



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). EISSN: 2215-3896.

Diciembre, 2000. Vol 20(3): 52-64.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.20-1.8>

URL: www.revistas.una.ac.cr/ambientales

EMAIL: revista.ambientales@una.cr

Oliver Bach

Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Diversidad, abundancia y distribución de anfibios en fincas bananeras según tipo de manejo agrícola

Diversity, abundance and distribution of amphibians on banana farms according to type of agricultural management

Oliver Bach



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

Diversidad, abundancia y distribución de anfibios en fincas bananeras según tipo de manejo agrícola

por Oliver Bach

Tres fincas bananeras -una bajo tratamiento orgánico y dos manejadas con plaguicidas- situadas en la zona atlántica de Costa Rica fueron comparadas en cuanto a diversidad, abundancia y distribución espacial de anfibios. La finca orgánica presentó mayor riqueza de especies y abundancia de anfibios, seguida por la finca plaguicida I y, por último, la finca plaguicida II. El índice de diversidad relativamente alto de la finca plaguicida I se puede explicar por la cercanía de bosques riparios que la rodean. Las diferencias de diversidad y abundancia no se pudieron explicar por las variables temperatura y humedad relativa entre las tres fincas. En los datos obtenidos por esta investigación se refleja que el manejo agrícola sin agroquímicos de la finca orgánica tiende a mantener una mayor diversidad de anfibios. Los plaguicidas utilizados en las otras dos fincas y su sistema de siembra tuvieron efecto, probablemente, en la reproducción de esos animales.

Amphibian diversity and abundance in three banana plantations - one plantation under organic agricultural treatment and two plantations treated with pesticides- located in the Atlantic region of Costa Rica, were compared. The organic plantation presented the highest number of amphibian species and individuals, followed by pesticide farm I and finally pesticide farm II. The relatively high diversity index found in pesticide farm I might be explained by the closeness of surrounding riparian forests, a natural amphibian habitat. The differences in diversity and abundance between the farms could not be explained by the habitat variables temperature and relative humidity. An agricultural management without pesticides in the organic farm seems to maintain a higher amphibian diversity. The pesticides used in the other two plantations and the way that the banana plants are grown probably had their effect on the reproduction of these amphibians.

Costa Rica cuenta con una importante riqueza de anfibios. Se han descrito 163 especies (Elizondo 1992), de las cuales cinco (*Atelopus varius*, *A. senex*, *Bufo periglenes*, *B. holdridgei* y *Hyalinobatrachium fleischmanni*) están amenazadas (Gendron 1996). El país ha sido dividido en seis zonas herpetofaunísticas; la zona noreste (Figura 1), con 80 especies de anfibios (Savage y Villa 1986), es la que presenta mayor diversidad.

En las últimas décadas, en las bajuras del Caribe, en donde se localiza la zona herpetofaunística noreste, un 5% del bosque tropical húmedo ha sido reemplazado por plantaciones de banano que son manejadas con la aplicación de plaguicidas. Hoy, en 48.500 ha de monocultivo de banano -en las zonas de Guápiles, Sarapiquí, Siquirres, Limón y Valle de la Estrella (Hunter 1994)- se aplican herbicidas con el fin de controlar las poblaciones de mala hierba, nematicidas para el control de nemátodos que atacan las raíces de la planta de banano, fungicidas para manejar el hongo foliar de la sigatoka e insecticidas impregnados en las bolsas de protección del racimo, para evitar daños mecánicos por insectos en la fruta (Soto *et al.* 1992).

En Costa Rica, aproximadamente 50.000 ha de monocultivo de banano son manejadas con aplicación de plaguicidas; en las últimas décadas se manifiesta un incremento en su consumo. La importación de plaguicidas en 1997 (132.130 toneladas) aumentó más de 20 veces en comparación con el año 1991 (6.439 toneladas) (Ministerio de Planificación 1999).

El incremento en el uso de fertilizantes y plaguicidas en los países en desarrollo, especialmente en las regiones tropicales, ha tenido efectos desastrosos sobre las poblaciones de

El autor, biólogo especialista en manejo de vida silvestre, es investigador de la Universidad Nacional.

anfibios (Porter y Hankason 1976). El fenómeno global de la disminución de las poblaciones de anfibios ha sido considerado un problema multifactorial (Wyman 1990, Blaustein 1994, Blaustein *et al.* 1994, McCoy 1994, Pechmann y Wilbur 1994, Blaustein y Wake 1995) de destrucción y fragmentación de hábitats naturales, cambio climático, introducción de especies exóticas, aumento en los niveles de radiación ultravioleta, contaminación por agroquímicos (Berrill *et al.* 1994), químicos industriales y lluvia ácida. Scott y Seigel (1992) han señalado que la contaminación por nematocidas, insecticidas, herbicidas y fungicidas constituye la segunda mayor amenaza para los anfibios después de la destrucción y fragmentación de sus hábitats boscosos, debido a que provocan una mayor sensibilidad a enfermedades (hongos y bacterias). Lips (1997) sospecha que el sistema inmunológico de los anfibios en Costa Rica y Panamá ha sido debilitado por plaguicidas; incluso ha señalado que esos animales son sensibles al ataque de un protozoo que infiltra su piel y provoca su muerte.

Las poblaciones de anfibios son especialmente afectadas por plaguicidas, ya que por su ciclo de vida complejo, con estadios de vida acuáticos y terrestres, se ven expuestos a tóxicos en dos ambientes contaminados. Además, sus huevos, branquias y piel presentan una alta permeabilidad, que facilita la asimilación de agroquímicos (Dunson *et al.* 1992).

La problemática a nivel mundial ha sido mencionada en los trabajos sobre efectos de plaguicidas en anfibios de Kaplan y Yoh (1961), Judd (1977), Kirk (1988), Lambert (1997), Bidwell y Tyler (1997), Bishop y Gendron (1997), Helgen *et al.* (1997), Mann y Alexander (1997) y Harris *et al.* (1998a, 1998b), entre otros. Insecticidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes químicos han sido señalados como los responsables de malformaciones, mortalidad de huevos y alteraciones de ADN en 16 especies de anfibios en la cuenca del río San Lorenzo de Canadá (Jacobs 1998). El fungicida triphyneltn, aplicado en cultivos de papas y remolacha azucarera, ha provocado la muerte y malformaciones de renacuajos de dos especies de ranas de la familia Ranidae en Suiza (Milloy 1998).

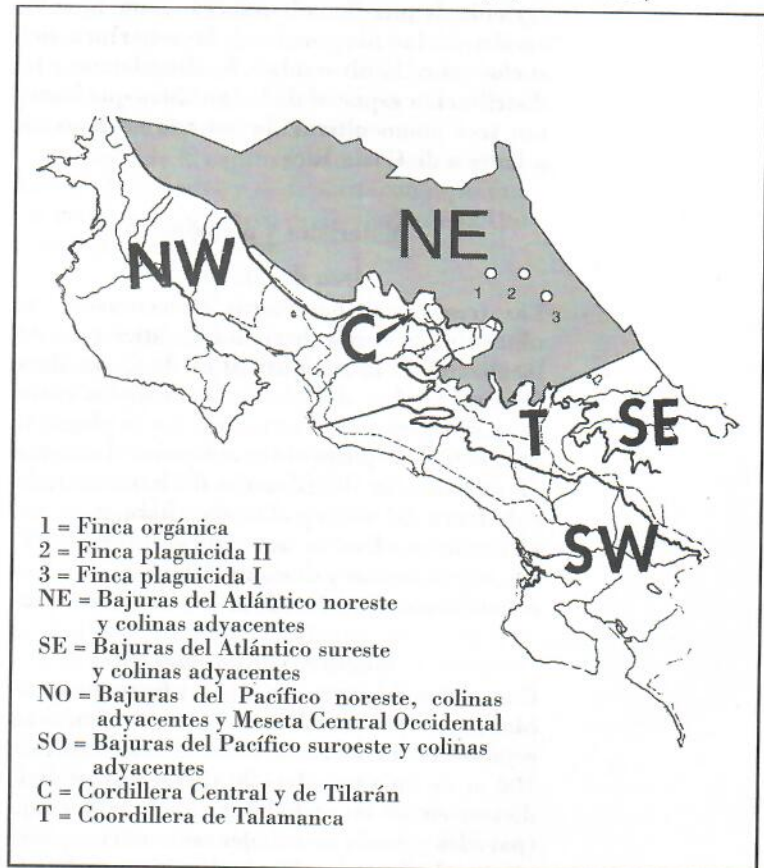
Otros estudios relacionados con el tema son la comparación de la herpetofauna de la Reserva Privada Aviarios del Caribe con una plantación de banano (Bebber *et al.* 1996) y un inventario de vertebrados asociados a plantaciones de banano y otras áreas en la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (Earth) en Guácimo (Buck 1992).

