collantes), 5) Región Banao-Romero (C: Alturas de Banao y Gavilanes; D: Palmar de Romero y Costa Sur). Las áreas protegidas se destacan en verde, incluidas las áreas propuestas para su aprobación. Los círculos azules representan las localidades con Cotorra y los rojos las localidades con Catey.

predominan los bosques siempreverdes de montaña; y la región de Banao-Romero, caracterizada por un mosaico de hábitat más variado que comprende desde bosques de montaña en Banao y Gavilanes hasta las sabanas inundables de Palmar de Romero en unos 2,000 a 2,200 km².

Para el caso del Catey, se considera que los registros en la región Trinidad-Topes de Collantes se refieren solo a tres bandos diferentes. Atendiendo a la movilidad de la especie y a la distancia entre las localidades, se asume que los registros de La Sierrita, Monforte, San Blas, Las Canas, Brichi, Yaguanabo y El Colorado se refieren a un único bando, al que llamaremos bando de Yaguanabo. Un segundo bando que se puede estar moviendo por Mayarí, El Mamey, Hanabanilla, Boquerones y Jibacoa y al que denominaremos bando de Jibacoa, y por último, un bando que es registrado en Topes de Collantes, Guanayara y Cuatro Vientos y que denominamos bando de Topes (Fig. 3).

Un cálculo independiente basado en el radio de movimiento de los individuos y que permite estimar el número de bandos (Cañizares *et al.*, 2006) arroja

una estimación de entre dos y tres bandos en la región, lo que coincide con la supuesta distribución de los bandos realizada siguiendo las agrupaciones por localidades.

Con relación al área de Banao-Romero (Fig. 4), la separación de grupos de localidades parece más clara, por lo cual se puede decir que también existen como mínimo tres bandos de Catey en esta región. Los bandos corresponden a las zonas de Alturas de Banao, Higuanojo-Tunas de Zaza y Palmar de Romero. Las cuatro localidades intermedias entre estas áreas (Guasimal, Sabanas Nuevas, Natividad y Peralejo) constituyen, probablemente, registros de la especie en sus movimientos hacia las áreas de alimentación.

En el análisis de la distribución de la Cotorra se deben considerar los siguientes aspectos de su ecología reproductiva: la Cotorra, a diferencia del Catey tiene una movilidad de sus bandos relativamente menor y anida de forma mucho más dispersa. En la región Trinidad-Topes estas diferencias no fueron tan marcadas y los criterios para definir los bandos en el Catey se cumplieron también para la Cotorra, por lo que creemos que en el

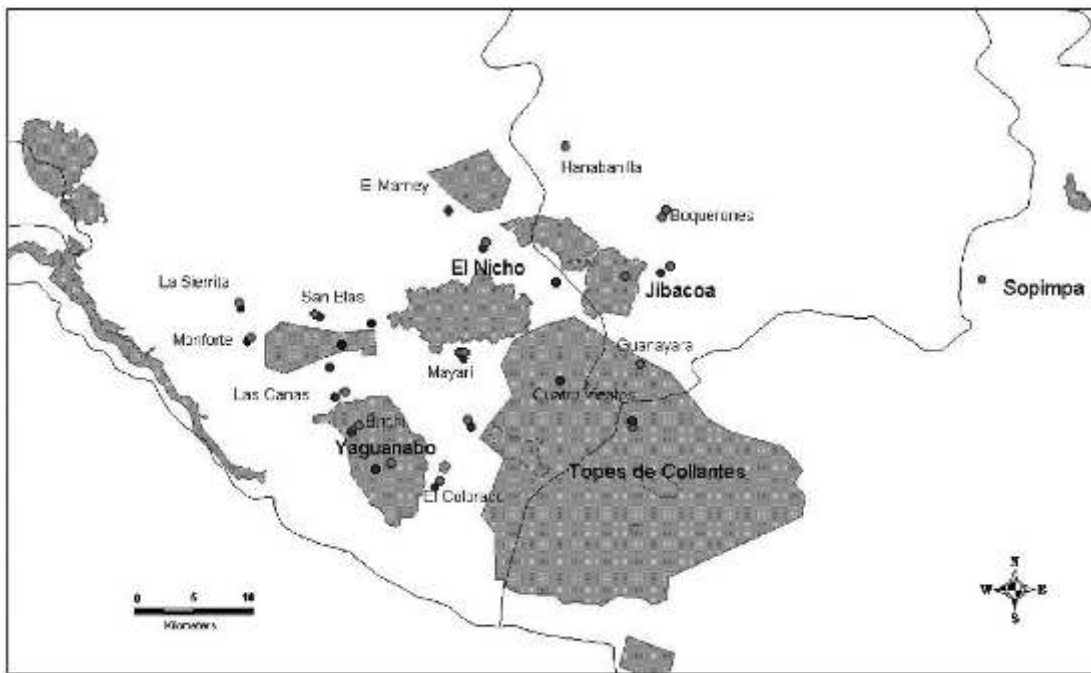


Figura 3. Región Trinidad-Topes de Collantes. Los círculos azules representan las localidades donde se registra la presencia de Cotorra y los rojos las localidades con Catey.

área hay como mínimo tres bandos de Cotorra. Sin embargo, en la región Banao-Romero, la Cotorra difiere del Catey en cuanto a la distribución de sus bandos, ya que anida por toda el área montañosa de Banao (Gavilanes, Hoyo del Naranjal, Cuarto Congreso, Cangalito, Cacahual y Jarico) y sus

movimientos son más limitados, mientras que el Catey solo anida en la localidad de Jarico pero se mueve por toda la región hacia el sur.

En la región Trinidad-Topes de Collantes

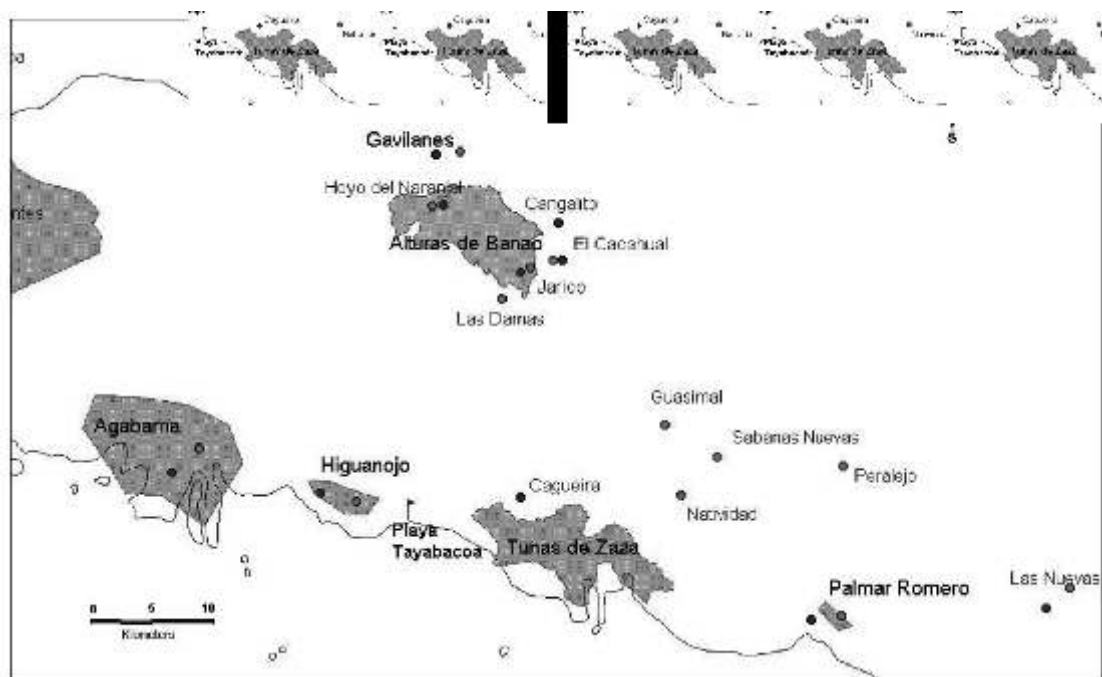


Figura 4. Región Banao-Romero. Los círculos azules representan las localidades donde se registra la presencia de Cotorra y los rojos las localidades del Catey.

confirmamos la presencia de cotorras y cateyes anidando en farallones de piedras. Este fenómeno fue registrado previamente para el Catey en El Nicho por Gálvez (1996), y para la Cotorra de Bahamas (*Amazona leucocephala bahamensis*), el uso de las oquedades del suelo para anidar ha sido bien documentado por Gnam (1991) en la isla de Abaco. Sin embargo, en Cuba este hecho se ha registrado hasta el momento únicamente en las montañas del centro, aunque en esta región, puede resultar un fenómeno localmente común en la mayoría de las localidades antes mencionadas (La Sierrita, San Blas, Río Chiquito, Yaguanabo Arriba, El Naranjo, Las Minas, El Colorado, Mayarí, El Mamey, Hanabanilla y Cuatro Vientos).

En la zona de Tayabacoa, Delta del Higuanojo y Delta del Alabama, por su parte, se confirmó la presencia de Cotorras anidando en el manglar, lo que podría estar sucediendo también como respuesta adaptativa de estas aves a la eliminación de sus sitios de nidificación originales en los palmares del área. Respuesta adaptativa o no, la realidad es que tanto en los inaccesibles farallones como en los intrincados parajes del interior del manglar, estas aves no encuentran refugio seguro para sus nidos contra la captura ilegal por parte de los pobladores locales que en ocasiones pueden capturar la mayor parte de los pichones de una temporada.

Estimación de la magnitud y efecto de las capturas de pichones

Se visitó el sitio de reproducción Palmar de Romero solamente una vez durante la temporada reproductiva. En esta localidad, se registró un total de nueve nidos activos o con señal de actividad reciente que fueron utilizados en la presente temporada de nidificación de los Cateyes (Tabla 1). Se comprobó la presencia de pichones volantes en tres nidos y uno de ellos abandonó el nido en nuestra presencia. De los nueve nidos encontrados, cinco mostraron algún tipo de daño provocado por los colectores de pichones: dos palmas taladas, una cavidad ampliada con un machete y dos trochas en la vegetación que conducían hasta dos palmas con nidos, las cuales fueron hechas por los buscadores de pichones que descubrieron los nidos.

De todas las áreas de reproducción visitadas durante la temporada de 2005, el Palmar de Romero es la que se localiza a mayor distancia (15 km.) de

Tabla 1. Resultado de nueve nidos de Catey encontrados en el Palmar de Romero

Nido	Actividad	Resultado
1	Pichones dentro del nido	Normal
2	Pichones dentro del nido	Normal
3	Pichones dentro del nido	Normal
4	Pichones dentro del nido	Normal
5	Tronco cortado	†
6	Tronco cortado	†
7	Entrada de la cavidad dañada	†
8	Trillo en la vegetación	†
9	Trillo en la vegetación	†

algún poblado vecino (San Carlos). Sin embargo, la ausencia de protección en esta área provoca que una gran proporción de los nidos (5 de 9 ó 55% en este caso) sean destruidos por los colectores que se enriquecen con el comercio local ilícito.

Aunque en las áreas de estudio sistemático las capturas de pichones disminuyen debido a la presencia de personal durante la investigación, la población rural manifiesta un marcado interés en estas aves como mascotas. En los poblados campesinos de Banao, Gavilanes, Romero y Yaguanabo, todos cercanos a áreas de reproducción de Catey y Cotorra, al realizar la entrevista relacionada con la tenencia y preferencia por estas aves (Tabla 2) se obtuvo como resultado que el 19.2% de los 94 campesinos entrevistados tuvieron o han tenido cotorras alguna vez y 9.6% tienen o tuvieron cateyes, mientras que a la mayoría de ellos les gustaría alguna vez tener cotorras o cateyes (79.8% y 72.3%, respectivamente).

Al comparar las preferencias por estas aves, se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre sexos, ya que aproximadamente 83.0% de los hombres y mujeres entrevistados quieren tener Cotorras y 71.7% de los hombres y 73.0% de las mujeres desean tener un Catey como mascota.

Al parecer, las acciones de conservación son las que marcan la diferencia en cuanto a estos índices, ya que Banao y Yaguanabo, que son las áreas donde se ha trabajado con estas especies son las áreas con menor proporción de personas que alguna vez han tenido a estas aves en cautiverio (7.8 y 4.0% han tenido Cotorras y Cateyes en Banao y 26.7 y 20%, respectivamente en Yaguanabo), mientras Gavilanes

Tabla 2. Resultado de las entrevistas acerca de la tenencia y preferencia de Cotorra y Catey en cuatro localidades de la región central.

Localidad	N	Cotorra		Catey	
		Tiene o tuvo	Quiere	Tiene o tuvo	Quiere
Banao	51	4 (7.8)	42 (82.3)	2 (4.0)	39 (76.5)
Gavilanes	19	7 (36.8)	15 (89.5)	3 (15.8)	13 (68.4)
Romero	9	3 (33.3)	7 (77.7)	1 (11.1)	7 (77.7)
Yaguanabo	15	4 (26.7)	11 (80.0)	3 (20.0)	9 (60.0)
Total	94	18 (19.1)	75 (79.8)	9 (9.6)	68 (72.3)

NOTA: Entre paréntesis se indica el porcentaje

y Romero son las áreas donde mayor porcentaje de pobladores ha tenido Cotorras como mascotas (36.8 y 33.3%, respectivamente). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas para la Cotorra ($X^2 = 5.55$; $P < 0.05$) y casi significativas para el Catey ($X^2 = 5.24$; $P < 0.10$).

