

Revista mensual sobre la actualidad ambiental ISSN 1409-214X N° 205 OCTUBRE 2010

AMBIENTICO

**IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA BIODIVERSIDAD COSTARRICENSE**

SUMARIO

3 Mahmood Sasa, Gerardo Chaves y Louis W. Porras

[ANFIBIOS Y REPTILES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO](#)

5 Zak Zahawi

[CAMBIO CLIMÁTICO Y FLORA: FUTURA DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS NATIVAS EN SAN VITO DE COTO BRUS](#)

7 Armando Escobedo-Galván
[COCODRILOS Y CAMBIO CLIMÁTICO](#)

9 Oficina de Prensa de OET
[EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES EN EL BOSQUE TROPICAL HÚMEDO DE ZONAS BAJAS](#)

12 Ann Russell, James Raich, Ricardo Bedoya, Oscar Valverde y Eugenio González
[REFORESTACIÓN PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO. ESTUDIO EN COSTA RICA](#)

15 Susana Aguilar
[BIBLIOGRAFÍA SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS BIBLIOTECAS DE OET](#)

Foto de portada: Gregory Basco.

AMBIENiCO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

Director y editor Eduardo Mora

Coeditora de este número: Andrea Amighetti

Consejo editor Manuel Argüello, Gustavo Induni, Wilberth Jiménez, Luis Poveda

Fotografía www.galeriaambientalista.una.ac.cr

Asistencia, administración y diagramación Rebeca Bolaños

Teléfono: 2277-3688. Fax: 2277-3289

Apartado postal: 86-3000, Costa Rica.

ambientico@una.ac.cr

www.ambientico.una.ac.cr

Cambio climático trastorna nuestros bosques

Sobre las consecuencias del cambio climático los medios de comunicación nos han mostrado insistentemente: deshielo en y cerca de los polos, ascenso del nivel de los mares, aumento de la intensidad de las precipitaciones, inundaciones, disminución de las lluvias en ciertas épocas y lugares, sequías, plagas en cultivos derivadas de las variaciones del régimen pluvial y de la temperatura y disminución o frustración de cosechas -aunque también se nos ha informado de la paradójica mejoría de otras cosechas en ciertas áreas. Todo esto y más lo hemos sabido mientras nuestros cuerpos perciben leves aumentos en la temperatura ambiental que también los experimentan los organismos vivos silvestres. De algunos de éstos, y con base en observaciones científicas en otras latitudes, se nos ha dicho que tienden a migrar principalmente a regiones más altas procurando encontrar las condiciones naturales de su hábitat, modificado ahora por el cambio climático. Pero los medios no se han detenido en la exposición de cómo la flora y la fauna costarricenses están reaccionando a ese cambio. Y esto porque la investigación científica en esta materia en nuestro país es sumamente incipiente, lo que no es motivo de extrañeza dado que el conocimiento del cambio climático en el mundo y de su carácter antropogénico es de hace apenas un par de décadas.

En el despegue y desarrollo de la investigación acerca de los efectos del cambio climático en la naturaleza costarricense está centralmente implicada la Organización para Estudios Tropicales (OET), con quien hemos coordinado esta edición en que se presentan avances de estudios -realizados en estaciones biológicas de esa entidad- sobre diversos aspectos del impacto del cambio climático en anfibios, en reptiles y en la vegetación del bosque nacional. Ese impacto, detectado en algunas especies y algunos lugares en los que se han focalizado las investigaciones, es ominoso: a partir de lo documentado se puede prever crecientes y ruinosos desequilibrios en todos nuestros ecosistemas silvestres -entrelazados por innumerables vínculos cruciales- y en toda la biosfera. Se está documentando científicamente, pues, las manifestaciones de un proceso reciente y en marcha contra el que si no se actúa con presteza no va a dejar títtere con cabeza. Pero ante tal funesta perspectiva, en esta misma edición se da cuenta de otro estudio en Costa Rica, de la misma OET, que indaga la capacidad de fijación de carbono de diversas especies arbóreas abundantes en nuestro territorio -esto, precisamente, con vistas a la mitigación del cambio climático a través de la captura de aquel elemento. (Agradecemos a la Fundación Crusa el aporte dado a OET para la traducción al español y la edición de varios de los artículos contenidos en esta edición.)