Además, existen estudios sobre anfibios en cultivos abandonados de cacao en la Reserva Biológica La Selva (Slowinski y Crother 1987, Heinen 1992).

En comparación con aves y mamíferos, la batracofauna ha recibido poca atención en los estudios sobre los efectos de plaguicidas en vertebrados (Dunson *et al.* 1992). La mayoría de los estudios del impacto de agroquímicos sobre anfibios son trabajos de laboratorio. Sin embargo, Pulliam (1990) afirma que los efectos de la exposición a tóxicos sobre poblaciones silvestres solamente pueden ser evaluados dentro del contexto de distribución de animales en el hábitat y la exposición de ellos a tóxicos en cada tipo de hábitat. Lacher (1990a, 1990b) plantea que los agroecosistemas son un área importante para investigaciones ecotoxicológicas, las cuales no solamente amplían el conocimiento sobre impactos ambientales, sino también sobre procesos ecológicos básicos.

La presente investigación pretendió establecer, en un estudio comparativo de campo, el efecto de algunos componentes del manejo

Figura 1. Zonas herpetofaunísticas de Costa Rica y ubicación de las áreas de estudio (modificado de Savage y Villa 1986)



Cuadro 1. Características biogeográficas y agronómicas de tres fincas bananeras bajo diferente manejo agrícola

Características biogeográficas	Finca orgánica	Finca plaguicida I	Finca plaguicida II
Ubicación geográfica	830 53' 33" Oeste y 100 13' 57" Norte	830 42' 10" Oeste y 100 13' 15" Norte	830 27' 41" Oeste y 100 09' 02" Norte
Precipitación mensual	479,43 ± 357,71 mm	363,85 ± 222,95 mm	393,53 ± 312,60 mm
Zona de Vida según Tosi (1969)	Bosque muy húmedo tropical	Bosque muy húmedo premontano, transición a basal	Bosque muy húmedo premontano, transición a basal
Altura sobre el nivel de mar	240 m	200 m	62 m
Zona herpetofaunística (según Savage y Villa 1986)	Zona noreste (Ver Fig. 1)	Zona noreste (Ver Fig. 1)	Zona noreste (Ver Fig. 1)
Plantas herbáceas	No se han censado	67 especies	11 especies
Tipo de hábitat en alrededores de las fincas	Pastizales arbolados y bosque ripario	Parches de bosque ripario	Finca bananera, pastizal arbolado y bosque intervenido
Características agronómicas			
Extensión y forma de finca	24 ha; rectangular (aprox. 200 m x 1.250 m)	37,11 ha; rectangular (aprox. 300 m x 1.200 m)	207,53 ha; forma de una L
Certific. agrícola	Instituto Biodinámico de Brasil	No posee certificación agrícola (1997)	"Eco-Ok" (Rainforest Alliance)
Variedad de banano	FHIA-2	Gran Enano	Gran Enano
Sistema de siembra	Doble surco	Triangular ("pata de gallo")	Triangular ("pata de gallo")
Manejo de desechos orgánicos	Los desechos orgánicos se colocan como abono orgánico entre las líneas de siembra, en franja de aproximadamente 1 m de ancho	Hojas y pseudotallos cortados se dejan como abono orgánico en el suelo distribuidos en parches. Los pinzotes se usan para la fabricación de papel	Asimismo, se dejan las hojas, el pinzote y pseudotallos cortados en el suelo. La distribución de estos desechos se hace en parches
Edad de finca	5 años (1994)	14 años (1985)	20 años (1979)

agrícola de una finca bananera -como la aplicación de los plaguicidas y la cobertura del suelo- sobre la diversidad, la abundancia y la distribución espacial de los anfibios que habitan tres monocultivos de banano en la zona atlántica de Costa Rica.

Materiales y métodos

Área de estudio

Las tres fincas bananeras seleccionadas se ubican en la región herpetofaunística noreste localizada en la zona atlántica de Costa Rica (Figura 1). Las diferencias principales entre las tres fincas son el uso o no uso de plaguicidas, el tipo de plaguicidas aplicados el sistema de siembra, la distribución de hojarasca, la cobertura del suelo y el tipo de hábitat en sus alrededores. Las características biogeográficas, agronómicas y de control de plagas se describen con mayor detalle en los Cuadros 1 y 2.

Muestreos de anfibios

Con el fin de capturar e identificar los anfibios presentes en cada una de las tres fincas se establecieron aleatoriamente 90 transectos de 100 m de longitud. Los 90 transectos se dividieron en 30 en el hábitat canal de drenaje (paredes y fondo de canales secundarios y terciarios de drenaje), 30 en el hábitat suelo/ho-

jarasca (suelo, desechos orgánicos de banano, ramas y troncos y vegetación herbácea) y 30 en el hábitat planta (pseudotallo, fitotelmata y hojas de las plantas de banano hasta una altura de 2 m).

Durante cinco meses (desde setiembre de 1997 hasta enero de 1998), se efectuaron seis transectos por hábitat y por mes. Por tres días consecutivos se realizaron dos transectos por hábitat: uno en la mañana (a partir de las 6 horas) y uno en la noche (a partir de las 18 horas) en cada finca. En noviembre sólo se pudieron efectuar dos días de muestreo en la finca orgánica, en vez de tres días planificados. Para homogeneizar el número total de muestreos en las tres fincas, se realizaron en esa finca cuatro días de muestreo en diciembre.

Cada día se muestrearon tres transectos -un transecto por tipo de hábitat- durante el muestreo de la mañana y tres transectos durante el muestreo de la noche. Antes de iniciar el muestreo, se enumeraron los posibles transectos en los hábitats canal de drenaje, suelo/hojarasca y plantas, utilizando el mapa de cada finca y se eligieron nueve números aleatorios para los tres transectos por hábitat.

En el caso del muestreo en los transectos de plantas, se enumeraron las líneas de siembra perpendiculares a los cablevías de la plantación. Para el muestreo en el hábitat suelo y

Cuadro 2. Control de plagas en dos fincas bananeras manejadas con plaguicidas

	Finca plaguicida I	Finca plaguicida II
Frecuencia de aplicación	Fungicida Bravo: una fumigación aérea/semana; Nematicidas: 1 ^{er} ciclo: febrero/marzo con Furadan (Carbofuran); 2 ^{do} ciclo: junio/julio con Counter15; 3 ^{er} ciclo: setiembre/octubre con Trimat y Trirafz; Herbicida Roundup: cada 8 a 12 días	Fungicidas Dithane (Mancozeb), Baycor y Calixin (Tridemorf): cada 15 días; Nematicidas: dos ciclos por año, 1 ^{er} ciclo (05/97): con Counter 10 G, 2 ^{do} ciclo (09 /97): con Mocap 15 FC
Dosis por hectárea	Bravo (Clorotalonil): 2 l/ha.; Furadan: 71 kg/ha; Counter 15 (Terbufos): 49 kg/ha; Roundup (glifosato): 0,8 l/ha	Counter 10 G: 54 kg/ha; Mocap 15 FC (Etoprofos): 36 kg/ha
Toxicidad (Castillo et al. 1995)	Bravo: extrema (peces), ligera (aves); Furadan: extrema (peces y aves); Counter 15: extrema (peces), mediana (aves); Roundup: moderada (peces), ligera (aves)	Dithane y Calixin: extrema (peces), ligera (aves) Counter 10 G: extrema (peces), mediana (aves) Mocap 15 FC: moderada (peces), mediana (aves)
Bioacumulación	Furadan: ligera, Counter15: alta, Bravo: mediana Herbicida Roundup: ligera	Mocap: de mediana a alta, Counter 10 G: alta, Fungicida Calixin: alta

hojarasca, se utilizaron los espacios entre estas líneas enumeradas y para el hábitat planta se enumeraron las líneas de siembra perpendiculares a estos cablevías. Los canales de drenaje se enumeraron y se eligieron seis al azar posteriormente.