Como resultado de las entrevistas, se pudo estimar que cuatro campesinos que se dedicaron al comercio de cotorras, capturaron solamente en la comunidad de Gavilanes durante la temporada de nidificación del 2004, un total de 60 a 80 pichones (15 a 20 pichones cada uno), que se vendieron aproximadamente en 200.00 pesos cada uno (\$ 8.00 USD) para un valor total de 12,000.00 a 16,000.00 pesos (\$ 520.00 a \$ 700.00 USD), lo que se refiere al comercio local en la comunidad, pues los precios en la capital del país pueden llegar a \$ 25.00 USD por ave. A nuestro juicio vale destacar que la comunidad de Banao posee cerca de 8,000 habitantes, de los cuales aproximadamente 6,000 son adultos. Si de esta población adulta, el 82.3% desea tener una Cotorra y el 76.5% un Catey, serían necesarios 4,938 pichones

de Cotorra o 4,590 de Catey para satisfacer esta demanda. Estos números crudos, pero no exagerados, dan una idea de la problemática actual que enfrenta la conservación de estas especies y la necesidad de trabajar directamente con las comunidades campesinas.

Con la información anterior y en coordinación con los grupos de educación ambiental que trabajan en las áreas, estamos elaborando un plan de educación ambiental más realista para la conservación de estas dos especies y sus hábitat, que ha incluido hasta el momento la ubicación de nidos artificiales en tierras privadas y la realización de actividades científicas y participativas con niños, jóvenes y adultos de la región.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece profundamente a los especialistas, técnicos y dirección de la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus. A Julio León Cabrera del Jardín Botánico de Cienfuegos, a IdeaWild y Optic for the Tropic y a LoroParque Fundación por el apoyo financiero para la investigación de campo y a la Red Mesoamericana de Psittaciformes por cubrir los gastos de participación en el II Simposio Mesoamericano de Psittaciformes. A Lucía Hechavarría por la revisión del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Alonso, M. 2003. Biología reproductiva del Catey (*Aratinga euops*) en el Refugio de Fauna "Monte Cabaniguán". Informe Técnico. Las Tunas, Cuba.
- Bécquer, E. 1993. Flora y vegetación de las Alturas de Banao. Informe Técnico: Flora y Fauna. Cuba.
- Berovides, V. y M. Cañizares. 2004. Diagnóstico del decline de los psitácidos cubanos y su posible solución. Revista Biología 18(2): 109-112.
- Cañizares, M. y J. Hilburn. 2002. The status and conservation of the Cuban Parakeet (*Aratinga euops*). Parrots 57: 51-55.
- Cañizares, M., V. Berovides, B. Planell y C. L. Reyes. 2006. Situación actual de las poblaciones del periquito cubano o Catey *Aratinga euops* (Aves: Psittacidae) en el Centro de Cuba. Mesoamericana 10(2): 26-36.
- Castillo, J. y R. Díaz. 2000. Poblaciones, alimentación y nidificación de *Aratinga euops* en el área protegida "Mogotes de Juamagua". Informe Técnico: Flora y Fauna. Cuba.
- Detlef, H. 2005. Der Kubasittich eine selten gehaltene Aratinga-Art. Gefiederte Welt 4: 102-105.

- Elphick, C., J. B. Dunning y D. A. Sibley. 2001. The Sibley Guide to Bird Life and Behavior. Chanticleer Press Edition, New York.
- Gálvez, X. 1996. Los psitácidos del archipiélago cubano. Flora y Fauna 10: 34-35.
- Gálvez, X., J. Rivera, F. Quiala y J. Wiley. 1998. Breeding season diet of the Cuban Parrot *Amazona leucocephala* in Los Indios Ecological Reserve, Isla de la Juventud, Cuba. Papageienkunde 2: 325-334.
- Gnam, R. S. 1991. Breeding biology of the Bahama Parrot *Amazona leucocephala bahamensis*. Ph. D. Thesis. New York University. New York, USA.
- González, H., D. Rodríguez y M. E. García. 1987. Ecología trófica y distribución de la Cotorra Cubana (*Amazona leucocephala leucocephala*), (Aves: Psittacidae) en la Ciénaga de Zapata. Serie Zool. 43: 1-16.
- Inguanzu, R. y B. Planell. (en prensa). Características de los sitios de nidificación del Catey en dos sitios del norte de Ciego de Ávila. Journal of Caribbean Ornithology.
- Wright, T. F., C. A. Toft, E. Enkerlin-Hoeflich, J. González-Elizondo, M. Albornoz, A. Rodríguez-Ferraro, F. Rojas-Suárez, V. Sanz, A. Trujillo, S. R. Beissinger, V. Berovides, X. Gálvez, A. T. Brice, K. Joyner, J. Eberhard, J. Gilardi, S. E. Koenig, S. Stoleson, P. Martuscelli, J. M. Meyers, K. Renton, A. M. Rodríguez, A. C. Sosa-Asanza, F. J. Vilella y J. Wiley. 2001. Nest poaching in Neotropical Parrots. Conservation Biology 15(3): 710-720.

HÁBITOS ALIMENTICIOS DE *Ara militaris* EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICORocío Martínez Domínguez¹ y Carlos Bonilla Ruz²

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. Calle Horno 1003, Indeco Xoxo. 71230 Xoxocotlán, Oaxaca, México, ¹xilhelj14@hotmail.com, ²cbonill@hotmail.com

RESUMEN

La población de Guacamaya Verde (*Ara militaris*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán representa una de las poblaciones más grandes del país. El estudio de sus hábitos alimenticios se ha realizado basándose en observaciones directas, indirectas y con entrevistas no estructuradas en cuatro áreas diferentes de alimentación. Se obtuvo un listado de 21 especies utilizadas por esta especie para su alimentación. El género *Bursera* tiene el mayor número de especies consumidas. Las especies más consumidas son *Ceiba aesculifolia*, *Cyrtocarpa procera*, *Bursera aptera* y *B. morelensis*. Los análisis de correlación entre el valor de uso, valor de importancia ecológica y la producción ponderada de cada especie, así como los del análisis de diversidad entre las estaciones del año y de similitud entre ellas arrojaron índices bajos ($r = 0.074$ valor de importancia; $r = 0.643$ producción ponderada; $H' = 0.7$; $S_j < 0.23$). A pesar de contar con una amplia gama de recursos en distintas épocas del año, la Guacamaya Verde es selectiva en su dieta y sus hábitos presentan una marcada estacionalidad, conforme utiliza diferentes áreas de alimentación a lo largo del año.

Palabras clave: *Ara militaris*, hábitos alimenticios, estacionalidad, Tehuacán-Cuicatlán, México

ABSTRACT

The Military Macaw (*Ara militaris*) in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve in México is one of the larger populations in the country. The study of its foraging habits was based on direct and indirect observations at four different feeding sites and on interviews with local people. A list of 21 species consumed by this species was obtained. The *Bursera* genus has the largest number of consumed species. The most common species were *Ceiba aesculifolia*, *Cyrtocarpa procera*, *Bursera aptera* and *B. morelensis*. The correlation between consumption, ecologic importance and weighed production values of species, besides the diversity and similarity analysis, resulted in low value indices ($r=0.074$ ecologic importance; $r=0.414$ weighed production; $H' = 0.7$; $S_j < 0.23$). Even though the Military Macaw relies on a wide source of species for feeding, it is very selective in its diet and its feeding habits have a remarkable seasonality, while using different feeding sites along the year.

Key words: *Ara militaris*, foraging habits, seasonality, Tehuacán-Cuicatlán, México

INTRODUCCIÓN

La distribución de la guacamaya verde comprende preferentemente regiones cálidas del Neotrópico, y está asociada a las selvas mediana subcaducifolia y baja caducifolia. También se ha registrado, aunque casi nunca como residente, en bosques de pino encino (Nocedal *et al.*, 2006), con intervalos altitudinales que van desde el nivel del mar hasta los 2,500 msnm (Álvarez del Toro, 1980; Howell y Webb, 1995; Iñigo-Eliás, 2000a; 2000b). A pesar de que

existen registros de poblaciones en 17 estados de la República Mexicana, su distribución en el país, parece encontrarse muy fragmentada. El aislamiento y reducción de sus poblaciones podrían conducir a serios problemas de conservación. Sin embargo, se sabe poco de su biología y existen pocos estudios sobre su alimentación, por lo que es necesario establecer programas de investigación y conservación de las últimas poblaciones silvestres que quedan en el país (Iñigo-Eliás, 2000a).

Se han registrado poblaciones en 15 Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas de Importancia para la Conservación de la Aves en México (AICAS), dentro de las que destacan la Presa Cajón de Peñas, Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Sótano del Barro y la Reserva Estatal El Cielo, por tener un mejor conocimiento de las poblaciones que en ellas habitan.

Hábitos alimenticios de la Guacamaya Verde

Sus hábitos alimenticios son principalmente frugívoros y granívoros, alimentándose de diversos tipos de frutos, semillas, brotes de hojas y ocasionalmente de insectos. Requieren de grandes extensiones de selva para alimentarse y anidar, por lo que generalmente se desplazan a grandes distancias (Iñigo-Eliás, 2000b). Es común que la guacamaya verde integre en su dieta plantas tóxicas de las familias Apocynaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Fabaceae y Bombacaceae, presentando estas tres últimas características vermífugas y digestivas. Además, se les ha observado consumir materiales arcillosos y se ha sugerido que este tipo de consumo posiblemente se deba a una forma de suplir minerales y elementos traza, o como medio para neutralizar las sustancias tóxicas ingeridas al alimentarse (Brightsmith, 2004; Brightsmith y Aramburú, 2004; Gilardi, 1999).

Los estudios realizados acerca de los hábitos alimenticios de la guacamaya verde han sido escasos. Se ha registrado en Colombia (Flórez y Sierra, 2004) el forrajeo de *Hura crepitans* (lechero o ceibo), *Bursera simaruba* (carate o indio desnudo) y *Bursera* sp. (almacigo). En México se tienen estudios de hábitos alimenticios, como el realizado en La Presa Cajón de Peña, Jalisco (Loza-Salas, 1997), quien registra el consumo de frutos de *Hura polyandra* (habillo), *Brosimum alicastrum* (capomo), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Spondias mombin* (ciruelo), *Couepia polyandra* (Zapotillo) y el bulbo de *Encyclia lancifolia* (orquídea epífita); Gaucín-Ríos *et al.* (1999), realizaron un trabajo en el Sótano del Barro, Querétaro, donde registraron nueve especies incluidas en la dieta de la guacamaya, entre ellos *Melia azedarach* (bola de parado), *Pseudobombax ellipticum* (mocoque) y *Lonchocarpus rugosus* (palo arco).

En la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, se han registrado un total de 29 especies en la dieta de

la guacamaya verde, entre las que se pueden mencionar a *Amphipterygium adstringens*, *Cyrtocarpa procera*, *Thevetia peruviana*, *Ceiba aesculifolia*, *Bursera aptera* y *Conzattia multiflora*, por mencionar algunas (Barrios, 2003; Aguilar, 2004; Carrera, 2005; Contreras-González y Arriaga, 2006).

OBJETIVO

Este estudio tiene como objetivo principal el describir los hábitos alimenticios de la guacamaya verde (*Ara militaris*) en Tehuacán-Cuicatlán, México, aportando información cuantitativa acerca de la selectividad y estacionalidad de éstos.

ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán se localiza en la zona central de la República Mexicana (17°20' a 18°53' N y 96°55' a 97°44' W). Está ubicada entre los estados de Oaxaca y Puebla. Tiene una superficie de 490,187 hectáreas. La región está delimitada al occidente por el borde de la Sierra Mixteca y al oriente por tres macizos montañosos: en la parte norte por la Sierra Zongolica, en la parte intermedia la Sierra Mazateca y al sur por la Sierra Juárez (Seriñá *et al.*, 2000) (Fig. 1).

El clima de la región de Cuicatlán es seco y la evaporación excede a la precipitación. De manera general, la temperatura media anual registrada va desde los 26 °C en localidades como Cuicatlán hasta los 6 °C en las máximas elevaciones al sureste de Tepelmeme. La precipitación total anual se registra de los 400 a los 500 mm en la mayor parte de la Reserva, y hasta los 1,500 mm en las partes más lluviosas de las serranías cerca de Coyula. El mes más lluvioso es julio en casi toda la región, pero puede ser junio o septiembre en algunos lugares, mientras que los meses menos lluviosos pueden ser febrero o marzo. La época más lluviosa del año coincide con la época más cálida (mayo a octubre) y la menos lluviosa con la época más fría (noviembre a abril (Reyes *et al.*, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en cuatro áreas diferentes utilizadas por la guacamaya para alimentarse, identificadas como zonas importantes de alimentación. Algunos datos sobre su ubicación y de su utilización por las guacamaya verde se indican en Bonilla *et al.* (en prensa).

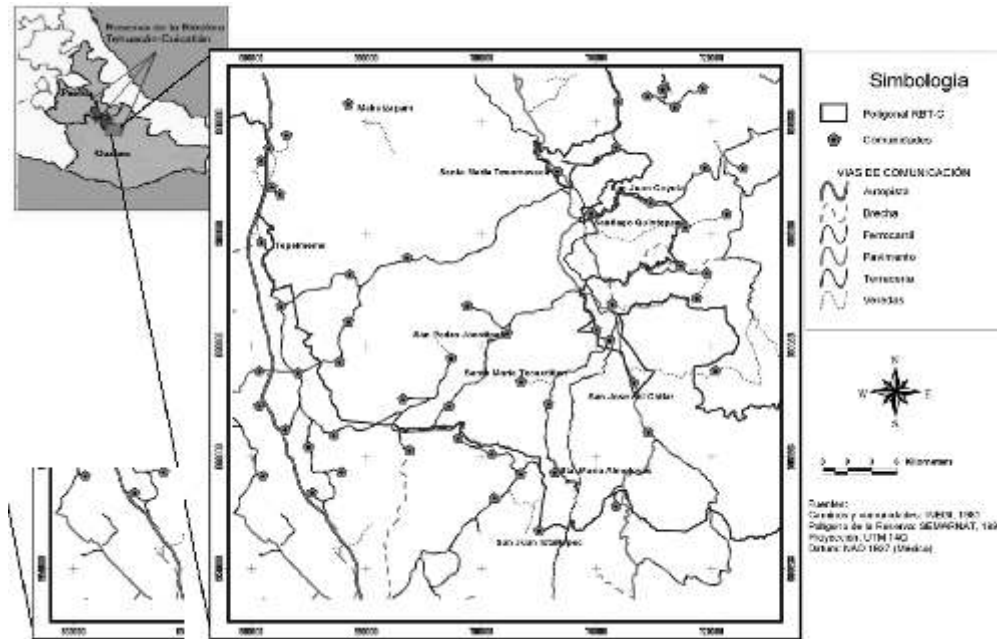


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México.