En las noches se utilizó una linterna de cabeza con bombillo halógeno con el fin de asegurar suficiente luz para la búsqueda de los anfibios. La longitud de los transectos se midió con una cinta métrica Keson de 100 m durante el muestreo. Se registró la temperatura con un termómetro digital Reotemp TM 99-A de precisión de un dígito y la humedad en el sitio de localización de los animales mediante un higrómetro digital Protimeter para la caracterización de microhábitat (Inger 1994).

En los canales de drenaje se revisaron minuciosamente el fondo y las paredes. En promedio se trabajó una superficie de 200 m² en los canales. Los animales detectados se capturaron y para cada uno se anotó especie, distancia al margen de la finca, temperatura del sustrato del sitio de captura y la humedad del sitio de captura. En el hábitat suelo y hojarasca se revisó una franja de 2 m de ancho para cada 100 m de longitud. Se levantó cuidadosamente la hojarasca y se revisaron pseudotallos y hojas cortados, y se midió la distancia del animal al límite de la finca, así como también la temperatura y la humedad. Además, se midió la profundidad de hojarasca en el sitio donde se encontró el animal. En el caso del há-

bitat planta se examinaron pseudotallo, pseudopociolo, hojas, racimo, fitotelmata y espacios entre hojas cortadas y tallos hasta una altura de 2 m. Además de la temperatura y humedad del sitio de captura del anfibio y la distancia del animal al límite de la finca, se registró la altura del individuo en relación al suelo y la altura de la planta.

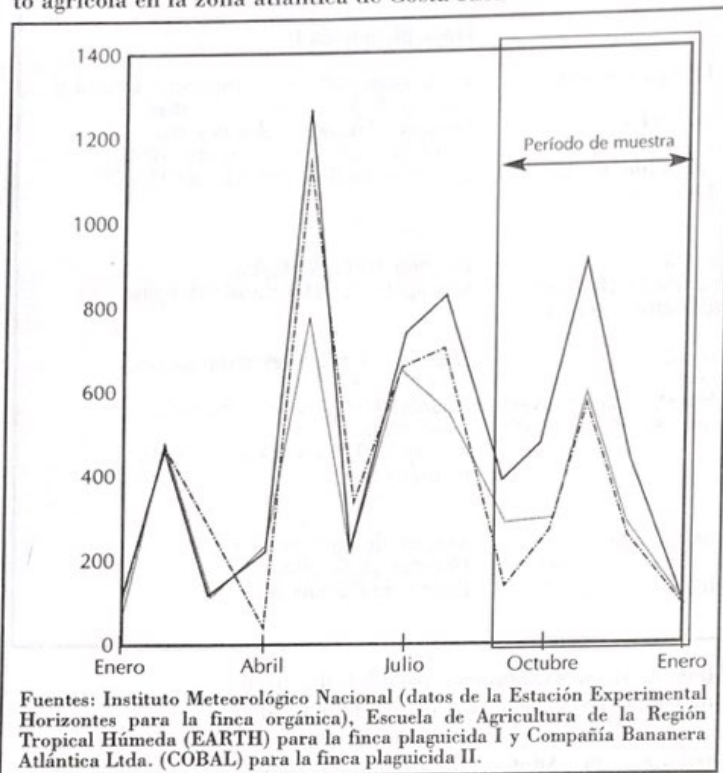
Después de la captura, todos los individuos fueron clasificados y se depositaron especímenes testigos en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica.

Análisis estadístico

Se calcularon los índices de diversidad de Shannon en base logarítmica de 10 (Brower et al. 1990) para las tres fincas. Con el método de Jackknifing se calcularon pseudovalores para generar muestras de índices de diversidad comparables. Estos pseudovalores se compararon con un análisis de varianza y pruebas a posteriori de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher. Se calculó el índice de similitud de comunidades de Morisita (Brower et al. 1990) entre las tres fincas, con el propósito de analizar la semejanza de las comunidades de anfibios. Se calcularon dendrogramas de similitud (Navarro 1984) de las comunidades de anfibios de las tres fincas bananeras basado en este índice de similitud.

El número de individuos de anfibios por hábitat entre las tres fincas y entre hábitats dentro de cada finca se comparó con un ande-

Figura 2. Precipitación promedio mensual de enero de 1997 a enero de 1998 para tres fincas bananeras bajo diferente tratamiento agrícola en la zona atlántica de Costa Rica



va de dos vías y una prueba a posteriori de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher. En el cálculo de la densidad de los animales (número total de animales en todos los transectos), se consideró un área de muestreo de 1,8 ha por finca (90 transectos por 100 m de longitud por 2 m de ancho para los tres hábitats).

Los valores de temperatura, humedad, altura del individuo sobre el suelo, altura de plantas y profundidad de hojarasca se chequearon por su ajuste a la distribución normal. La homogeneidad de varianza de los datos se chequeó con las pruebas de Cochran y Bartlett. La aleatoriedad de datos se puso a prueba con la prueba de Z, del cual se señaló la probabilidad de dos colas de igualar o exceder este valor Z. En el caso de las especies *Bufo marinus* y *Scinax elaeochroa* se efectuaron andevas múltiples de las variables temperatura y humedad por finca, por hábitat, por mañana/noche y por mes. Para *Scinax elaeochroa* se compararon las alturas de los individuos sobre el suelo y las alturas de las plantas de banano entre las tres fincas con un andeva de una vía. Se seleccionaron estas dos especies porque contaban con una abundan-

cia suficiente para los análisis estadísticos, la cual, dividida por finca, por hábitat, por mes y por mañana/noche se analizó además con andevas factoriales. En el caso de diferencias significativas, se aplicaron comparaciones por pares de Tukey como pruebas a posteriori. Se calcularon los promedios y desviaciones estándar de las variables temperatura y humedad relativa para estas dos especies.

El número de individuos en la franja exterior de 100 m de cada finca (borde) y en el centro (considerado como área central dentro de esta franja) de las especies *Bufo marinus* y *Scinax elaeochroa* se comparó con una prueba de Chi-Cuadrado (Sokal y Rohlf 1981) para detectar un efecto de borde por posibles hábitat fuentes, como por ejemplo bosques riparios que rodean las fincas.

Los análisis estadísticos fueron realizados con los programas computacionales Statgraphics 3.1 para Windows (Statistical Graphics Corp. 1994-1997) y Systat 5.04 para Windows (Systat, Inc. 1990-1994). Los dendrogramas de similitud se efectuaron con el programa computacional ACOM (Navarro 1984).

Resultados

Precipitación

Las tres fincas se caracterizan por localizarse en regiones en las cuales el patrón de precipitación mensual (mm) para los cinco meses de estudio (setiembre, octubre, noviembre y diciembre de 1997 y enero de 1998) no fue significativamente diferente ($F=0,98$; $gl=14$; $P=0,402$) (Figura 2).