Durante 2006 y 2007, se llevaron a cabo 17 salidas de campo de tres a cinco días cada una ($= 4$), en las que se realizaron observaciones directas (con la ayuda de binoculares), principalmente en cuatro zonas de alimentación consideradas de mayor actividad para las guacamayas: Cañón El Sabino, Almoloyas, Quiotepec y Coyula. Adicionalmente se realizaron observaciones en otros sitios considerados de menor utilización, como la zona baja de Pápalo, la Peña de Octavio en Jocotipac y algunas barrancas al sureste de Atlatlahuca. El muestreo se llevó a cabo de las 6:00 a las 10:00 de la mañana y por las tardes de las 16:00 a las 18:30 horas. Se registraron datos acerca de la parte consumida, el número de individuos alimentándose y el tiempo dedicado a la conducta de forrajeo (Loza-Salas, 1997). Adicionalmente, se tomó en cuenta la información que los habitantes de la zona pudieron aportar sobre este tema, por medio de entrevistas no estructuradas.

Se obtuvo un valor de consumo a partir de las observaciones directas e indirectas, así como de las entrevistas no estructuradas. A fin de definir el nivel de selectividad de los hábitos alimenticios de la Guacamaya Verde se realizó un análisis de correlación con el método de Pearson entre los valores de consumo y los valores de importancia ecológica. De igual forma se correlacionó con el valor de la producción ponderada de cada especie (Pp/m^2).

Para establecer la variación espacio temporal de los hábitos alimenticios observados en cada uno de los sitios de alimentación a través de las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), se obtuvo el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') en cada sitio de muestreo, así como el índice de similitud entre cada una de ellas con el Coeficiente de Jaccard (S_j).

RESULTADOS

Hábitos alimenticios

Se realizaron observaciones directas de la guacamaya consumiendo *Bursera aptera*, *B. fagaroides*, *B. morelensis*, *Ceiba aesculifolia*, *Cyrtocarpa procerca*, *Jatropha oaxacana*, *Manihot pauciflora*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Catopsis* aff. *berteroniana*. De esta última se observó el consumo solamente del agua que contiene la base de las hojas. De igual forma se realizaron observaciones indirectas en frutos de *B. fagaroides*, *C. procerca*, *Thevetia peruviana* y en hojas de *Amphipterygium adstringens*. Por medio de entrevistas no estructuradas se obtuvieron los nombres de 10 especies de las cuales se supone consumen sus frutos.

Como resultado se obtuvo un listado de 21 especies utilizadas por la guacamaya verde para su alimentación, de las cuales siete fueron por observación directa, dos por observación indirecta,

dos por observación directa e indirecta y 10 por medio de entrevistas.

Se tuvo un total de 218 registros de forrajeo, de los cuales 173 fueron por observación directa, cinco por observación indirecta y 40 por entrevista. Las especies con mayor valor de consumo fueron *Ceiba aesculifolia* en Almoloyas y Quiotepec, *Bursera aptera* en Quiotepec, *Cyrtocarpa procera* en El Sabino, y *Bursera cinerea* en Coyula. En su conjunto el género *Bursera* es el de mayor consumo.

Del análisis de correlación entre el valor de consumo y el valor de importancia ecológico obtenido en el análisis de la vegetación, se obtuvieron los valores de coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.074$) y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.005$). Igualmente el análisis de correlación entre el valor de consumo y el valor de producción ponderada (Pp/m^2), dio como resultado los valores del coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.643$) y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.414$).

Estos resultados definen la no correlación entre el valor de consumo con el valor de importancia ecológica o con la producción ponderada que dichas especies tienen en el medio. La interpretación directa es que la guacamaya verde incluye una variedad de especies de plantas dentro de su dieta, que no son siempre las más abundantes, importantes o de mayor producción dentro del estrato arbóreo, lo que sugiere que es selectiva al consumir sus alimentos.

Estacionalidad

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, los hábitos alimenticios de la guacamaya verde a lo largo de las estaciones del año muestran cambios conforme avanza el tiempo y éstas utilizan diferentes sitios para alimentarse y que a continuación se detallan.

Invierno. En este periodo se realizaron las observaciones en San Juan Coyula y Atlatluca. Los resultados indican que esta estación es la que presenta mayor número de especies consumidas por la guacamaya verde, de las cuales se destaca el consumo de frutos de *Bursera cinerea* y *Celtis caudata*, así como la observación del consumo del agua contenida en la base de la hojas de una bromelia (*Catopsis aff. berteroniana*).

Primavera. De abril a junio la guacamaya verde se alimenta principalmente en las localidades de

El Sabino, Pápalo y Quiotepec. Si bien se tiene registro del consumo de nueve especies, las semillas de dos de ellas, *Bursera aptera* y *Ceiba aesculifolia* parecen ser con mucho las más consumidas. Siendo en menor grado el consumo de frutos y hojas de *Cyrtocarpa procera*, al final de esta temporada.

Verano. Durante los meses de julio a septiembre solo se hicieron observaciones en El Sabino. En este periodo se observó el consumo de cinco especies, entre ellas el consumo de semillas de *Cyrtocarpa procera* y *Jatropha oaxacana*. Esta es la estación donde se observó el menor número de especies consumidas.

Otoño. Las observaciones en esta estación se realizaron de noviembre a diciembre en Santa María Almoloyas. Como resultado se obtuvieron a seis especies de las cuales destacan *Bursera morelensis* y *Ceiba aesculifolia*.

La medida de la diversidad de los hábitos alimenticios de la guacamaya verde en cada estación del año (Shannon-Wiener, H'), indica que la estación con mayor diversidad fue el invierno con un valor de $H' = 0.7$, seguida por la primavera con un $H' = 0.67$, el verano con un $H' = 0.59$ y la de menor diversidad fue el otoño con un $H' = 0.45$. Estos valores bajos apoyan el resultado de una elevada selectividad en los hábitos alimenticios de la guacamaya verde en la zona de estudio.

El Coeficiente de Jaccard (S_j) presentó un valor máximo de similitud entre otoño y verano ($S_j = 0.22$), al contrario del valor presentado entre el verano e invierno en donde el índice de similitud fue de 0. De acuerdo con estos resultados, los hábitos alimenticios de la guacamaya verde indican una marcada estacionalidad.

CONCLUSIONES

Los análisis de correlación entre el valor de consumo, el valor de importancia ecológica del estrato arbóreo y con el valor de producción ponderada no mostraron correlación alguna, lo que describe a la *Ara militaris* como marcadamente selectiva en la búsqueda de su alimento. Esto último se corrobora con los índices de diversidad obtenidos por cada estación.

En relación con las especies empleadas como alimento por la guacamaya verde, el invierno es la

estación más diversa y el otoño el menos diverso. Por otro lado, el otoño y verano son las estaciones de mayor similitud y los de nula similitud fueron el verano e invierno. El análisis de la estacionalidad de los hábitos alimenticios permitió describir de que forma estos se modifican a lo largo del año e identificar las especies más importantes en cada estación, además de relacionar estos cambios con los distintos sitios empleados para alimentarse.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, V. 2004. Preferencias en los hábitos alimenticios de la guacamaya verde (*Ara militaris*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Memoria de Residencia Profesional. Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico Agropecuario. Nazareno, Oaxaca, México.
- Bonilla-Ruz, C., G. Reyes-Macedo y R. García. 2007. Observations of the Military Macaw (*Ara militaris*) in Northern Oaxaca, Mexico. *Wilson Bulletin* 119(4):731-734.
- Álvarez del Toro, M. 1980. Las aves de Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas. México.
- Barrios, S. S. 2003. Datos preliminares de los hábitos alimenticios de la guacamaya verde (*Ara militaris*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Memoria de Residencia Profesional. Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico Agropecuario. Nazareno, Oaxaca, México.
- Brightsmith, D. J. 2004. Effects of diet, migration, and breeding on clay lick use by Parrots in Southeastern Peru. En: American Federation of Aviculture. Annual Convention Proceedings 2004. San Francisco, CA. p. 13-14.
- Brightsmith, D. J. y R. Aramburú. 2004. Avian geophagy and soil characteristics in Southeastern Peru. *Biotropica* 36: 534-543.
- Carrera, M. J. 2005. Migración de la guacamaya verde (*Ara militaris*) entre barranca del chilar y cañón del Tomellín, Cuicatlán, Oaxaca. Memoria de Residencia Profesional. Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico Agropecuario. Nazareno, Oaxaca, México.
- Contreras-González, A. M. y M. C. Arriaga A. 2006. Dieta y disponibilidad de alimento de *Ara militaris* en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Proceedings of the IV North American Ornithological Conference, Veracruz, México.
- Flórez, P. y A. Sierra. 2004. Iniciativa para la conservación de la guacamaya verde (*Ara militaris*) y su hábitat en el Occidente de Antioquia, Colombia. www.proaves.org.
- Gaucín-Ríos, N., E. Iñigo-Elías, J. Treviño, B. Zuñiga, G. Sifuentes, L. Carmona y M. A. Sánchez. 1999. Biología de la conservación de la guacamaya verde (*Ara militaris*) en el Sótano del Barro, Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. Informe final de proyecto. www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/nfl204.pdf.
- Gilardi, J. D., S. S. Duffey, C. A. Munn y L. A. Tell. 1999. Biochemical functions of geophagy in Parrots: Detoxification of dietary toxins and cytoprotective effects. *Journal of Chemical Ecology* 25: 897-922.
- Howell, S. y S. W. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. New York, USA: Oxford University Press.
- Iñigo-Elías, E. 2000a. Estado de conservación de las guacamayas verdes (*Ara militaris*) y escarlata (*Ara macao*). <http://www.audubon.org/local/latin/Bulletin6/feature-desp.html>. México.
- Iñigo-Elías, E. 2000b. Guacamaya verde (*Ara militaris*). En: Cevallos, G. y V. L. Márquez (eds.). Las aves de México en peligro de extinción. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. p. 213-215.
- Loza-Salas, C. A. 1997. Patrones de abundancia, uso de hábitat y alimentación de la guacamaya verde (*Ara militaris*), en la presa Cajón de Peña, Jalisco. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Nocedal, J., D. Sierra y S. I. Arroyo. 2006. Es la guacamaya verde realmente un ave tropical? Nidificación y alimentación en bosques templados de pino-encino del sur de Durango, México. Proceedings of the IV North American Ornithological Conference, Veracruz, México. Publicación electrónica. www.aou.org/meetings/abstracts/AOU_Meeting_Abstacts_124_2006_NAOC.pdf

- Reyes, S., J. C. Brachet, J. Pérez y A. Gutiérrez. 2004.
Cactáceas y otras plantas nativas de la Cañada
Cuicatlán, Oaxaca. Sociedad Mexicana de
Cactología A. C. México, D. F.
- Seriñá, G. F., J. M. Salazar y A. M. Acuña. 2000.
Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.
Revista El Tecolote 7(9): 59-63.

HACIA UN COMPORTAMIENTO, UNA CULTURA Y UNA ÉTICA AMBIENTAL

Olivier Chassot^{1,2} y Guisselle Monge Arias^{1,2}

¹Centro Científico Tropical, ²Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación, Apartado 8-3870-1000, San José, Costa Rica, investigacion@cct.or.cr

RESUMEN

Hoy día pocos ciudadanos con acceso a la información ignoran los efectos del cambio climático y la cercanía del abismo que puede conducir el ser humano a destruir el planeta. Si no cambiamos drásticamente y rápidamente de rumbo, es probable que nuestros hijos o nietos no tengan la capacidad de sobrevivir en una biosfera hostil. En este estudio analizamos la actitud y comportamiento ambiental del ser humano. El comportamiento depende del grado de educación y del nivel económico de la persona, depende de las enseñanzas que haya recibido sobre el ambiente y de los procesos de aprendizaje que haya vivido. Según la conciencia ambiental de cada ser humano, los valores, actitudes y comportamientos permiten construir juicios. El ser humano ha llegado a un punto de no regreso como especie dominante en el planeta Tierra, y ha causado tal crisis ambiental que por fin empieza a generar un conocimiento ambiental que resulta como un llamado a la reconstrucción ecológica de nuestro planeta.

Palabras clave: comportamiento ambiental, comportamiento cultural, ética ambiental, educación ambiental, desarrollo sostenible, valores

ABSTRACT

Nowadays few citizens with access to information ignore the effects of the climate change and the proximity of the abyss that can lead human beings to destroy the planet. If we do not change our course drastically and quickly, it is likely that our children or grandsons will not have the capacity to survive in a hostile biosphere. In this study, we analyze the environmental attitude and behavior of the human being. Behavior depends on the level of education and on the economic level of the person, it depends on the teaching that we have received about the environment and on the learning processes that we have experienced. According to the environmental consciousness of each human being, values, attitudes and behaviors allow to construct judgments. The human being has reached a point of no-return as a dominant species on Planet Earth, and has caused such an environmental crisis that he finally begins to generate an environmental knowledge that results as a call for the ecological reconstruction of our planet.

Key words: environmental behavior, cultural behavior, environmental ethics, environmental education, sustainable development, values

INTRODUCCIÓN

El ser humano ha fallado en ubicarse como ser ecológico. El racionalismo pervertido se ha apoderado de muchas esferas de nuestra cultura: el sistema económico, por ejemplo, trabaja de la mano con una ciencia instrumental y productivista que apunta a la predicción del beneficio y al dominio, ella

misma como producto de nuestra propia cultura (Simmons, 1997), particularmente en un mundo cada día más globalizado (Singer, 2002). Esto a su vez, crea probablemente un espejismo cultural del poder sobre lo “salvaje” del que nos empeñamos en domesticar, canalizar, reducir y controlar.

En la actualidad, pocos gobiernos, agencias internacionales o ciudadanos con acceso a la información, ignoran los efectos del cambio climático y el estado de emergencia de la situación ecológica y la cercanía del abismo que puede conducir al ser humano a destruir el planeta. A pesar de esto, son pocos los cambios notables que llevan a pensar que existe un clima propicio en actuar en favor de un cambio real sobre nuestra manera de disponer de los recursos naturales.

Abogamos por una revolución cultural, política, social y económica, concientes de que si no cambiamos drásticamente y rápidamente de rumbo, es probable que nuestros descendientes no tengan la capacidad de sobrevivir en una biosfera hostil. Muchas veces, el conflicto entre la humanidad y la naturaleza no es nada más que una extensión del conflicto entre seres humanos, y a no ser que el movimiento ecológico tome en cuenta el problema de la dominación en todos sus aspectos, no podrá realmente contribuir a la erradicación de las causas principales de la crisis ecológica. Esta es una crisis común que afecta a todos los seres humanos y que requiere romper las divisiones sociales (Corraliza y Aragonés, 2002). Sin embargo, el problema principal radica en que la acción común no necesariamente podrá aproximarse a las soluciones, debido a que las clases políticas y económicas que causaron gran parte de la situación actual son las que detienen este mismo poder y bloquean el proceso de búsqueda de soluciones, debido a su insuficiente inclinación en cambiar su actitud y el rumbo de la carrera para la acumulación de bienes. O bien, como lo señalan Heath y Gifford (2006), debido a la relación establecida por los investigadores entre el apoyo a la ideología del libre mercado y las creencias sobre el cambio climático, que es mediado por una marcada apatía ambiental.

Es importante resaltar, que el desarrollo sostenible se refiere al hecho de aumentar simultáneamente los valores económicos, sociales y medioambientales de la sociedad (Wiesenfeld, 2003). En este sentido, la continuidad y sostenibilidad de una empresa u organización puede calcularse haciendo una estimación del valor neto de su incidencia económica, social y medioambiental en la sociedad. ¿Pero en qué medida este concepto tan utilizado por los políticos llega a ser una realidad?

¿En qué momento podremos decir que existe realmente un equilibrio entre el ser humano y el uso de los recursos naturales, y que con ello lograremos un mundo mejor?

En este ensayo, se abordará el concepto de comportamiento ambiental principalmente en sus facetas psicológicas, culturales, sociales, educativas y éticas, aunque, como también se verá, este tema está vinculado con todas las manifestaciones sociales. En este sentido, los aportes de la psicología ambiental son determinantes y abren la vía a una serie de investigaciones (Valera, 2002) que, con el tiempo, lograrán proponer modelos eficientes y aptos a incidir en el cambio deseado de comportamiento hacia el ambiente, el cual permitirá preservar la biosfera, incluyendo al mismo ser humano.

De forma general, la actitud ambiental es el determinante más poderoso del comportamiento ambiental (Kaiser *et al.*, 1999; Gatersleben *et al.*, 2002).

COMPORTAMIENTO AMBIENTAL

CONCEPTO

El comportamiento ambiental es la forma en que los seres humanos se comportan ante el ambiente, el cual depende del grado de educación y del nivel económico del ser humano y de las enseñanzas que éste haya recibido sobre el ambiente y de los procesos de aprendizaje que haya vivido. También depende de factores situacionales y de factores personales (Corraliza y Berenguer, 2000). Algunos comportamientos anodinos desde la perspectiva individual se revelan desastrosos cuando son de índole colectiva (Gardner y Stern, 2002). De acuerdo con Corraliza y Berenguer (2000), los determinantes del comportamiento ambiental individual son los valores y creencias ambientales, las cuales se definen sobre la relación costo-beneficio. En este sentido, Lubell (2002) indica que el comportamiento del activismo ambiental es función de las creencias de los ciudadanos sobre los beneficios colectivos, la habilidad de producir resultados colectivos y los costos y beneficios selectivos de la participación, por lo que las investigaciones psicosociales hacen referencia, en lo general, al comportamiento ambiental individual más que al comportamiento ambiental de las sociedades.

PERSPECTIVA

Los temas ambientales forman parte del universo de nuestras preocupaciones. Existe una relación entre las dimensiones de la crisis ambiental y el ser humano (Corraliza y Aragonés, 2002). Muchos problemas ambientales tienen soluciones comportamentales. No fue sino hasta que el ser humano se dio cuenta de la crisis ecológica en la cual el mundo está inmerso, decidiendo actuar para mitigar esos cambios. Cada día la preocupación del ser humano crece ante los efectos del cambio climático, la extinción de especies, el calentamiento global o la disminución de la capa de ozono, entre otras amenazas globales. Hoy en día, la perspectiva en cuanto al comportamiento ambiental es diferente, existen en el planeta más personas concientizadas que intentan contribuir a un buen uso de los recursos naturales con el fin de evitar su agotamiento. Al mismo tiempo este tipo de personas tratan de concienciar a los individuos en su círculo de influencia y así aumentar el grado de conciencia ambiental.

CONOCIMIENTO, ACTITUDES Y COMPORTAMIENTO

Los valores, actitudes y comportamientos permiten construir juicios de diferentes maneras, de acuerdo con la conciencia ambiental de cada ser humano. Se trata de una relación compleja, y a pesar de una cantidad apreciable de estudios y marcos teórico-conceptuales, la cuestión permanece compleja, por lo que no se ha podido establecer una correlación directa entre conocimiento y preocupación ambiental. La relación de esta triada, conocimiento-actitud-comportamiento, depende de una compleja combinación de factores psicológicos y sociológicos que se configuran específicamente, por lo que tiene serias implicaciones en la educación ambiental (Nieto, 2004).

En el caso de comportamiento ambiental, la falta de relación actitud-conducta suele vincularse a dos tipos de motivos: uno basado en los métodos y el otro relacionado con la teoría. En adolescentes de la costa oeste de los Estados Unidos de América, Meinhold y Malkus (2005) encontraron que la actitud pro ambiental predecía significativamente el comportamiento ambiental. Es difícil analizar el hecho de que hoy en día existe mucha conciencia y conocimiento en muchas personas, pero sus actitudes son contradictorias y, muchas veces, no actúan para mejorar su aptitud en beneficio del medio ambiente.

EVOLUCIÓN DEL COMPORTAMIENTO AMBIENTAL

HISTORIA

Desde principios del siglo pasado, se ha venido indicando cómo ciertas cualidades del ambiente actúan e inducen a una gran variedad de comportamientos en los seres humanos, mencionándose entre los principales: el clima, la densidad de población, la calidad del aire y el ruido, entre otros. Lastimosamente, el mundo ha evolucionado y con este, el ser humano también, el cual se permite disponer cada vez más a su antojo de los recursos naturales, ocasionando la disminución y deterioro de los mismos, poniendo así a las generaciones actuales y futuras en peligro (Wenz, 2001). Conforme más conocimiento el ser humano ha ido generando sobre el medio ambiente, más uso y abuso ha ido haciendo de este sin darse cuenta que los recursos naturales son agotables y que tarde o temprano se percibirán las secuelas de su uso irracional, ya que cada vez hay más habitantes en el planeta que implican un mayor uso de los recursos, por lo que su agotamiento dependerá de nuestro comportamiento y de nuestra conciencia ambiental.

ACTUALIDAD

El ser humano ha llegado a un punto de no regreso como especie dominante en el planeta Tierra, y ha causado tal crisis ambiental que por fin ha generado un conocimiento ambiental que resulta como un llamado a la reconstrucción ecológica del mismo, por lo que lo más importante consiste en saber actuar y hacerlo en el momento indicado. Es por ello, que la mentalidad de las personas ha cambiado y se empiezan a notar acciones significativas en favor de la protección y de la conservación de los recursos naturales. Actualmente, se brinda mucha educación ambiental en las escuelas y comunidades, y existe bastante divulgación y propaganda en los medios que nos alertan sobre los cambios climáticos, el calentamiento global, el efecto de invernadero provocado por la disminución de la capa de ozono, y la extinción de especies de flora y fauna. Todo ello nos vuelve cada vez más concientes de nuestra forma de actuar y de sus consecuencias.

IMPORTANCIA DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL

En la educación ambiental, lo mismo que en la

educación liberadora, todos somos aprendices y maestros. Pero ese proceso de transmisión de saberes siempre se da dentro de relaciones de poder de quien detenta un saber, de relaciones de dominación maestro-alumno, de relaciones de autoridad y de prestigio por la propiedad de un saber codificado, aprobado y certificado.

Se dice que la meta de la educación ambiental consiste en formar una población consciente y preocupada por el medio y por los problemas relativos a este; hablamos de una población que tenga los conocimientos, las competencias, la predisposición, la motivación y el sentido de responsabilidad que le permita trabajar individual y colectivamente en la resolución de los problemas que amenazan al mundo.

Es muy alentador darse cuenta que existen muchos programas de educación ambiental y de concientización que están llegando a las escuelas y a las comunidades, por lo que la sensibilización ambiental es imprescindible, pero no es suficiente (Pol y Castrechini, 2002). En este sentido, en la última década se ha dedicado mucho tiempo a llevar a cabo programas de educación ambiental exhaustivos, sin embargo nos damos cuenta que sabemos pero no actuamos. En este sentido, Pooley y O'Connor (2000) resaltan que las acciones de educación ambiental deben de llamar a las emociones y creencias de las personas, más que limitarse a inculcar conocimientos, para poder de forma efectiva cambiar las actitudes y comportamientos ambientales. Además, estas deben de actuar sobre la orientación a futuro de las consecuencias de las decisiones del ser humano sobre el manejo y uso sostenible de los recursos naturales, tal como lo ilustra la investigación de Joireman *et al.* (2004) sobre los estímulos de las preferencias del consumidor.

Para poder modificar el comportamiento ambiental de los individuos, un sistema de incentivos y desincentivos combinado con recompensas y castigos puede resultar eficiente (Nickerson, 2003), utilizando mecanismos tan variados como legislación, regulaciones, deducción de impuestos, tasación y persuasión.

CULTURA Y ÉTICA AMBIENTAL

NIVEL DE EDUCACIÓN

Parte de nuestra cultura y ética radica en el grado de educación que tengamos y en nuestra condición socioeconómica. Son años de estudio que nos permiten diferenciar entre lo que es bueno y lo que es malo para el ambiente, mucha gente del campo no tiene el conocimiento suficiente para saber que poner químicos en sus hortalizas para que crezcan rápida y fuertemente atenta contra el ambiente. Muchos indígenas, por cultura, sacrifican especies que quizás para los científicos están en peligro de extinción, pero que para ellos forman parte de sus rituales cotidianos. Es por esta razón que una diseminación apropiada y adaptada del conocimiento es fundamental para poder generar en los sujetos la adopción de prácticas ambientalmente adecuadas. Cuando la educación se cristaliza alrededor de un problema ambiental específico puede tener el poder de generar una reflexión que a su vez produzca un movimiento individual y colectivo en favor de la resolución dinámica y responsable de tal problema.

CONCIENCIA AMBIENTAL

En la actualidad existe una preocupación creciente por el deterioro que ha sufrido el medio ambiente y las repercusiones que esto ocasiona sobre el ser humano. Es por esto que se ha encaminado una diversidad de actividades con el fin de mejorar y preservar las interacciones entre ser humano y medio ambiente (Acosta *et al.*, 2001).

Los valores, actitudes y comportamientos permiten representar juicios de diferentes maneras, de acuerdo con la conciencia ambiental de cada ser humano, por lo que dependiendo de la formación de cada ser humano y su nivel socioeconómico, así será su conciencia ambiental (Díaz y Beerli, 2005), siendo esta última la que permite a las personas convivir con el entorno, preservarlo y utilizarlo de acuerdo con sus necesidades sin comprometer con ello la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (desarrollo sostenible). Con base en ello, es importante pensar en los que vienen detrás de nosotros más que en nosotros mismos (Corraliza y Berenguer, 2002).

Los especialistas en psicología ambiental han abordado el estudio de una significativa variedad de conductas ecológicas responsables, entre ellas: reducción del consumo de productos, reutilización y reciclaje de objetos, uso racional de energía y agua,

cuidado de animales y plantas e involucramiento de las personas en movimientos de preservación del ambiente. Actualmente algunos temas ecológicos sobre la protección y conservación de los recursos ambientales se han centrado en áreas temáticas, como el manejo de los residuos reciclables y desechos sólidos, el uso eficiente de energéticos, la contaminación del aire y la conservación de los suelos. Esta parte del comportamiento ambiental se explica a partir de la afinidad emotiva hacia el medio ambiente (Kals *et al.*, 1999).

En sociología, uno de los temas centrales relacionado con el medio ambiente desde sus primeros momentos ha sido el estudio de la adquisición por la población de una conciencia ambiental y de un comportamiento ambiental que conlleva a la formación de actitudes y comportamientos cuidadosos con el medio ambiente y los factores que facilitan u obstaculizan el desarrollo de estas orientaciones ecológicas. Esta, muchas veces, varía tanto geográficamente (Stedman, 2002), contextualmente (McFarlane y Hunt, 2006), espacialmente (Blake, 2001), así como con la variación étnica de los sujetos (Jonson *et al.*, 2004), y depende fuertemente del vínculo del sujeto con un lugar particular asociado con un tipo específico de ambiente, ya sea natural, urbano o rural (Lutz *et al.*, 1999; Vorkinn y Riese, 2001; Wiesenfeld y Giuliani, 2002). Cabe resaltar que no se ha encontrado correlación positiva entre producto nacional bruto (PNB) y grado de conciencia ambiental nacional en un estudio realizado en 21 países (Diekmann y Franzen, 1999).