Diversidad, abundancia y similitud de anfibios

Se capturaron 141 individuos y se lograron identificar 18 especies de anfibios en las tres fincas (Cuadro 3). El índice de diversidad de Shannon H' indica una mayor diversidad de especies para la finca orgánica ($H'=0,928$) en relación con la finca plaguicida I ($H'=0,553$) ($Q=0,36$; $gl=1$; $P<0,05$), una mayor diversidad para la finca orgánica ($H'=0,928$) en relación con la finca plaguicida II ($H'=0,298$) ($Q=0,66$; $gl=1$; $P<0,05$) y una mayor diversidad para la finca plaguicida I ($H'=0,553$) en relación con la finca plaguicida II ($H'=0,298$) ($Q=0,30$; $gl=1$; $P<0,05$) ($F=130,03$; $gl=24$; $P<0,00009$).

El dendrograma de similitud de comunidades de anfibios entre las tres fincas bananeras (Figura 3), basado en el índice de similitud de Morisita (Brower *et al.* 1990), indica una similitud de un 71,5% entre finca plaguicida I y finca plaguicida II, mientras que la finca orgánica sólo tiene un 21,4% de similitud con las dos fincas manejadas con plaguicidas.

En relación con la abundancia, la finca orgánica presentó más individuos que la finca plaguicida II ($Q=19,0$; $gl=1$; $P<0,05$) y la finca plaguicida I presentó más individuos que la finca plaguicida II ($Q=15,33$; $gl=1$; $P<0,05$), mientras que no hubo diferencias significativas entre las fincas orgánica y plaguicida I ($Q=3,67$; $gl=1$; $P>0,05$) ($F=10,97$; $gl=2$; $P=0,02$). Considerando los tres diferentes hábitats (canales de drenaje, suelo/hojarasca y plantas), el número de individuos capturados en las tres fincas juntas fue similar ($F=1,88$; $gl=2$; $P=0,27$).

Las dos especies más abundantes fueron *Bufo marinus* con 46 individuos y *Scinax elaeochroa* con 38 individuos. La densidad de *B. marinus* fue de 1,7 individuos por hectárea en la finca orgánica, 5,6 /ha para la finca plaguicida II y 18,9 /ha para la plaguicida I respectivamente. La densidad de *S. elaeochroa* fue de 13,3 /ha para la finca orgánica y 7,8 /ha para la finca plaguicida I, respectivamente.

En el caso de *Bufo marinus*, la abundancia varió entre las tres fincas. Asimismo, el número de individuos fue mayor en el hábitat suelo/hojarasca que en los hábitat canal de drenaje (Q de Fisher=0,289; $gl=1$; $P<0,0009$) y planta (Q de Fisher=0,278; $gl=1$; $P<0,0009$), respectivamente, y más individuos en setiembre que en los meses octubre (Q de Fisher=0,278; $gl=1$; $P=0,025$), diciembre (Q de Fisher=0,333; $gl=1$; $P=0,003$) y enero (Q de Fisher=0,259; $gl=1$; $P=0,045$), pero no hubo diferencias de abundancia entre la mañana y la noche.

Variables de hábitat y distribución espacial

Para esta especie, los datos muestran que la temperatura de los sitios donde se capturaron los individuos no presentaron diferencias significativas ni entre fincas, ni entre hábitats, ni entre mañana y noche, mientras sí fue diferente entre los meses: enero presentó menores temperaturas ($24,37^{\circ}\text{C} \pm 1,70$) que los meses setiembre ($26,70^{\circ}\text{C} \pm 2,44$) (Q de Fisher=2,23; $gl=1$; $P=0,05$) y noviembre ($27,37^{\circ}\text{C} \pm 1,86$) (Q de Fisher=2,26; $gl=1$; $P=0,013$), respectivamente. La humedad de los sitios de captura no variaba entre las fincas, ni entre mañana y noche, mientras sí fue diferente entre tipos de hábitat y meses. La humedad relativa en estos sitios fue menor en los canales de drenaje ($69,30\% \pm 8,86$) que en los hábitats suelo/hojarasca ($79,84\% \pm 14,37$) (Q de Fisher=10,54; $gl=2$; $P=0,045$) y plantas ($81,95\% \pm 11,30$) (Q de Fisher=12,65; $gl=1$; $P<0,05$), respectivamente. Los valores de humedad fueron menores en los meses enero ($66,65\% \pm 8,76$) que en los meses setiembre ($85,60\% \pm$

Cuadro 3. Especies de anfibios identificadas en tres fincas bananeras de la zona atlántica de Costa Rica y número de individuos capturados por especie

	Orgánica	Plaguicida I	Plaguicida II
Plethodontidae			
<i>Bolitoglossa striatula</i>	3	1	-
Leptodactylidae			
<i>Eleutherodactylus bransfordii</i>	9	1	-
<i>E. crassidigitus</i>	3	-	-
<i>E. fitzingeri</i>	7	4	-
<i>Leptodactylus melanonotus</i>	1	-	-
<i>L. pentadactylus</i>	1	-	-
Bufonidae			
<i>Bufo marinus</i>	3	33	10
<i>B. haematiticus</i>	-	1	-
Hylidae			
<i>Hyla phlebodes</i>	2	-	-
<i>Scinax boulengeri</i>	-	1	-
<i>S. elaeochroa</i>	24	14	-
<i>Smilisca baudinii</i>	-	-	2
<i>S. phaeota</i>	-	1	1
<i>S. puma</i>	7	-	-
<i>S. sordida</i>	2	-	-
Dendrobatidae			
<i>Dendrobates pumilio</i>	7	-	-
Centrolenidae			
<i>Hyalinobatrachium colymbiophyllum</i>	-	1	-
Ranidae			
<i>Rana vaillanti</i>	2	-	-
Total de individuos	71	57	13

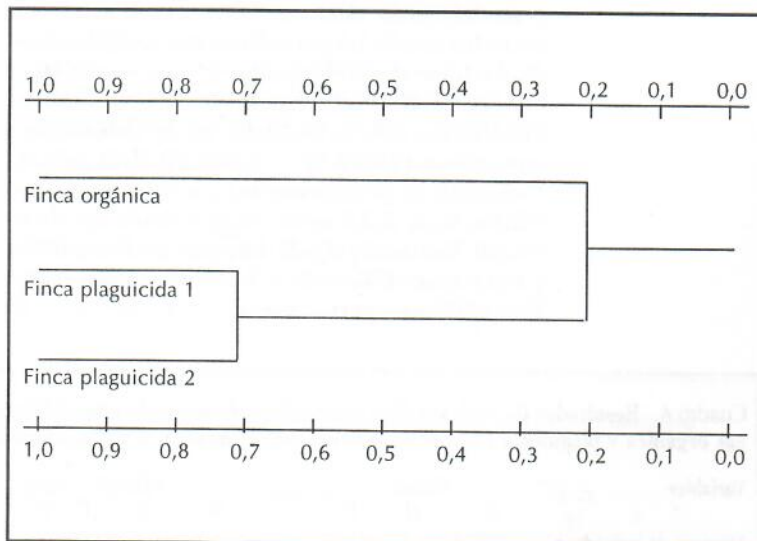


Figura 3. Dendrograma de similitud de las comunidades de anfibios de las tres fincas, basado en el índice de similitud de comunidades de Morisita (Brower *et al.* 1990) construido con el método de unión del vecino próximo (Pielou 1994)

12,52) (Q de Fisher=18,94; gl=1; $P<0,009$) y octubre (88,36 % \pm 9,98) (Q de Fisher=21,71; gl=1; $P<0,0009$), respectivamente, y mayores en setiembre (85,60 % \pm 12,52) que en noviembre (72,19 % \pm 9,58) (Q de Fisher=13,41; gl=1; $P=0,007$) (Cuadro 5). Se capturaron más individuos de *B. marinus* en el margen exterior de la finca (34 y 10 individuos respectivamente) que en su centro (0 ind.) dentro de la finca plaguicida I ($X^2=9,10$; gl=1; $P<0,005$) y dentro de la finca plaguicida II ($X^2=7,30$; gl=1; $P<0,01$).