Pareciera existir además una influencia significativa de factores externos generales tales como las influencias culturales y las normas sociales (familia, grupos de amigos, gremios profesionales), las cuales pueden ejercer una presión fuerte y contraria en sujetos cuya actitud es generalmente pro ambiental. De hecho, el contexto social es la única variable que aumenta significativamente el comportamiento ambiental (Olli *et al.*, 2001). Por esto, es necesario considerar el peso de los valores personales y de las creencias sobre la posibilidad de adoptar un comportamiento ambientalmente amigable.

Compromiso y responsabilidad

En la actualidad, después de que cada ser humano ha escuchado por alguna fuente lo preocupante de la situación ambiental, es casi seguro que cada uno de nosotros tiene algún grado de conciencia y responsabilidad por el uso irracional de los recursos naturales. Existen muchas campañas, como por ejemplo para el ahorro del agua, que deberían de hacer conciencia en cada uno de nosotros de tal forma que nos preocupemos más por ahorrar este preciado recurso en nuestros hogares y en nuestros lugares de trabajo.

La intención de actuar de forma ambientalmente responsable puede depender del conocimiento, del locus de control, de la responsabilidad personal y de la actitud. Más que todo, el grado de responsabilidad es predicción del comportamiento ambiental (Kaiser y Shimoda, 1999), aunque en el caso que nos ocupa, una dificultad consiste en que la responsabilidad del sujeto puede ser de orden tanto moral (factor interno) como convencional (factores externos).

VALORES CONTEMPLADOS EN EL COMPORTAMIENTO AMBIENTAL

De acuerdo con las investigaciones de Grob (1995), los efectos más fuertes sobre el comportamiento ambiental derivan de las emociones y de los valores personales filosóficos, en donde no encontró ninguna relación entre conocimiento factual y comportamiento ambiental (Tabla 1).

MODELOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y COMPORTAMIENTO AMBIENTAL

Responsable

Al reflexionar sobre los diferentes tipos de modelo, para la mayoría de nosotros, el modelo de desarrollo sostenible y su cumplimiento ha fallado o bien ha sido mal empleado. Los recursos naturales se siguen deteriorando y acabando a la misma vez que continuamos hablando de desarrollo sostenible en el mundo. Este modelo de desarrollo sostenible nació gracias a organizaciones cuyo interés ha sido la conservación de los recursos del planeta en aras de la conservación de la vida de las generaciones futuras. Lo más interesante es que el concepto hoy en día incluye además de la dimensión ambiental, las dimensiones económicas y sociales, pero cabe preguntarnos si estaremos alcanzado la estabilidad ambiental?

Desarrollo sostenible y comportamiento

Tabla 1. Algunos valores contemplados en el comportamiento ambiental.

Valores instrumentales	Valores terminales
Amor a las personas	Un mundo en paz
Amor por la Tierra	Seguridad nacional
Comportamiento ecológicamente positivo	Seguridad familiar
Responsabilidad	Un mundo de belleza
Educación ambiental	Ecosistema en equilibrio total (en el que la intervención del hombre favorezca el desarrollo ecológico de la Tierra)
Compromiso	Uso sostenible

ambiental

Hace treinta años se empleó por primera vez el término “desarrollo sostenible”, un desarrollo en donde se satisfacen las necesidades básicas de la población sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras (Wiesenfeld, 2003). Mucho tiene que ver nuestro comportamiento en relación con el ambiente y el desarrollo sostenible, por lo que actualmente el mundo está viviendo una serie de problemas ambientales. La actividad humana se ha incorporado como elemento constitutivo del hábitat, lo que trajo como consecuencia un cambio en la forma de concebir el comportamiento ambiental desde el punto de vista del desarrollo sostenible, superando la idea conservacionista actual. La naturaleza tiene un valor intrínseco, pero no es posible proteger el medio ambiente, ni social, ni políticamente, sin desarrollar la sociedad (Corral-Verdugo *et al.*, 2004).

FORMAS DE MEDICIÓN DEL COMPORTAMIENTO AMBIENTAL

Existen varias formas de medición del comportamiento ambiental, siendo las más comunes y eficientes la evaluación por medio de encuestas o entrevistas directas a las personas, siendo una técnica utilizada en los programas de educación ambiental, tanto en las escuelas como en las comunidades.

La evaluación de comportamientos permite representar juicios de diferentes maneras, por lo que el planeamiento de dicha evaluación puede ser un proceso complejo y cíclico. Se deben de identificar las preguntas claves para el estudio, además de decidir sobre las medidas y técnicas más adecuadas para contestar las preguntas. La evaluación es un proceso que proporciona información para hacer los ajustes

necesarios en el proceso de enseñanza. Evaluar es una tarea muy delicada y compleja ya que al evaluar, se pone en juego un conjunto de actitudes, predisposiciones e inclusive prejuicios por parte del investigador que deben ser considerados con el mayor equilibrio u objetividad posible. En la enseñanza, por ejemplo, la evaluación requiere un proceso sistemático que implica la aplicación de principios, métodos e instrumentos que permitan acercarse a la mayor objetividad posible. Esos métodos y técnicas de evaluación dependerán en mucha medida del sentido y de la forma que se le dará a la evaluación, por lo que deberán ser fiables y válidos debido a que en muchos casos condicionan la viabilidad y el éxito de un proyecto educativo.

De acuerdo con Kaiser *et al.* (1999), los dos tipos de actitud ambiental que determinan más estrechamente el comportamiento ambiental son: 1) Actitudes hacia el medio ambiente, y 2) Actitudes hacia el comportamiento ecológico.

CONCLUSIONES

En el cotidiano se ponen constantemente en práctica muchos valores y actitudes. No nos damos cuenta de ello, porque es un fenómeno muy natural, pero quienes estudian este tema pueden analizar estas situaciones y derivar modelos replicables. Lo importante del proceso de evaluación es poder medir y lograr ajustes para el mejor funcionamiento de nuestro vivir diario. En esta perspectiva, es sumamente necesario que el proceso de evaluación sea lo más preciso y conciso posible, y que a su vez permita medir variables sencillas de forma práctica.

Los valores, actitudes y sobre todo el comportamiento del ser humano son realmente extraordinarios. Estos pueden ser definidos a lo largo

de nuestro crecimiento, por eso consideramos que la parte más importante en la vida de un ser humano está en la educación, la cual empieza en nuestros hogares, ya que es en ese lugar en donde cada miembro de la unidad familiar es formado en primera instancia. Los niños tienen sus mentes muy abiertas y generalmente asimilan nueva información muy rápidamente, sobre todo debido a que ellos imitan a sus padres, por lo que es ahí la importancia de enseñarles lo mejor de nosotros. Plumwood (2002) desarrolla un argumento robusto sobre la necesidad del ser humano de florecer y alcanzar la plenitud en una relación ecológica con el medio ambiente. La autora sienta las bases para contribuir a instaurar una cultura ambiental. Por lo que si no tenemos una cultura ambiental, si no existe todavía una cultura ambiental, contribuir a establecerla es nuestra responsabilidad.

Para contribuir a la construcción de la cultura ambiental que necesitamos, podremos derrocar el dualismo maniqueo de la cultura y naturaleza, razón y

emoción, mente y cuerpo para revelar al ser humano como ser ecológico y el no-humano como sujeto ético, fomentando un diálogo entre las especies, mutuamente beneficioso. Podemos contribuir en la medida de nuestras posibilidades a una ecología social y política. Podemos animar un proceso que lleve a promover la ciencia como una visión integral, democrática, éticamente responsable del no-humano. Podemos hasta desafiar el concepto tradicional de propiedad para instaurar un concepto mutualista o un concepto de servidumbre de la propiedad, con el propietario en su función de “guardián” en lugar de “explotador”.

En este sentido, el trabajo de los ecologistas sobre las emociones, actitudes y los valores de las personas es fundamental para conservar nuestra naturaleza.

LITERATURA CITADA

- Acosta, M. J., M. Montero y L. López. 2001. Relación entre conducta pro ambiental y algunos componentes psicológicos en estudiantes mexicanos. *Revista Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 2(1): 45-58.
- Berenguer, J., J. A. Corraliza, M. Moreno y L. Rodríguez. 2002. La medida de las actitudes ambientales: propuesta de una escala de conciencia ambiental (eco barómetro). *Revista Intervención Psicosocial* 11(3): 349-358.
- Blake, D. E. 2001. Contextual effects on environmental attitudes and behavior. *Environment and Behavior* 33(5): 708-725.
- Corral-Verdugo, V. y J. Queiroz P. 2004. Aproximaciones al estudio de la conducta sustentable. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 5(1-2): 1-26.
- Corraliza, J. A. y J. I. Aragonés. 2002. Psicología ambiental e intervención psicosocial. *Intervención Psicosocial* 11(3): 271-275.
- Corraliza, J. A. y J. Berenguer. 2000. Environmental values, beliefs, and actions: A situational approach. *Environment and Behavior* 32(6): 832-848.
- Díaz, M. G. y B. Palacio A. 2005. Recycling behavior: A multidimensional approach. *Environment and Behavior* 37(6): 837-860.
- Diekmann, A. y A. Franzen. 1999. The wealth of Nations and environmental concern. *Environment and Behavior* 31(4): 540-549.
- Gardner, G. T. Y P. C. Stern. 2002. *Environmental problems and human behavior*. Pearson Custom Publ. Boston, MA, USA.
- Gatersleben, B., L. Steg y C. Vlek. 2002. Measurement and determinants of environmentally significant consumer behavior. *Environment and Behavior* 34(3): 335-362.
- Grob, A. 1995. A structural model of environmental attitudes and behavior. *Journal of Environmental Psychology* 15(3): 209-220.
- Heath, Y. y R. Gifford. 2006. Free-market ideology and environmental degradation: The case of belief in global climate change. *Environment and Behavior* 38(1): 48-71.
- Johnson, C. Y., J. M. Bowker y H. K. Cordell. 2004.

- Ethnic variation in environmental belief and behavior: An examination of the new ecological paradigm in a social psychological context. *Environment and Behavior* 36(2): 157-186.
- Joireman, J. A., P. A. M. Van Lange y M. Van Vugt. 2004. Who cares about the environmental impact of cars?: Those with an eye toward the future. *Environment and Behavior* 36(2): 187-206.
- Kaiser, F. G. y T. A. Shimoda. 1999. Responsibility as a predictor of ecological behavior. *Journal of Environmental Psychology* 19(3): 243-253.
- Kaiser, F. G., S. Wölfing y U. Fuhrer. 1999. Environmental attitude and ecological behavior. *Journal of Environmental Psychology* 19: 1-19.
- Kals, E., D. Schumacher y L. Montada. 1999. Emotional affinity toward nature as a motivational basis to protect nature. *Environment and Behavior* 31(2): 178-202.
- Lubell, M. 2002. Environmental activism as collective action. *Environment and Behavior* 34(4): 431-454.
- Lutz, A. R., P. Simpson-Housley y A. F. de Man. 1999. Wilderness: Rural and urban attitudes and perceptions. *Environment and Behavior* 31(2): 259-266.
- McFarlane, B. L. y L. M. Hunt. 2006. Environmental activism in the forest sector. *Environment and Behavior* 38(2): 266-285.
- Meinhold, J. L. y A. J. Malkus. 2005. Adolescent environmental behaviors: Can knowledge, attitudes, and self-efficacy make a difference? *Environment and Behavior* 37(4): 511-532.
- Nickerson, R. S. 2003. *Psychology and environmental change*. Lawrence Erlbaum Associates. Mahwah, NJ. USA.
- Nieto, C. L. M. 2004. Sabemos pero no actuamos. ¿Cuál es el papel de la educación ambiental? *Revista Universitarios* 12(2): 56-61.
- Olli, E., G. Grendstad y D. Wollebaek. 2001. Correlates of environmental behaviors: Bringing back social context. *Environment and Behavior* 33(2): 181-208.
- Plumwood, V. 2002. *Environmental culture: The ecological crisis of reason*. Routledge. New York and London.
- Pol, E. y A. Castrechini. 2002. City-identity-sustainability research network: Final words. *Environment and Behavior* 34(1): 150-160.
- Pooley, J. A. y M. O'Connor. 2000. Environmental education and attitudes: Emotions and beliefs are what is needed. *Environment and Behavior* 32(5): 711-723.
- Simmons, I. G. 1997. *Humanity and environment: A cultural ecology*. Addison-Wesley. Massachusetts, USA.
- Singer, P. 2002. *One world: The ethics of globalization*. Yale University Press. New Haven, CT, USA.
- Stedman, R. C. 2002. Toward a social psychology of place: Predicting behavior from place-based cognitions, attitude, and identity. *Environment and Behavior* 34(5): 561-581.
- Valera, S. 2002. Gestión ambiental e intervención psicosocial. *Intervención Psicosocial* 11(3): 289-301.
- Vorkinn, M. y H. Riese. 2001. Environmental concern in a local context: The significance of place attachment. *Environment and Behavior* 33(2): 249-263.
- Wenz, P. 2001. *Environmental ethics today*. Oxford University Press. New York, USA.
- Wiesenfeld, E. 2003. La psicología ambiental y el desarrollo sostenible. *Cual psicología ambiental? Cual desarrollo sostenible? Estudios de Psicología* 8(2): 253-261.
- Wiesenfeld, E. y F. Giuliani. 2002. Sustainable development and identity in two Venezuelan communities. *Environment and Behavior* 34(1): 81-96.

LOS SITIOS MÁS CRÍTICOS PARA EVITAR EXTINCCIONES DE ESPECIES GLOBALMENTE AMENAZADAS:
LA IMPORTANCIA DE SU IDENTIFICACIÓN Y DE RECABAR INFORMACIÓN EN EL CAMPO

Jaime García-Moreno¹, Amy Upgren², Jorge Iván Restrepo³, Wilfredo Matamoros⁴, Alfredo D. Cuarón⁵, Topiltzin Contreras-MacBeath⁶, Nora López⁷, John Lamoreux^{8,9}, Meghan McKnight⁹, Antonio Muñoz¹⁰, Paul Walker¹¹, Josiah Townsend¹², Carlos Vásquez-Almazán¹³, Claudia Macías⁷, Oliver Komar¹⁴, Jim Barborak¹, Ruth Jiménez¹⁵ y Jaime R. Bonilla-Barbosa⁶

¹Conservación Internacional, Centro para la Conservación de la Biodiversidad de México y Centroamérica. Apdo. 2365-2050, San Pedro, Costa Rica, jgarciamoreno@conservation.org, jbarborak@conservation.org

²Conservación Internacional, 2011 Crystal Drive Suite 500, Arlington VA 22202, USA, aupgren@conservation.org

³Instituto Regional de Biodiversidad (IRBIO). Apdo. 93, Tegucigalpa, Honduras, jrestrepo@sica.int

⁴University of Southern Mississippi, Dpt. Biological Sciences, 118 College Dr., Hattiesburg MS 39406-0001, USA, wilmatamoros@yahoo.com

⁵SACBÉ - Servicios Ambientales, Conservación Biológica y Educación, Reforma Agraria 400-8, Fracc. El Pueblito, Morelia, Michoacán 58341, México / Multicriteria SC, Torre Uxmal 18, Unidad Independencia, México D.F. 10100, México, cuaron@gmail.com

⁶Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. 62209 Cuernavaca, Morelos, México, topis@uaem.mx, bonilla @uaem.mx

⁷Pronatura Sur, 16 Oriente y 3a Sur No. 1706. 29000 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, norapll@pronatura-sur.org

⁸Texas A&M University, Dpt. Wildlife and Fisheries Sciences, 210 Nagle Hall, College Station TX 77843, USA, john.lamoreux@iucn.org

⁹Investigadora independiente. Nicolás Ruiz 100. 29239 San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, meghan.mcknight@gmail.com

¹⁰El Colegio de la Frontera Sur, Apdo. 63. 29290 San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, amunoz@ecosur.mx

¹¹Wildtracks, PO Box 278, Belize City, Belize, office@wildtracksbelize.org

¹²University of Florida, 219 Grinter Hall Box 115500, Gainesville FL 32611, USA, jtwnsnd@ufl.edu

¹³Museo de Historia Natural, Calle Mariscal Cruz 0-56, Zona 10, Guatemala, Guatemala, mushnat@itelgua.com

¹⁴Salvanatura, 33 Av. Sur 640, Col. Flor Blanca, San Salvador, El Salvador

¹⁵Conservación Internacional, Blvd. Comitán 191. 29030 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, r.jimenez@conservation.org

RESUMEN

Algunos sitios que requieren atención para su conservación en forma urgente para evitar la extinción de las especies que en ellos habitan han sido identificados por la Alianza para Cero Extinciones (AZE por sus siglas en inglés). En el norte de Centroamérica se han identificado varios de estos sitios, la mayoría de los cuáles no cuenta con ningún tipo de protección oficial. En este simposio se discutió la utilidad del concepto AZE y se hicieron algunas sugerencias para mejorarlo. En primer lugar se propuso que el concepto se extienda más allá de los grupos taxonómicos actualmente considerados por la alianza. Los participantes concurrieron en la importancia de aprovechar las visitas al campo para extraer la mayor cantidad de información posible sobre dichos sitios y sus especies, y se propusieron algunos campos de información a los que poner atención en dichas visitas.

Palabras clave: sitios AZE, especies amenazadas, áreas clave para la biodiversidad, conservación

ABSTRACT

The Alliance for Zero Extinctions (AZE) has identified some of the sites requiring urgent conservation attention to avoid the extinction of the species that inhabit in them. Several such sites have been identified in the northern portion of Central America, and the majority of them do not have any kind of official protection.

During this symposium we discussed the utility of the AZE concept and some suggestions were made to improve it. First it was proposed that the concept goes beyond the taxonomic groups currently considered by the alliance. All participants agreed in the importance of taking the most advantage of field visits to collect as much information as possible about such sites and their species, and a few information fields that require particular attention during such visits were proposed.

Key words: AZE sites, threat species, Key Biodiversity Areas, conservation

La conservación de especies enfrenta retos enormes en todo el planeta. La pérdida del hábitat continúa en casi todo el mundo y particularmente en los llamados *hotspots* de biodiversidad (Myers *et al.*, 2000), aunada a los efectos negativos de la caza y comercio ilegal, efecto de especies exóticas invasoras, así como las complejidades del cambio climático inducido por las actividades humanas. El número de especies catalogadas como amenazadas en la lista roja ha aumentado en cada revisión de la misma, y las evaluaciones globales que ahora realiza la UICN han revelado patrones de amenaza más críticos de lo que la gente asumía (Rodrigues *et al.*, 2006). Diversas organizaciones han desarrollado métodos de priorización para poder establecer estrategias efectivas de conservación, siendo las áreas clave para la biodiversidad (Key Biodiversity Areas KBAs) uno de ellos. Las KBAs son áreas de importancia global para la conservación de la biodiversidad porque las especies que viven en estos sitios están amenazadas y en peligro de extinción. Estas áreas se identifican siguiendo criterios universales de vulnerabilidad e irremplazabilidad (Eken *et al.*, 2004).

En un mundo con escasos recursos dirigidos a la conservación es importante el establecer prioridades para la canalización de esfuerzos y recursos. Utilizando los criterios anteriormente mencionados de vulnerabilidad e irremplazabilidad, Ricketts *et al.* (2005) identificaron centros de extinción inminente, es decir, las KBAs que requieren atención urgente tales como aquellas localidades en donde especies críticamente amenazadas tienen su último reducto. El grupo identificó 794 especies entre los taxa evaluados de manera global por la UICN (mamíferos, aves, anfibios, algunos reptiles y coníferas) restringidos a 595 sitios distribuidos principalmente en selvas tropicales, islas oceánicas y áreas montañosas del planeta. Solamente la tercera parte de estos sitios tienen algún tipo de protección legal, y casi todos están sujetos a enormes presiones antropogénicas. No está por demás resaltar que la

pérdida de cada una de estas localidades significa la extinción de una o más especies. Para atender las necesidades de estos sitios se formó una alianza entre organizaciones dedicadas a la conservación, la Alianza para Cero Extinciones (Alliance for Zero Extinctions AZE por sus siglas en inglés), y en adelante nos referiremos a estos sitios de importancia crítica como sitios AZE. La Alianza cuenta en la actualidad con el apoyo de 64 organizaciones de todo el mundo, desde grupos locales hasta grandes ONGs internacionales (ver www.zeroextinction.org para más detalles).

México y Centroamérica tienen un papel importante que jugar en el contexto de la prevención de extinciones al contar con un elevado número de sitios AZE: México es el país con mayor número de sitios AZE (63) y con mayor número de especies AZE (84) en todo el mundo, y países centroamericanos como Guatemala (9 sitios con 10 especies) y Honduras (14 sitios con 20 especies) deben ser de los países con más alta densidad de sitios AZE. Además, con información más actualizada se están encontrando más especies reducidas a últimos reductos en su distribución. En este sentido, expediciones recientes indican que hay un grupo de cuatro salamandras del género *Pseudoeurycea* críticamente amenazadas y restringidas a un sitio en las tierras altas de San Marcos, Guatemala, en la frontera con Chiapas, México (una de estas salamandras ni siquiera ha sido formalmente descrita científicamente).

Desafortunadamente la mayoría de los sitios AZE en la región que nos ocupa no tienen protección oficial, y hay un riesgo enorme de perder especies, de hecho y de acuerdo con la última revisión de la evaluación global de mamíferos, varias especies de roedores de México que habitaban sitios AZE pueden considerarse extintas en estado silvestre (e. g., *Neotoma anthonyi*, *N. bunkerii* y *N. martinensis*). Con este panorama es que convenimos al simposio

“Intercambio y consolidación de información en estudios regionales de especies críticamente amenazadas en sitios AZEs en Mesoamérica Norte” dentro del marco del XI Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación en Oaxtepec, Morelos, México. La primera parte del simposio trató sobre sitios AZE, mientras que la segunda se abocó a temas relacionados con anfibios amenazados en la región la cual se incluye en un artículo de manera independiente (en este mismo número de Mesoamericana). Es importante indicar que cada uno de los participantes está involucrado en proyectos relacionados con especies críticamente amenazadas en el norte de Centroamérica (ver APÉNDICE, con la lista de participantes, proyectos y datos de contacto), lo que nos permitió abordar temas comunes con el fin de ser más eficientes en nuestras estrategias de conservación.

Un aspecto que se hizo patente en el grupo es que el concepto de sitio AZE es una herramienta útil para la conservación. La American Bird Conservancy (ABC) ha sido bastante exitosa utilizando los sitios AZE para llamar la atención sobre sitios estratégicos para la conservación de varias especies de aves andinas que de otra manera quizá no hubieran recibido la atención necesaria. En este sentido, desde el año 2004, la ABC y sus colaboradores han realizado grandes progresos en la conservación de los últimos reductos de hábitat para la supervivencia de varias especies de aves críticamente amenazadas: una reserva privada en Abra Patricia, Perú, la cual alberga dos “especies AZE” (*Xenoglaux loweryi* y *Grallaricula ochraceifrons*); con el apoyo de la Fundación Jocotoco, una serie de reservas naturales en Ecuador protegen cerca de 40 especies de aves globalmente amenazadas, incluyendo tres “especies AZE” (*Eriocnemis nigrivestis*, *Grallaria ridgelyi* y *Atlapetes pallidiceps*); y reservas en Colombia hacen lo mismo para este grupo de organismos (*Pyrrhura viridicata*, *Myiotheretes pernix* y *Lipaugus weberi*). En cada uno de estos esfuerzos se han beneficiado otras especies además de las aves, incluyendo algunos mamíferos y anfibios AZE, como es el caso de las ranas *Eleutherodactylus insignitus* y *E. ruthveni*, y los sapos *Atelopus arsyecue*, *A. nahumaey* y *A. laetissimus* que coexisten en la misma zona que el periquito y el mosquero de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata* y *Myiotheretes pernix*, respectivamente); el tapir andino (*Tapirus pinchaque*, EN) y el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus* VU) que habitan en la

reserva ecuatoriana establecida originalmente para proteger al cholín de Jocotoco (*Grallaria ridgelyi*), y el oso también habita en la reserva en la que habita el eriocnemo del volcán (*Eriocnemis nigrivestis*); el mono araña lanudo (*Oreonax flavicauda*, CR) y el oso de anteojos coexisten con el búho (*Xenoglaux loweryi*) y el cholín del Perú (*Grallaricula ochraceifrons*). En México y Centroamérica esta situación es similar, y varios sitios AZE son también hogar para otras especies que, aunque en menor grado que aquellas que califican al sitio, igualmente están amenazadas.

Es importante considerar que existe el problema de que la Alianza solamente reconoce actualmente los sitios definidos con aquellos taxones que han sido evaluados globalmente tales como los mamíferos, aves, anfibios, cocodrilos, iguanas, tortugas y coníferas. Sin embargo, en la región existe un número importante de sitios que cumple con las características definidas por la Alianza, es decir, las características de amenaza, irremplazabilidad y discreción, pero cuyas poblaciones corresponden a taxa distintos a los que utiliza la alianza (particularmente peces de agua dulce, además de algunos reptiles y plantas). En este sentido, la lista roja de los árboles de Guatemala (Vivero *et al.*, 2006) indican 48 especies endémicas al país, de las cuales 13 están amenazadas (EN) y 10 críticamente amenazadas (CR), siendo varias de ellas endémicas ya que únicamente son conocidas de la localidad tipo, por lo que dichas áreas calificarían como sitios AZE. De manera similar, se sabe de sitios que son el único reducto para muchas especies de peces dulceacuícolas. Por ejemplo, la laguna de Chichancanab en Yucatán, México, es la única localidad para un grupo de seis especies del género *Cyprinodon* (*C. beltrani*, *C. simus*, *C. maya*, *C. labiatus*, *C. esconditus* y *C. verecundus*) (Humphries y Millar, 1981), que ya estaban clasificadas como amenazadas (EN) en 1994, con lo que el sitio calificaría como AZE; y para indicar la urgencia de la situación vale la pena mencionar que desde ese entonces a la fecha la situación se ha deteriorado por la introducción de especies exóticas (*Oreochromis*, de África y *Astyanax fasciatus*) al grado que al menos una de las especies, *C. simus*, probablemente ha desaparecido (Strecker, 2006).

Un caso similar ocurre en el estado de Chiapas, México, específicamente en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas en donde vive un pez

endémico conocido como popoyote (*Profundulus hildebrandi*), el cual habita en las extensas áreas de humedales, las cuales en las últimas décadas han sido convertidas en fraccionamientos urbanos, zonas comerciales y zonas de cultivo y pastoreo. Actualmente solo quedan algunos sitios con poblaciones de esta especie, las cuales enfrentan una grave amenaza por la introducción de parásitos provenientes de carpas exóticas. En este sentido, se estima que solamente una subpoblación de esta especie de pez permanece sana en todo su rango de distribución original (Velásquez-Velásquez y Schmitter-Soto, 2004).

Otro caso dramático para la región se relaciona con un pequeño pez de agua dulce del estado de Jalisco, México (*Zoogoneticus tequila*), que hasta hace algunos años se creía extinto. Ahora se sabe que existe una población de unos 500 adultos que habitan en un manantial que alimenta a una poza de 4 m de diámetro y 20 cm de profundidad (De la Vega-Salazar *et al.*, 2003).

Esperar a que la Alianza reconozca todos y cada uno de estos sitios significa privarlos de una herramienta que, como se ha indicado, puede ser útil para avanzar en los esfuerzos de conservación. Una opción es buscar un mecanismo de registro rápido mediante el cual la Alianza considere estos sitios de manera prioritaria para su inclusión en la lista oficial, mientras que otra alternativa es identificar los sitios como AZE potenciales.