El número de individuos del hílido *S. elaeochroa* no difirió de manera significativa entre la finca orgánica y plaguicida I, ni entre los meses del período de muestreo. Sin embargo, sí se encontraron más individuos en la noche (27 ind.) que en la mañana (10 ind.) y más individuos en las plantas que en los canales de drenaje (Q de Fisher=0,367; gl=1; $P=0,002$) y suelo/hojarasca (Q de Fisher=0,417; gl=1; $P<0,0009$), respectivamente.

Para esta especie, los datos muestran que la temperatura de los sitios donde se capturaron los individuos no variaba significativamente entre las fincas orgánica y plaguicida I, ni entre los tres tipos de hábitat, mientras sí fue mayor en las mañanas (26,12°C \pm 1,58) que en las noches (24,88°C \pm 1,63) y mayor en el mes de noviembre (27,58°C \pm 1,44) que en el mes de octubre (25,54°C \pm 1,35) (Q de Fisher=2,28; gl=2; $P=0,036$) y enero (24,86 \pm °C \pm 1,69) (Q de Fisher=2,81; gl=1; $P<0,0009$), respectivamente (Cuadro 4). En el caso de la humedad relativa de los sitios de localización de los animales no hubo diferencias entre las fincas, ni entre tipos de hábitat, ni entre mañana y noche, pero sí se encontraron diferencias entre los meses del período de estudio (Cuadro 4). La humedad relativa fue menor en diciembre (70,68 % \pm 7,16) que en los meses octubre (81,10 % \pm 6,62) (Q=10,42; gl=1; $P=0,040$) y noviembre (78,39 % \pm 7,06) (Q=7,71; gl=1; $P=0,022$), respectivamente, y menor en enero (63,81 % \pm 8,25) que en los meses octubre (81,10 % \pm 6,62) (Q=17,28; gl=1,0; $P<0,0009$) y noviembre (78,39 % \pm 7,06) (Q=14,58; gl=1; $P<0,0009$), respectivamente.

La altura en la cual se capturaron los individuos de *S. elaeochroa* en las plantas de banano (finca orgánica: 77,4 cm \pm 54,7 y finca plaguicida I: 98,3 cm \pm 72,6) no fue diferente entre las dos fincas (F=0,79; gl=28; $P=0,38$), ni la altura de las variedades de plantas de banano (fincas orgánica: 271,8 cm \pm 122,9 y plaguicida I: 245,8 cm \pm 103,4), donde se encontraron estos hílidos (F=0,36; gl=28; $P=0,56$).

Los individuos de *S. elaeochroa* sólo se distribuyeron homogéneamente a nivel de distribución espacial horizontal en la finca orgánica ($X^2=0,17$; gl=1; $P=0,76$), mientras que en la finca plaguicida I se capturaron más individuos de esta especie en el margen exterior de la finca (14 individuos) que en su centro (0 ind.) ($X^2=3,75$; gl=1; $P=0,05$).

Discusión

Diversidad, abundancia y similitud de comunidades de anfibios

La finca orgánica presentó la mayor diversidad de anfibios de las tres fincas consideradas, con ocho especies que no se encontraron en las dos fincas manejadas con plaguicidas (tres especies de la familia Leptodactylidae, tres especies de la Familia Hylidae, una especie de la familia Dendrobatidae y una especie de la familia Ranidae), cuatro de las cuales están reconocidas como habitantes primordialmente de hojarasca. Heinen (1992) señala que existe una correlación negativa entre la diversidad de herpetofauna de hojarasca en cultivos agrícolas y el tiempo de perturbación en estos cultivos, en comparación con sitios de bosque primario. La finca orgánica con nueve especies de anfibios de hojarasca encontradas en total y la mayor diversidad de anfibios de hojarasca puede ser considerada la menos perturbada de las tres fincas. Esta finca presenta el menor tiempo de perturbación, porque tiene la menor edad (cinco años) de establecimiento en comparación con las dos fincas manejadas con plaguicidas (14 y 20 años). En estos resultados también podría influir la aplicación o no aplicación de

Cuadro 4. Resultados de Andevas de abundancias y de datos de microhábitat para la especie *Scinax elaeochroa* (Hylidae) en las fincas orgánica y plaguicida I (no se encontró a esta especie en la finca plaguicida II durante la investigación)

Variables	Fincas			Hábitat			Meses			Hora		
	F	gl	P	F	gl	P	F	gl	P	F	gl	P
Número de individuos	2,997	1	0,085	9,048	2	<0,0009	1,774	4	0,316	4,678	1	0,032
Temperatura (°C)	3,236	1	0,082	1,622	2	0,215	16,309	3	<0,0009	4,586	1	0,041
Humedad relativa (%)	0,070	1	0,793	0,047	2	0,954	14,002	3	<0,0009	0,001	1	0,981

plaguicidas, ya que ciertos agroquímicos han sido señalados como causantes de mortalidad de huevos y renacuajos o malformaciones de ciertas especies de anfibios entre otros efectos toxicológicos.

Lieberman (1986), en un estudio realizado en la Reserva Biológica La Selva, con un esfuerzo de muestreo similar al de esta investigación, encontró 22 especies de anfibios de hojarasca en bosque primario y 14 especies en un cultivo de cacao abandonado, mientras que en la finca orgánica de este estudio se encontraron nueve especies, cinco especies en la finca plaguicida I y una en la finca plaguicida II, respectivamente. El hecho de que la finca orgánica presenta más diversidad de especies de anfibios de hojarasca que las fincas plaguicida I y II, puede ser un indicador de un agroecosistema más sano, ya que en esta primera finca el número de especies de anfibios de hojarasca se acerca más a los resultados encontrados en el hábitat natural de bosque tropical húmedo de bajura.

Las comunidades de anfibios de las dos fincas con plaguicidas presentan mayor similitud que las comunidades de estos animales de estas fincas con la finca orgánica, lo cual indica que las fincas manejadas con plaguicidas presentan su propia asociación de especies, mientras que en la finca orgánica prevalecen otras especies (Cuadro 3). Debido a que las variables temperatura y humedad no fueron significativamente diferentes al analizar las dos especies más abundantes (*B. marinus* y *S. elaeochroa*), se podría considerar que estas dos variables no están determinando las similitudes o diferencias mencionadas.

La finca orgánica presentó la más alta densidad para *S. elaeochroa* y la más baja densidad para *B. marinus*. La comparación de las variables de microhábitat de *B. marinus* y *S. elaeochroa* entre las tres fincas parece excluir estos factores como causa de las diferencias de abundancia.

Scinax elaeochroa

El hábitat natural de *S. elaeochroa* es el bosque húmedo de bajura, donde su actividad se

extiende por todo el año. El apareamiento depende de lluvias fuertes que forman charcos temporales. Los picos de actividades reproductivas se han observado después de estas fuertes precipitaciones (Duellman 1970). Esta especie se ha adaptado bien a hábitats alterados tales como pastizales y cultivos agrícolas de la zona atlántica. En las fincas bananeras los machos cantan desde la vegetación (poáceas, etcétera) emergente de acumulaciones de agua en canales de drenaje secundarios. Las condiciones para esta especie parecen ser especialmente favorables en la finca orgánica, por presentar una cobertura herbácea más densa y más diversa que las fincas manejadas con plaguicidas. Los resultados de abundancia por tipo de hábitat y mañana/noche corresponden a la historia natural de una especie nocturna y arborícola.

Considerando la distribución espacial horizontal del hílido *S. elaeochroa*, esta especie fue más abundante en los márgenes de la finca plaguicida I que en su centro, mientras la distribución en la finca orgánica fue homogénea, lo que parece indicar que la finca plaguicida I se usa como hábitat sumidero (*sink habitat*) y que la población fuente de esta especie habita en los bosques riparios de los alrededores de este monocultivo de banano.