Por otro lado, los participantes al simposio, todos ellos implementando proyectos relacionados con especies amenazadas que habitan sitios AZE (o potenciales sitios AZE), concurren en la importancia de aprovechar al máximo las visitas de campo a estos lugares para conseguir información que es fácil de recabar en el sitio, pero muy difícil de conseguir a la distancia. El escenario ideal sería que hubiera un protocolo estandarizado para las visitas a sitios AZE, de manera que los investigadores/actores estén preparados de antemano para buscar esa información de manera sistematizada. En principio toda esta información terminaría dentro de una base de datos con acceso al público, como la Word Biodiversity Data Base (WBDB). Sin embargo, es importante identificar las piezas de información a recabarse, ya que lo normal durante una visita al campo es estar sin acceso a Internet, con lo que el acceso a una herramienta de

este tipo es imposible y debe llenarse *a posteriori*.

Entre los datos que se consideran importantes anotar durante una visita de campo debe contener información sobre espacios e información sobre especies. En cuanto a los espacios, los datos importantes a coleccionar en el campo, si existe la oportunidad, son aquellos relacionados con la tenencia de la tierra, las amenazas evidentes, algunas medidas de micro-hábitats (cobertura, temperaturas, etc.), y entrevistas con personas locales sobre cambios de uso de suelo en el lugar. Es importante intentar identificar aquellas características que podrían darle al sitio un valor agregado (turismo, UMAs, algún esquema de certificación, entre otros). Una sugerencia es que los involucrados en la visita al sitio dediquen algunos minutos para visitar la alcaldía o la municipalidad con el doble propósito de, por un lado, averiguar si existen personas o instituciones que estén participando en la colecta de información y evitar duplicar esfuerzos, y por otro lado, identificar personas de la comunidad local que pudieran involucrarse en los procesos, ya que su participación es imprescindible para el éxito de una empresa de conservación de este estilo.

Por el lado de las especies, es importante apuntar cualquier observación de especies indicadoras, especies endémicas o especies amenazadas, indicando su abundancia cuando sea posible, ya que esto puede representar una línea base para un eventual esquema de monitoreo posterior; y en este sentido, también es importante dejar constancia de aquellos esfuerzos fallidos por encontrar especies.

En nuestra región, los anfibios son una clase preponderante entre las especies que califican a un sitio como sitio AZE. En este sentido, los nueve sitios AZE de Guatemala están dados por diez especies de anfibios, 18 de 20 especies que califican sitios AZE en Honduras son anfibios, así como 52 de 84 especies en México (con una proporción de anfibios mayor en la región tropical del país). Con esto en mente, algunas recomendaciones se enfocan a anfibios en particular, como el registro de cualquier evento de muertes masivas o la estandarización de protocolos de muestreo para poder comparar información entre proyectos, particularmente el muestreo relacionado con la epidemia de quitridiomycosis que afecta a muchos anfibios en la región (este tema de anfibios fue tratado más extensamente en el simposio y se presenta de manera

separada en este mismo número de la revista).

En general, la comunicación entre los actores e investigadores involucrados con alguno de estos sitios AZE o las especies que en ellos habitan es esencial. Algunos de estos sitios y especies pueden estar enfrentando problemáticas similares en diferentes lugares, y la comunicación fluida puede ser un elemento crítico para encontrar soluciones viables.

Si se tiene como objetivo evitar extinción de especies, entonces es importante prestar atención a todos aquellos sitios que contienen el último refugio de especies amenazadas y no solamente aquellos sitios que han sido avalados por la Alianza para Cero Extinciones, ya que en nuestra región existe un buen número de sitios con estas características. Para ello, es importante ser creativo e innovador y utilizar los instrumentos a nuestro alcance pero sin menoscabo de los estándares de calidad ni de nuestra capacidad de respuesta. Se deben aprovechar al máximo nuestras visitas a estos sitios críticos para recabar

información de una forma ordenada y sistemática que pueda ser compartida de manera eficiente con toda la comunidad, conscientes de que algunos datos sencillos de colectar en el momento son difíciles de obtener después. Dada la precaria situación de las especies que habitan en estos lugares, una actitud propositiva de nuestra parte puede significar la diferencia entre su supervivencia y su extinción.

AGRADECIMIENTOS

El simposio fue realizado gracias al apoyo económico de la Alianza para los Ecosistemas Críticos (CEPF) y con el apoyo logístico del Capítulo México de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. La información sobre los datos a colectar en campo (Apéndice 2) se benefició de los comentarios realizados por Carlos Guichard Romero y Horacio Morales.

LITERATURA CITADA

- De la Vega-Salazar, M. Y., E. G. Ávila-Luna y C. Macías-García. 2003. Threatened fishes of the World: *Zoogoneticus tequila* Webb & Millar 1998 (Goodeidae). *Environmental Biology of Fishes* 68: 1-14.
- Eken, G., L. Bennun, T. M. Brooks, W. Darwall, L. D. C. Fishpool, M. Foster, D. Knox, P. Langhammer, P. Matiku, E. Radford, P. Salaman, W. Sechrest, M. L. Smith, S. Spector y A. Tordoff. 2004. Key biodiversity areas as site conservation targets. *BioScience* 54: 1110-1118.
- Humphries, J. M. y R. R. Miller. 1981. A remarkable species flock of pupfishes, genus *Cyprinodon*, from Yucatán, Mexico. *Copeia* 1: 52-64.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. Da Fonseca y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Ricketts, T. H., E. Dinerstein, T. Boucher, T. M. Brooks, S. H. M. Butchart, M. Hoffmann, J. F. Lamoreux, J. Morrison, M. Parr, J. D. Pilgrim, A. S. L. Rodrigues, W. Sechrest, G. E. Wallace, K. Berlin, J. Bielby, N. D. Burgess, D. R. Church, N. Cox, D. Knox, C. Loucks, G. W. Luck, L. L. Master, R. Moore, R. Naidoo, R. Ridgely, G. E. Schatz, G. Shire, H. Strand, W. Wettengel y E. Wikramanayake. 2005. Pinpointing and preventing imminent extinctions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102: 18497-18501.
- Rodrigues, A. S. L., J. D. Pilgrim, J. F. Lamoreux, M. Hoffmann y T. M. Brooks. The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 21: 71-76.
- Strecker, U. 2006. The impact of invasive fish on an endemic *Cyprinodon* species flock (Teleostei) from Laguna Chichancanab, Yucatán, México. *Ecology Freshwater Fish* 15: 408-418.
- Velázquez-Velázquez, E. y J. J. Schmitter-Soto. 2004. Conservation status of the San Cristobal pupfish *Profundulus hildebrandi* Miller (Teleostei: Profundulidae) in the face of urban growth in Chiapas, Mexico. *Aquatic Conservation* 14: 201-209.
- Vivero, J. L., M. Szejner, J. Gordon y G. Magin. 2006. The red list of trees of Guatemala. *Flora & Fauna International*, Cambridge, UK.

SOCIEDAD MESOAMERICANA PARA LA BIOLOGÍA Y LA CONSERVACIÓN

MEMBRESÍA Y AFILIACIÓN

Cualquier persona puede ser miembro de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación (SMBC). El pago anual debe hacerse en dólares americanos ante el respectivo Presidente de Capítulo de cada uno de los países, y debe hacerse de acuerdo con el año calendario. La cuota de la membresía da derecho a recibir la revista *Mesoamericana* y otras publicaciones que la SMBC publique en formato impreso o digital.

Tarifas de las membresías

País	Estudiante	Profesional
América del Norte / Europa	\$40.00	\$80.00
América del Sur / Caribe	\$20.00	\$40.00
Costa Rica	\$25.00	\$50.00
México	\$25.00	\$50.00
Panamá	\$20.00	\$40.00
Belice	\$20.00	\$40.00
El Salvador	\$20.00	\$40.00
Guatemala	\$15.00	\$30.00
Nicaragua	\$15.00	\$30.00
Honduras	\$15.00	\$30.00

Tarifas de la membresía institucional

Región	Tarifa
Mesoamericana	\$200.00
No mesoamericana	\$500.00

Tarifas de la membresía vitalicia

Categoría	Tarifa
Individual	\$500.00
Institucional Mesoamericana	\$2,000.00
Institucional no Mesoamericana	\$5,000.00

El pago de las cuotas de la membresía tiene validez únicamente para el año calendario en curso (del 1 de enero al 31 de diciembre). Los privilegios de la membresía incluyen el derecho de participar activamente en la vida social de los capítulos nacionales que constituyen la SMBC, participar en la Asamblea General y tener derecho a ser electo a algún cargo, de recibir gratuitamente *Mesoamericana*, la revista Oficial de la SMBC, de beneficiar de sustanciales descuentos en los Congresos Anuales de la SMBC y en las diferentes actividades, cursos, talleres y simposia organizados por los Grupos de Interés Temático y los Capítulos de la SMBC.

Para afiliarse, llene el formulario de solicitud disponible en la página Internet de la SMBC y envíela al Presidente de su Capítulo del país correspondiente.

MIEMBROS FUNDADORES
SOCIEDAD MESOAMERICANA PARA LA BIOLOGÍA Y LA CONSERVACIÓN

Miembros Fundadores 1996

Juan Marco Álvarez	F. Thomas Ledig
Miguel Eduardo Araujo Padilla	Martín Lezama López
Cheryl Asa	Erik D. Lindquist
James Barborak	Ernesto López Zepeda
James H. Barton	Elizabeth P. Mallory
James H. Bass	Juan Carlos Martínez-Sánchez
Arturo Bayona	Borja Milá
Jeanette Bider	Bruce Miller
Keith L. Bildstein	Carolyn Miller
Gerardo Borjas	Michael Mittage
Nicholas V. L. Brokaw	Alan Moore
Barbara W. Bryan	Pedro Morán-Palma
Fred Bryan	Mark W. Oberle
Fabio Buitrago	Romeo Emilio Perdomo
Edward H. Burt, Jr.	Ramiro Pérez
Archie Carr	Jorge E. Porras
Ramón Casco	Lourdes Analía Púgener
Carlos A. Cerrato B.	Claudia Quinteros
Silvia Cristina Chalukian	Emilia Ramírez
Claire Dallies	Carlos René Ramírez Sosa
Juan Pablo Domínguez	Carla Lizzeth Rivera Zelaya
William D. Eaton	Chandler Robbins
Ernest P. "Buck" Edwards	James J. Roper
Johanne Fisher	Gustavo Adolfo Ruiz
John Gordon Frazier	Alberto Salas
Carlos Galindo Leal	Víctor Sánchez-Cordero
Carsten Glaeser	Ulyses S. Seal
José A. Gobbi	Jeffrey R. Short, Jr.
Cornelius P. Groothousen	Eric Smith
Margaret Harrit	Erasmus Sosa López
Gerald Islebe Wjeiden	Collen Springer
Douglas James	Corina Torres
Lawrence R. Kirkendall	Emilia Urrea
Nicholas Komar	Marc M. Weitzel
Oliver Komar	Chris Wille
Helmuy J. Kremling	Teresa Zuñiga R.

Nuevos Miembros Fundadores 1999

Charles D. Duncan
Andreas Lehnhoff
James D. Nations

Ana Carolina Rosales
Robert M. Timm

Miembros Fundadores 2001

Sandra Andraka Galán
Eduardo Carrillo Jiménez
Henry Chaves Kiel
Lenin Corrales Chavez
Griselda Escalona Segura

Marco Antonio Hidalgo Chaverri
Jeanne Rebeca Montagne Sánchez
Rodrigo Morales Rodas
Frank Solis
Grace Wong Reyes

Miembros Fundadores 2006

Gerardo Alfaro Solorzano
José Alejandro Carranza Salazar
Olivier Chassot
Carlos Chaves Cavalinni
Néstor Omar Herrera Serrano
Fabio Buitrago Vannini
Martín Antonio Lezama López

Lorna Marchena Sanabria
Guisselle Monge Arias
Gerardo Palacios Martínez
Zaida Piedra Cerdas
Javier Rodríguez Fonseca
Fengmei Wu Chen

Miembro Honorario

Oliver Komar

Miembros Vitalicios

Olivier Chassot
Néstor Herrera

Luis E. Girón

Instituciones Fundadoras

ABSEARCH Inc. (Idaho, USA)

Biodiversity Support Program (WWF, TNC & WRI)

Círculo Herpetológico de Panamá

Estación Ecológica Chapala / Baylor University – Universidad Autónoma de Guadalajara

Fundación Ecológica de El Salvador (SalvaNATURA)

Fundación Neotrópica

International Center for Tropical Ecology, University of Missouri-St. Louis

The Natural History Museum (London, UK)

Natural History Museum and Biodiversity Research Center, University of Kansas

Ohio Wesleyan University

Stroud Water Research Center / Academy of Natural Sciences of Philadelphia

Wildlife Conservation Society

GUÍA PARA AUTORES

Mesoamericana

Criterios de aceptación. Los manuscritos propuestos a publicación deberán estar enfocados a la región mesoamericana y caribeña, es decir, los países centroamericanos, México y el Caribe. Dichos documentos se recibirán en el entendido de que todos los autores están de acuerdo con su publicación. Los resultados o ideas contenidas en los trabajos deberán ser originales, es decir, que no habrán sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación, y de esta manera sean una contribución original y nueva a la literatura científica. Deben contener todas las secciones estipuladas en esta Guía, y ser formateados correctamente. Deben seguir las reglas gramáticas y ortográficas. Serán escritos en un estilo conciso y correcto en el uso de conceptos y términos científicos. Todos los manuscritos serán evaluados por dos árbitros anónimos seleccionados por el Editor. Posterior a haberse considerado las revisiones y opiniones de los editores, se tomará la decisión final acerca de la publicación de los manuscritos.

Proceso editorial. Se priorizarán aquellos documentos sometido por orden de recepción. Estos pueden demorarse en su publicación dependiendo de la revisión necesaria. Los trabajos rechazados no serán reconsiderados. Si fue aceptado, el manuscrito con los dictámenes de los revisores se enviará a los autores para realizar las observaciones y modificaciones pertinentes. Si la versión corregida no fuera regresada a los Editores en los seis meses posteriores a la recepción de la revisión, se considerará que el trabajo ha sido retirado para su publicación.

Idioma. Los manuscritos deben ser escritos en castellano o inglés, con resúmenes en ambos idiomas.