Bufo marinus

En relación a *B. marinus*, especie que presentó mayores densidades en las fincas manejadas con plaguicidas (18,9 y 5,6 individuos respectivamente por hectárea), se podría estar reflejando la alta plasticidad de este sapo oportunista, el cual hoy día ha sido señalado como una especie más común alrededor de asentamientos humanos y áreas alteradas que en hábitats naturales (Zug 1983).

En términos generales, *B. marinus* fue la especie más abundante; reflejó no sólo tolerancia a la presencia de agroquímicos, sino también su amplia tolerancia a temperaturas altas (Duellman y Trueb 1994), que en las fincas bananeras en situaciones extremas pueden incluso superar los 40°C. Las abundancias altas en el hábitat suelo/hojarasca, indican las preferencias de

Cuadro 5. Andevas de abundancias y de datos de microhábitat para la especie *Bufo marinus* (Bufonidae) en tres fincas bananeras bajo diferente manejo agrícola

Variables	Fincas			Hábitat			Meses			Hora		
	F	gl	P	F	gl	P	F	gl	P	F	gl	P
Número de individuos	10,72	2	<0,0009	10,16	2	<0,0009	3,79	4	0,005	1,11	1	0,298
Temperatura (°C)	1,77	2	0,186	0,49	2	0,618	3,22	4	0,024	1,12	1	0,297
Humedad relativa (%)	1,19	2	0,317	3,33	2	0,048	10,31	4	<0,0009	0,03	1	0,866

Cuadro 6. Promedios de individuos capturados de *B. marinus* en tres fincas bananeras bajo diferente manejo agrícola

Finca	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre			Enero		
	C	S	P	C	S	P	C	S	P	C	S	P	C	S	P
Orgánica							0,33						0,17		
							±						±		
							0,52						0,41		
Plaguicida I	1,00	1,67		0,17	0,67		0,67			0,17	0,33		0,17	0,33	0,17
	±	±		±	±		±			±	±		±	±	±
	0,00	0,82		0,41	0,52		0,52			0,41	0,52		0,41	0,52	0,41
Plaguicida II		0,83		0,17			0,33						0,17	0,17	
		±		±			±						±	±	
		0,41		0,41			0,52						0,41	0,41	

C = Canal S = Suelo P = Planta

una especie terrestre que satisface sus requerimientos alimenticios en este estrato (véase Cuadro 6).

Historia natural de las especies encontradas en las fincas

Las diferentes especies encontradas están asociadas preferentemente con zonas abiertas. En el caso de la finca plaguicida II, las especies que se han encontrado corresponden a aquellas que según Scott y Limerick (1983) depositan sus huevos en charcos temporales (*Smilisca baudinii* y *S. phaeota*) o permanentes (*B. marinus*) y pueden aprovechar el agua acumulada en los canales de drenaje para su desarrollo larval. Sería necesario realizar estudios de toxicidad de laboratorio con los renacuajos de estas especies para confirmar su relativa resistencia a los plaguicidas utilizados en esta finca.

Las especies identificadas para la finca plaguicida I (*Bufo marinus*, *B. haematiticus*, *S. boulengeri*, *S. elaeochroa*, *S. phaeota*) también presentan el modo de reproducción mencionado. *B. haematiticus* requiere charcos formados por riachuelos de bosque (Scott 1983a) y el centrolénido (*Hyalinobatrachium colymbiphylum*) deposita sus huevos en la vegetación asociada a riachuelos (Scott y Limerick 1983). Ambas especies entran probablemente al monocultivo como un hábitat sumidero desde los bosques riparios colindantes con la finca, las cuales se podrían considerar los hábitats fuente.

Bolitoglossa striatula, *Eleutherodactylus bransfordii* y *E. fitzingeri*, tres especies que presentan desarrollo directo de sus huevos en la tierra (Scott y Limerick 1983), se encontraron en los márgenes de esta finca, lo cual sugiere una oviposición fuera de la finca bananera para evitar la exposición por los residuos de plaguicidas acumulados en los suelos de ella.

La mayor abundancia de especies del género *Eleutherodactylus* en la finca orgánica podría resultar de la menor perturbación de la hojarasca y su distribución entre las líneas de siembra, tanto como de la no aplicación de plaguicidas en este monocultivo. *E. bransfordii* y *E. fitzingeri* son especies que habitan la hojarasca y aprovechan los artrópodos asociados a ella (Miyamoto 1982, Scott 1983b). Las especies del género *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) dominan la asociación de especies de hojarasca en el bosque primario de la Estación Biológica La Selva (Lieberman 1986, Heinen 1992).

Las diferentes especies que se capturaron en la finca orgánica están representadas por seis especies que depositan sus huevos en charcos temporales (Scott y Limerick 1983) (*Bufo marinus*, *Hyla phlebodes*, *S. elaeochroa*, *Smilisca puma*, *S. sordida* y *Rana vaillanti*) y cuatro especies que presentan desarrollo directo de sus huevos en la tierra (Scott y Limerick 1983) (*B. striatula*, *E. bransfordii*, *E. crassidigitus* y *E. fitzingeri*). Además, dos especies (*Leptodactylus melanonotus* y *L. pentadactylus*) depositan sus huevos en nidos espumosos y sus renacuajos se desarrollan en charcos temporales (Scott y Limerick 1983) de los canales de drenaje. La especie *Dendrobates pumilio*, que deposita sus huevos en la tierra y transporta los renacuajos en su espalda a acumulaciones de agua en las axilas de las bromelias, donde completan su desarrollo larval (Scott y Limerick 1983), solamente fue capturada en esta finca, donde ella es, definitivamente, favorecida por la existencia de árboles y sus epífitas. En tal sentido, esta especie puede ser considerada como un indicador de un hábitat relativamente intacto, ya que, por lo general, ella sólo se encuentra en bosques primarios, secundarios y riparios.

Se podría señalar que la principal diferencia entre la finca orgánica y las dos fincas ma-

nejadas con plaguicidas consiste, entonces, en la mayor riqueza de especies de la familia Lepidodactylidae y la presencia de una especie de la familia Dendrobatidae. La presencia de las primeras probablemente esté favorecida por la mayor abundancia de artrópodos de suelo como principal alimento de estas especies y deberse a un hábitat suelo/hojarasca no contaminado por plaguicidas, que favorece más la sobrevivencia y el desarrollo de sus huevos. En el caso de *D. pumilio*, la presencia de árboles con bromelias en la finca orgánica favorece la sobrevivencia de esta rana venenosa.

Posibles efectos de los plaguicidas aplicados

En los patrones de diversidad y abundancia encontrados, la aplicación de plaguicidas desempeña un papel preponderante. Bidwell y Tyler (1997) demostraron la toxicidad del surfactante del herbicida Roundup en dos especies de anuros de Australia que, en pruebas de laboratorio, causó la muerte. Este plaguicida también se utiliza en la finca plaguicida I, por lo que se puede esperar también un efecto tóxico sobre algunas especies de anfibios presentes en ese agroecosistema. Estudios de toxicidad de Roundup con *Dendrobates pumilio* y *Scinax elaeochroa* en el laboratorio pueden aclarar este asunto. Esas dos especies se reproducen en cautiverio y no se tienen que extraer de poblaciones naturales.

Lewis y Lewis (1979) mencionan algunas respuestas hipotéticas de vertebrados a contaminación crónica: en cuanto a mortalidad, a fertilidad, a fecundidad, a supresión inmunológica, a cambios genéticos, a letargo, a selección de hábitat, a otros efectos indirectos manifestados por reducida capacidad de carga mediante destrucción directa de la vegetación y factores que afectan los nutrientes del suelo y la calidad nutritiva de la vegetación. Peterle (1992) menciona, como un efecto de sustancias tóxicas sobre la diversidad de especies, la eliminación de las altamente sensibles, la alteración de papeles tradicionales de relaciones interespecíficas o interacciones depredador-presa y la depredación incrementada como resultado de presas más vulnerables, aun en niveles reducidos de poblaciones de presa. Este efecto puede alterar la composición de especies como resultado indirecto de la exposición a sustancias tóxicas, como se percibe en los resultados de la abundancia y diversidad de las fincas plaguicida I y II de este estudio.