Tipos de publicaciones

Artículos en extenso. Son trabajos originales sobre sistemática, biogeografía, ecología, evolución o conservación de taxones americanos, así como de temas relacionados a la biología realizados en el área Mesoamericana.

Listados científicos. Se recibirán listados de especies que incluyan un análisis detallado de la información presentada, siempre y cuando éstos incluyan registros nuevos para la región.

Notas científicas o comunicaciones cortas. En este formato se publican trabajos cuya extensión no sobrepase cinco cuartillas, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso, tomando en cuenta que no se aceptarán resultados preliminares. Pueden incluirse resultados muy llamativos o trascendentales que se quieren divulgar de forma rápida y no detallada. Se considerarán registros nuevos de especies, siempre y cuando se justifique su relevancia ecológica o de impacto como especies invasoras.

Puntos de vista. Son ensayos que pueden incluir: cartas al editor; discusiones sobre políticas de conservación; comentarios sobre metodologías de investigación; comentarios sobre acontecimientos en la región Mesoamericana.

Proyectos de conservación. Estos deben incluir información como la descripción del proyecto; los objetivos planteados, así como cualquier otra información considerada de importancia.

Reseñas de libros y literatura reciente. Son revisiones de libros y artículos de reciente publicación (en los últimos tres años) en el área de la biología y la conservación de alta relevancia para la SMBC.

Obituarios. Se publicarán obituarios de biólogos distinguidos.

Noticias y anuncios. Esta sección cubre los avisos en los que se dan a conocer oportunidades de trabajo, colaboración en proyectos de investigación, acceso a bases de información, comunicaciones de sucesos acaecidos en la región, materiales disponibles, etc. Los mismos deben ser sintéticos, incluyendo los objetivos buscados en proveer el anuncio, e información de como contactar al anunciante. Los nombres de instituciones, parajes y referencias geográficas deben ser listados en el idioma original. Incluye también datos sobre conferencias y talleres, reuniones especiales y destacadas sobre el tema de conservación, cursos especializados de posgrado o pregrado, simposia u otros eventos que involucren a miembros de la SMBC y que concuerdan con sus objetivos.

Nota: El autor debe indicar en que sección desea que su manuscrito sea incluido. Los manuscritos de las secciones “cartas”, “reseñas de libro y literatura reciente”, “obituarios” y “noticias y anuncios” no deben incluir resumen.

Arbitraje de artículos por pares

Para fomentar la calidad profesional de la Revista *Mesoamericana* y así salvaguardar la ética profesional y reputación de la SMBC tanto como de cada uno de sus miembros, cada artículo recibido se somete a un proceso de arbitraje, de acuerdo con el siguiente proceso:

1. El Editor recibe el artículo sometido y lo aprueba o lo rechaza para su posible inclusión en *Mesoamericana*.
2. Al ser aprobado, el artículo - con la excepción del nombre del autor y cualquier otra indicación de la identidad del mismo - se manda a dos árbitros "anónimos" que evalúan su calidad académica.
3. Los árbitros son profesionales dentro de los campos de la Biología y la Conservación o disciplinas relacionadas con el ámbito temático de *Mesoamericana*, con suficiente experiencia para poder juzgar los méritos académicos de cada trabajo basado en los "Criterios de aceptación de artículos" descritos arriba.
4. En un tiempo de 30 días, el Editor recibirá los comentarios de los árbitros y los enviará al autor, indicándole el resolutivo de los revisores.
5. En caso de que un lector recomiende la publicación del trabajo y el otro no, el Editor tiene la decisión final.
6. En caso de que se rechace la publicación del manuscrito como artículo, el Editor sugerirá e invitará al autor a que escriba de otra forma (noticia, comunicación corta, etc.).

Indicaciones para los autores

Los manuscritos se enviarán en su versión electrónica como anexos a un mensaje de correo electrónico, o bien, grabados en disco compacto a la oficina editorial: Dr. Jaime Raúl Bonilla-Barbosa o MSc. Olivier Chassot, Revista *Mesoamericana*, Departamento de Biología Vegetal, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, 62209. Cuernavaca, Morelos, México. Con copia para Centro Científico Tropical, Apartado 8-3870-1000, San José, Costa Rica. Correo electrónico: bonilla@uaem.mx; investigacion@cct.or.cr.

Antes de someter un manuscrito a la Revista *Mesoamericana*, se sugiere al autor que deberá cerciorarse de haberlo preparado de acuerdo con las normas editoriales. Para facilitar su seguimiento, deberá cotejarse el manuscrito con las siguientes instrucciones:

1. Si el manuscrito está escrito en inglés y los autores no son anglo-parlantes, un experto deberá revisar el uso del lenguaje antes de enviarse a la revista.
2. El manuscrito deberá acompañarse de una carta de presentación en la que se detalle la relevancia de la investigación y la pertinencia de su publicación en esta revista.
3. El escrito se enviará en formato Word o RTF.
4. En esta primera versión del manuscrito, las figuras deberán enviarse en formato JPG o Word, con baja resolución, sólo suficiente para que los revisores puedan evaluarlas.
5. El texto deberá escribirse a doble espacio con todos los márgenes de 25 mm como mínimo.
6. La letra deberá ser tipo Garamond de 12 puntos a lo largo de todo el manuscrito.
7. Deberá dejarse una sangría de medio centímetro a partir del segundo párrafo de cada título o subtítulo.
8. Las palabras no irán separadas en sílabas al final del renglón, pero si se justificará el margen derecho.
9. No se dejará espacio extra entre párrafos.
10. Las figuras y tablas deberán numerarse consecutivamente.
11. Los nombres científicos se escribirán completos la primera vez que se utilicen en el texto. Subsecuentemente, el nombre genérico se abreviará, excepto cuando aparezca al principio de una oración. Deberán escribirse en cursivas, no subrayados.
12. Las autoridades y fechas son indispensables sólo en los trabajos de sistemática. En estos casos, sólo se anotarán la primera vez que se mencione el nombre de la especie en el resumen y en el texto.
13. Los manuscritos deberán apegarse a los Códigos Internacionales de Nomenclatura.
14. Los autores y fechas citados como autoridades de nombres científicos no deberán incluirse en la sección de literatura citada.

Artículos en extenso

Los manuscritos deberán incluir los siguientes elementos, además de que las páginas deberán numerarse consecutivamente, iniciando con la página del título.

Cornisa o encabezado de página. En negritas, al inicio de la primera página, escribir el apellido de los autores (usar et al. para más de dos) y un título corto del trabajo, que no debe exceder de 60 espacios, incluyendo los blancos; por ejemplo, Eaton y Farrell.- Variations in the nutrients.

Título. A continuación, aparecerá el título que será escrito en negritas y centrado, debe ser claro, descriptivo, y lo más corto posible. En renglón aparte, la versión del título en inglés. Si el manuscrito está en inglés, el título en este idioma aparecerá en primer lugar. No contendrá nombres de autoridades ni fechas de los nombres científicos.

Nombre(s) del/los Autor(es): A continuación debe incluirse el nombre y los apellidos de todos los autores, sin negritas, escribiéndolos centrados en un nuevo renglón, indicando con un asterisco el nombre del autor a quien se enviará la correspondencia.

Dirección(es): En seguida y en un nuevo renglón se indicarán la institución, dirección postal, teléfono, fax y correo electrónico. Se publicará únicamente el correo electrónico del autor principal.

Resumen en español: Debe escribirse un resumen que no exceda de 200 palabras, en idioma español, que contenga objetivo, métodos utilizados, conclusiones e importancia del trabajo. Esta sección se iniciará con la palabra “Resumen” al margen izquierdo, con letras negritas y sin punto. El texto deberá iniciarse inmediatamente después, en un solo párrafo, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas.

Palabras clave. En línea aparte, proporcionar un máximo de ocho palabras clave, que no estén incluidas en el título.

Resumen en inglés o Abstract: Todo manuscrito debe incluir una versión en inglés del resumen con una extensión máxima de 200 palabras.

Key words. Presentadas en la misma forma que en español.

Cuerpo del manuscrito. No se debe hacer referencia en el texto al número de página; en caso necesario puede hacerse referencia a las secciones.

Introducción. El título para esta sección, así como para los de Materiales y métodos, Resultados, Discusión y Agradecimientos, deberá escribirse en negritas, al inicio del margen izquierdo de la página (sin sangría). El texto debe escribirse sin subdivisiones.

Materiales y métodos. Esta sección deberá proporcionar la información suficiente para permitir la repetición del estudio.

Resultados. El texto contendrá información nueva y concisa. Los datos que se presenten en tablas y figuras no deben repetirse en el texto. Evitar detallar métodos e interpretar resultados en esta sección. En los trabajos taxonómicos, el subtítulo “Resultados” se sustituye por “Descripción”. Igualmente sin sangría, se inicia el renglón con el nombre científico del taxón en cursivas, con autoridades, fecha y si es el caso, referencia a figuras. En el siguiente renglón, se inicia el texto de la descripción; seguirá a la descripción un “Resumen taxonómico”, que incluye, localidad, número de acceso de la colección donde se han depositado los ejemplares y, en el caso de especies nuevas, etimología. En la sección denominada “Comentarios taxonómicos”, que reemplaza la Discusión de otros artículos, se comparan taxones similares o relacionados. Esta secuencia de subsecciones se repite para cada taxón. Si en los manuscritos taxonómicos la Descripción no incluye todos los resultados, ésta se incorporará a la sección normal de Resultados. Para el caso de los ejemplares depositados en museos, se requiere indicar los números de acceso para el material tipo y vouchers. Para el caso de tejidos congelados depositados en museos, así como de secuencias de ADN depositadas en bases de datos, se deberán incluir también los números de acceso. Indíquese el número del permiso de colecta de los ejemplares cuando sea pertinente.

Discusión. En esta parte se incluirá una interpretación y una explicación de la relación entre los resultados y los conocimientos previos sobre el tema.

Agradecimientos. es relevante. En todo caso debe de ser corto y conciso. La ética requiere que se consulte previamente a los colegas cuyos nombres se desee incluir en esta sección.

Literatura citada. Se debe seguir el formato que se encuentra en el siguiente apartado (para más detalles, puede referirse a los artículos incluidos en este número). Se listará alfabéticamente. Todas las referencias en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. No se aceptarán citas de estudios o registros no publicados. Es necesario notar que los títulos de las revistas no se abrevian y que hay espacios entre las iniciales.

En el texto se citará de la siguiente manera: (Aguilar, 2000) o Aguilar (2000); (Aguilar y Camacho, 2001) o Aguilar y Camacho (2001); (Aguilar et al., 2002) o Aguilar et al. (2002); (Juárez, 1954; Aguilar, 2000). En orden cronológico (Juárez, 1954; Aguilar, 2000; Méndez, 2000). En orden cronológico y alfabético en el mismo año (Juárez, 1954, 1960, 1960a, 1960b).

En la sección de Literatura citada, las citas que aparezcan en el texto, se anotarán en orden alfabético según los ejemplos que se dan a continuación:

Artículo en revista:

Bonilla-Barbosa, J., A. Novelo, Y. Ornelas O. y J. Márquez-Guzmán. 2000. Comparative seed morphology of Mexican *Nymphaea* species. *Aquatic Botany* 68: 189-204.

Libro

Cronquist, A. 1981. An integrated systems of classification of flowering plants. Columbia University Press. Nueva York. 1262 p.

Capítulo en libro

Ferrusquia, V. A. 1998. Geología de México: una sinopsis. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (comps.). *Diversidad Biológica de México. Orígenes y Distribución.* Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p. 3-108.

Tesis

Viana-Lases, J. A. 1999. Flora y vegetación acuáticas vasculares de las subcuencas del Alto y Bajo Amacuzac, Morelos, México. Tesis, Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 99 p.

Ilustraciones. Todas las figuras y deben aparecer en un archivo separado en formato JPG, no en el documento que contiene el texto. Cada figura debe estar acompañada por una leyenda que haga la ilustración entendible, sin necesidad de explicación adicional en el texto. Se aceptan ilustraciones en color, pero es posible que sean publicadas en blanco y negro, o las figuras a color pueden generar un cargo para el autor. Todos los pies de figura se agruparán en forma de párrafos, en el orden que están numerados, en la última página del manuscrito. Se iniciará cada párrafo con la palabra "Figura" y el número correspondiente en negritas. No es necesario enviar los originales de las figuras la primera vez que se somete a revisión un manuscrito, sin embargo las copias deberán tener la calidad suficiente para que los revisores puedan evaluar la figura. Se requerirán los originales cuando el manuscrito haya sido aceptado para su publicación. Sólo entonces, en su caso, se enviará la versión electrónica de las figuras en formato TIFF con una resolución de 600 dpi si se trata de fotografías, y de 1200 dpi si son dibujos, gráficas o mapas.

Tablas. La inclusión de tablas deberá limitarse a casos en que los datos no puedan incorporarse adecuadamente en el texto. Se incluirán al final del texto (después de la sección de literatura citada), se numerarán consecutivamente y en esa misma secuencia se referirán en el texto. El encabezado de cada tabla se incluirá en la parte superior de éste. Se evitarán las líneas horizontales en el cuerpo del cuadro; las líneas verticales no están permitidas, y el diseño se hará de manera que no rebase los márgenes de una sola página. No se aceptarán foto-reducciones.

Notas científicas, proyectos de investigación, etc.

Al igual que los artículos en extenso, las notas deben incluir cornisa, títulos en español/inglés, nombres de autores y sus datos, un resumen en español y su versión en inglés, así como las palabras clave. Agregar antes de títulos la leyenda Nota científica como renglón aparte. El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre párrafos. Los agradecimientos se pondrán como último párrafo, sin encabezado. La literatura citada, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos en extenso.

Ilustración de la portada

Como parte de las normas establecidas por la SMBC, las ilustraciones consideradas serán aquellas que fueron ganadoras en el Congreso Anual anterior a la publicación de los números de la revista del año siguiente y que se publicará en la portada de los números correspondientes.