El uso extensivo de plaguicidas con residuos que contaminan el suelo y el agua son altamente perjudiciales para los anfibios. Los huevos y renacuajos acuáticos son particularmente susceptibles a esas sustancias tóxicas.



Gerhard Eisenschink

Varias de éstas afectan el desarrollo embrionario y larval: causan un porcentaje alto de anomalías o una tasa de desarrollo disminuida que resulta en períodos larvales prolongados o juveniles enanos (Judd 1977, Mohanty-Hejmadi y Mallick 1981, Dunson y Connell 1982). Ouellet *et al.* (1997) y Bonin *et al.* (1997) mostraron una asociación entre el uso de plaguicidas en tierras agrícolas y malformaciones de anfibios que habitan en esos cultivos.

Bosques riparios y sistema de siembra

Al contrario, los bosques ribereños que rodean la finca plaguicida I también pueden tener un impacto positivo sobre la riqueza de especies y abundancia de anfibios en los márgenes de esta finca bananera. Ese efecto fue mostrado por Rudolph y Dickson (1990), que en su investigación encontraron que el ancho de los bosques ribereños aumenta de manera significativa la abundancia de anfibios y reptiles en la parte este de Texas.

El sistema de siembra puede estar influyendo sobre las poblaciones de anfibios en las diferentes fincas. En el caso de la finca orgánica, el sistema de doble surco con las plantas de banana sembradas en línea posibilita un control agronómico más eficiente y de intervalos más largos, con la consiguiente menor perturbación por trabajadores y maquinaria agrícola. El doble surco también posibilita una colocación más sistemática de los desechos orgánicos en una franja continua entre dos líneas de siembra, en comparación con el sistema de siembra triangu-

lar ("pata de gallo") de las dos fincas con plaguicidas; así puede facilitar un hábitat más amplio para los anfibios de hojarasca.

Sugerencias para futuros estudios

Los nematicidas y fungicidas utilizados en las fincas plaguicida I y II tienen probablemente efecto negativo en la reproducción de los anfibios, ya que estos agroquímicos han sido señalados como de toxicidad alta para peces y organismos acuáticos (Cuadro 3). Además, estos plaguicidas pertenecen en su mayoría a los grupos químicos de organofosforados y carbamatos, los cuales se bioacumulan más en vertebrados. Pruebas de toxicidad de laboratorio de estas sustancias en el estado larval acuático de anfibios (renacuajos) de Costa Rica serían altamente recomendables en el análisis del efecto de estos plaguicidas sobre las poblaciones de anfibios en las fincas bananeras.

Para poder cuantificar mejor el efecto de plaguicidas sobre la cadena alimenticia, en la cual están incluidos los anfibios, sugiero la realización de estudios comparativos parecidos a esta investigación con: (1) aves, por la complejidad de su dieta; (2) artrópodos, como alimento principal de anfibios, y (3) arañas (Ctenidae), como depredadores de hílidos juveniles (Donnelly y Guyer 1994). Asimismo, se deben realizar estudios de toxicidad de herbicidas, nematicidas y fungicidas sobre anfibios neotropicales (*S. elaeochroa* y *D. pumilio*), ya que los parámetros de toxicidad de estos agroquímicos se elaboraron con base en estudios de toxicidad con animales neárticos.

Para mejorar el presente estudio, hay que considerar fincas con hábitats parecidos en sus alrededores, muestrear en el pico de reproducción de anfibios de Costa Rica entre abril y agosto (Duellman 1970) y tratar de cuantificar el contenido de plaguicidas y sus residuos en los diferentes sustratos donde se capturaron los anfibios (suelo, hojarasca y plantas).

Recomendaciones para un manejo agrícola favorable a la conservación de anfibios

Para el mejoramiento del manejo de los monocultivos tradicionales de banano en transición a monocultivos orgánicos, recomiendo, desde el punto de vista de manejo y conservación de anfibios, lo siguiente: la eliminación de herbicidas y nematicidas a corto plazo y la realización de más investigaciones sobre el manejo de la sigatoka negra sin agroquímicos que conduzcan a la producción de banano sin fungicidas químicos, con el fin de reducir los niveles

de contaminación en suelos y aguas, hábitat de anfibios y de otros vertebrados. Una finca bananera orgánicamente manejada no sólo gasta menos capital en insumos químicos, sino que también conserva la fertilidad de los suelos a largo plazo. Se debería efectuar la conservación de parches de bosque secundario y la reforestación con especies nativas de las orillas de ríos y canales primarios dentro de las fincas para aumentar el área de hábitat boscoso, refugio de vertebrados e invertebrados dentro de las grandes extensiones de monocultivos bananeros. Además, propongo reunir los esfuerzos de las universidades estatales y privadas con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales nacionales e internacionales, con el propósito de fomentar la producción orgánica de banano en monocultivo con variedades comerciales aceptadas, así como también la producción sin agroquímicos de otros productos agrícolas neotropicales. Esto con el objetivo de ahorrar capital en importación de agroquímicos y disminuir los niveles de contaminación en los productos agrícolas, suelos y agua, lo que tendrá un efecto positivo en la salud de los costarricenses y de los ecosistemas neotropicales a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Bebber, D.; J. Still y A. Paterson. 1996. *The Oxford University Expedition to Costa Rica 1995- Report*. (Mecanografiado).
- Berrill, M. et al. 1994. "Effects of low concentrations of forest-use pesticides on frog embryos and tadpoles", en *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13.
- Bidwell, J. y M. J. Tyler. 1997. "Herbicides pose threat to frogs and tadpoles", en *Herpetology '97 - Abstracts of the Third World Congress of Herpetology, 2-10 August 1997*. Durabo Celakovice. Chequia.
- Bishop, C. A. y A. Gendron. 1997. "Impacts of chemical pollutants on amphibian populations". en *Herpetology '97 - Abstracts of the Third World Congress of Herpetology, 2-10 August 1997*. Durabo Celakovice. Chequia.
- Blaustein, A. 1994. "Chicken little or Nero's fiddle? A perspective on declining amphibian populations", en *Herpetologica*, 50.
- Blaustein, A.; D. Wake y W. Sousa. 1994. "Amphibian declines: Judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions", en *Conserv. Biol.*, 8.
- Blaustein, A. y D. Wake. 1995. "The puzzle of declining amphibian populations", en *Scientific American*. Abril.
- Bonin, J. et al. 1997. "Measuring the health of frogs in agricultural habitats subjected to pesticides". en *Amphibians in decline: Canadian studies of a global problem*. Reports from the Declining Amphibian Populations Task Force, Herpetological Conservation, Vol. 1. Society for the Study of Amphibians and Reptiles. St. Louis, Missouri.

Brower, J.; J. Zar y C. Von Ende. 1990. *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Publishers. Dubuque, E. U.

Buck, J. A. 1992. *An inventory of the vertebrate fauna associated with banana plantations and other areas of the Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), Costa Rica*. TI-WET Research Report. Project N° 09197. E. U.

Castillo, L. E. et al. 1995. *Manual de plaguicidas: guía para América Central*. Editorial de la Universidad Nacional. Costa Rica.

Duellman, W. E. 1970. *The hylid frogs of Middle America*. Monog. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas, 1. E. U.

Duellman, W. E. y L. Trueb. 1994. *Biology of Amphibians*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, E. U.

Dunson, W. y J. Connell. 1982. "Specific inhibition of hatching in amphibian embryos by low pH", en *J. Herpetol.*, 16.

Dunson, W.; R. Wyman y E. Corbett. 1992. "A symposium on amphibian declines and habitat acidification", en *J. Herpetol.*, 26.

Elizondo, L. 1992. *Lista de anfibios y reptiles de Costa Rica (Robinson 1988, Savage y Villa 1986), revisada y corregida por Federico Bolaños*. Base de datos de Conservación. Instituto Nacional de Biodiversidad. Convenio INBio-The Nature Conservancy. San José. Costa Rica. (Mecanografiado).

Gendron, A. 1996. *Le déclin des amphibiens dans le monde, une énigme...* Synthèse Environnementale (ENV 9400). Programme de Doctorat en Sciences de l'Environnement. Université du Québec à Montréal.

Harris, M. et al. 1998a. "The functional integrity of northern leopard frog (*Rana pipiens*) and green frog (*Rana clamitans*) populations in orchard wetlands. I. Genetics, physiology, and biochemistry of breeding adults and young-of-the-year", en *Env. Tox. and Chem.*, 17.

Harris, M. L. et al. 1998b. "The functional integrity of northern leopard frog (*Rana pipiens*) and green frog (*Rana clamitans*) populations in orchard wetlands. II. Effects of pesticides and eutrophic conditions on early life stage development", en *Env. Tox. and Chem.*, 17.

Heinen, J. 1992. "Comparisons of community characteristics of the herpetofauna leaf litter in abandoned cacao plantations and primary forest in a lowland tropical rainforest: Some implications for faunal restoration", en *Biotropica*, 24.

Helgen, J. et al. 1997. "Investigation of abnormal frogs in Minnesota, USA", en *Herpetology '97 - Abstracts of the Third World Congress of Herpetology. 2-10 August 1997*. Durabo Celakovice. Chequia.

Hunter, J.R. 1994. "Is Costa Rica truly conservation-minded?", en *Cons. Biol.*, 8.

IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 1996. *Information about IFOAM*. (Mecanografiado). Tholey-Theley. Alemania.

Inger, R. 1994. "Microhabitat description", en *Measuring and Monitoring Biological Diversity - Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington.

Judd, F. 1977. "Toxicity of monosodium metha-



nearsonate herbicide to Couch's spadefoot toad", en: *Herpetologica*, 33.

Kaplan, H. y L. Yoh. 1961. "Toxicity of copper for frogs", en *Herpetologica*, 17.

Kirk, J. J. 1988. "Western spotted frog (*Rana pretiosa*) mortality following forest spraying of DDT", en *Herp Review*, 19.

Lacher, T. 1990a. "Direct and indirect pathways in spatially structured habitats", en *Wildlife toxicology and population modeling - integrated studies of agroecosystems*. Lewis Publishers. E. U.

Lacher, T. 1990b. "Theoretical ecology and research on agroecosystems", en *Wildlife toxicology and population modeling - integrated studies of agroecosystems*. Lewis Publishers. E. U.

Lambert, M. R. K. 1997. "Environmental effects of heavy spillage from a destroyed pesticide store near Hargeisa (Somaliland) assessed during the dry season, using reptiles and amphibians as bioindicators", en *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 32.

Lewis, R. y C. Lewis. 1979. "Terrestrial vertebrate animals as biological monitors of pollution", en *Monitoring environmental materials and specimen banking*. Kluwer Academic Publishers. E. U.

Lieberman, S. S. 1986. "Ecology of the leaf litter



herpetofauna of a neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica", en *Acta Zool. Mex. Nueva Ser.*, 15.

Lips, K. 1997. En:

Mann, R. y E. Alexander. 1997. "The toxicity of some common pesticide surfactants to the tadpoles of Australian frogs", en *Herpetology '97 - Abstracts of the Third World Congress of Herpetology. 2-10 August 1997*. Durabo Celakovic. Chequia.

McCoy, E. 1994. "Amphibian Decline: A scientific dilemma in more ways than one", en *Herpetologica*, 50.

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan). 1999. *Sistema de Indicadores sobre Desarrollo Sostenible (SIDES): Importación total de agroquímicos en Costa Rica*. <http://www.mideplan.go.cr/Sides/ambiental/22-1.htm>

Milloy, S. J. 1998. *Frogs and Fungicides*.

Miyamoto, M. M. 1982. "Vertical habitat use by *Eleutherodactylus* frogs (Leptodactylidae) at two Costa Rican localities", en *Biotropica*, 14.

Mohanty-Hejmadi, P. y S. Mallick. 1981. "Effects of some pesticides on the development of the Indian bull frog", en *Environ. Pollut.*, 24.

Navarro, R. 1984. *Programa computacional para el análisis numérico de comunidades*. Medio Ambiente. Chile.

Ouellet, M. et al. 1997. "Hindlimb deformities (ectromelia, ectrodactyly) in free-living anurans from agricultural habitats", en *Journal of Wildlife Diseases*, 33.

Pechmann, J. y H. Wilbur. 1994. "Putting declining amphibian populations in perspective: natural fluctuations and human impacts", en *Herpetologica*, 50.

Peterle, T. 1992. *Wildlife Toxicology*. Van Nostrand Reinhold. Nueva York.

Porter, K. y D. Hankason. 1976. *Toxicity of mine drainage to embryonic and larval boreal toads (Bufonidae: Bufo boreas)*. Copeia.

Pulliam, H. 1990. "Incorporating concepts from population and behavioral ecology into models of exposure to toxins and risk assessment", en *Wildlife toxicology and population modeling - integrated studies of agroecosystems*. Lewis Publishers. E. U.

Rudolph, D. C. y J. G. Dickson. 1990. "Streamside zone width and amphibian and reptile abundance", en *Southwestern Naturalist*, 35.

Savage, J. M. y J. Villa. 1986. *Introduction to the herpetofauna of Costa Rica*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles. E. U.

Scott, N. J. 1983a. "*Bufo haematiticus* (Sapo, toad)", en *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press. Chicago.

Scott, N. J. 1983b. "*Eleutherodactylus bransfordii* (Rana)", en *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press. Chicago.

Scott, N. J. y S. Limerick. 1983. "Reptiles and amphibians, an introduction", en *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press. Chicago.

Scott, N. y R. Seigel. 1992. "The management of amphibian and reptile populations: species priorities and methodological and theoretical constraints", en *Wildlife 2001: Populations*. Elsevier Science Publishers Ltd. Essex. Inglaterra.

Slowinski, J. y B. Crother. 1987. "Diel differences in leaf-litter abundances of several species of reptiles and amphibians in an abandoned cacao grove in Costa Rica", en *Rev. Biol. Trop.*, 35.

Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1981. *Biometry*. W.H. Freeman and Company. Nueva York.

Soto, M. et al. 1992. "Siembra y Operaciones del Cultivo", en *Bananos: Cultivo y Comercialización*. Litografía e Imprenta LIL, S.A., San José.

Statistical Graphics Corp. 1994-1997. *Statgraphics Plus for Windows 3.1*. E. U.

Systat, Inc. 1990-1994. *Systat 5.04 for Windows*. Systat, Inc., 1800 Sherman Ave., Evanston. IL, E. U. 60201.

Tosi, J. 1969. *Mapa ecológico según la clasificación de zonas de vida del mundo de L. R. Holdridge*. Centro Científico Tropical. San José.

Wyman, R. 1990. "What's happening to the amphibians?", en *Conserv. Biol.*, 4.

Zug, G. 1983. "*Bufo marinus* (sapo grande, sapo, giant toad, marine toad)", en *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press. Chicago.

Agradecimientos A mi asistente de campo Silke Manssen; a Fundación Ambio; a Oscar Cruz y los trabajadores de Ecos del Agro; a Rafael Hidalgo y todos los empleados de la Empresa de Servicios de San Alberto; a la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda; a Rainforest Alliance; a mi tutora Leda Castro y mis asesores Federico Bolaños, Luisa Castillo y Joel Sáenz; a Gerardo Chaves y -otra vez- a Federico Bolaños, del Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica, y a todos los miembros del Programa Regional de Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional que me apoyaron.