www.galeriaambientalista.una.ac.cr

MILES DE FOTOS
DEL AMBIENTE TÍCO
Y MESOAMERICANO

Anfibios y reptiles frente al cambio climático

MAHMOOD SASA, GERARDO CHAVES y LOUIS W. PORRAS

A finales de la década de los ochenta, científicos de todo el mundo comenzaron a reportar un importante descenso en poblaciones de anfibios en regiones protegidas y prístinas (Wake 1991). En Costa Rica, la rana arlequín (*Atelopus varius*) y el sapo dorado (*Incilius periglenes*) constituyeron casos tempranos de disminución de especies tropicales (Crump *et al.* 1992, Pounds y Crump 1994). La voz de alerta la lanzaron los científicos J. Alan Pounds, del Laboratorio para la Conservación Sapo Dorado, y Martha Crump, de la Northern Arizona University, ante el abrupto descenso de la población de ambas especies entre 1987 y 1989, en Monteverde. Desde entonces, el sapo dorado desapareció de todas sus localidades conocidas, que eran pocas. La rana arlequín se extinguió en Monteverde y otras localidades, pero aún está presente en otros sitios del país. Estas desapariciones llamaron la atención de la comunidad científica y de las personas en general. El sapo dorado era endémico de Costa Rica y se convirtió en el símbolo de la conservación en Monteverde; por otra parte, la rana arlequín, a pesar de no ser una especie endémica, obtuvo gran popularidad entre conservacionistas y ecoturistas por sus diseños y llamativos colores. Ambas especies desaparecieron de bosques inalterados en áreas bien protegidas, por lo que su extinción no obedece a alteraciones de su hábitat, contaminación ni cacería. Desafortunadamente, ese fenómeno no se restringió a tales dos especies: dentro del bosque nuboso de Monteverde, otras 26 variedades de ranas, correspondientes al 40% del orden de los anuros (ranas y sapos) en la región, mostraron claros signos de estar en descenso y otros “simplemente se esfumaron” del área (Pounds *et al.* 1997). Pronto, hubo reportes sobre la mengua de poblaciones en otras localidades del país.

Actualmente, existen 420 especies en la herpetofauna de Costa Rica conformada por 189 anfibios y 231 reptiles; de éstos, 71 son especies endémicas: 52 anfibios y 19 reptiles. Al considerar su territorio, Costa Rica posee la mayor diversidad de herpetofauna en Mesoamérica, que se concentra en las zonas de vida más húmedas del país.

Las actividades humanas son las principales amenazas que enfrentan los anfibios y reptiles de Costa Rica. Por un lado, los patrones de deforestación, que durante las últimas cuatro décadas destruyeron más de la mitad de la cobertura boscosa, están asociados al crecimiento demográfico, al modelo de desarrollo económico y al estilo de vida que han seguido los habitantes del país. Pero, además, en años recientes el cambio climático y la aparición de nuevas enfermedades han contribuido al descenso rápido o la extinción de varias especies de anfibios y reptiles.

Al igual que en otras partes del mundo, en Costa Rica esta abrupta disminución de especies se asocia con el cambio climático, una consecuencia del calentamiento global desde la revolución industrial (Daszak *et al.* 2005). J. Alan Pounds y sus colegas (Pounds *et al.* 2006) plantearon la hipótesis de que el calentamiento a gran escala de nuestro planeta afecta el clima de las montañas al reducir humedad relativa y aumentar el número de días secos. Además, los bancos de nubes suben demasiado, la neblina del bosque nuboso se disipa y se deposita menos humedad en la vegetación. La conjunción de estos fenómenos puede generar implicaciones serias para la conservación, dado que los ecosistemas de las cumbres de las montañas generalmente albergan un alto número de especies endémicas (Still *et al.* 1999).

El cambio climático también está alterando los patrones de distribución con respecto a la elevación de especies propias de tierras bajas. En años recientes, numerosas variedades de reptiles, generalmente presentes en tierras bajas, se encuentran con más frecuencia en las montañas de Monteverde.

A su vez, en años recientes, los científicos han constatado que las alteraciones producto de las actividades humanas, especialmente el cambio climático, promueven la aparición de enfermedades infecciosas transmitidas mediante parásitos (Daszak *et al.* 2003), los cuales han aprovechado el aumento de la temperatura promedio y otros cambios ambientales que afectan a sus víctimas provocándoles la inhibición de su sistema inmunitario (inmunosupresión). Esta vulnerabilidad aumenta el ritmo de reproducción y transmisión de patógenos. Ante condiciones ambientales cada vez más secas y la alteración de la corriente en los ríos, los anfibios no tienen más remedio que trasladarse a zonas más frescas y húmedas, donde se exponen a patógenos como el hongo *Batrachochytrium*

Los autores son biólogos. M. Sasa, investigador y profesor en la Universidad de Costa Rica, es director de la Estación Biológica Palo Verde de la Organización para Estudios Tropicales. G. Chaves, profesor en la Universidad de Costa Rica, es asistente de curador en el Museo de Zoología. L. Porras es investigador y fundador de Eagle Mountain Publishing Inc., empresa especializada en la divulgación de conocimiento científico sobre temas ambientales y de biodiversidad en Estados Unidos.

dendrobatidis (Pounds y Crump 1987 y 1994, Pounds *et al.* 2006), que representa la enfermedad más devastadora y virulenta que afecta a los anfibios. Es así como se establece la hipótesis de epidemias ligadas a cambios climáticos que elaboraron Kiesecker *et al.* (2001) y Pounds (2001).

Asimismo, esta hipótesis plantea que el cambio climático podría influir también en la dinámica de deposición de pesticidas y de otros tóxicos antropogénicos tanto en la atmósfera como en el suelo. Nuevamente, estos contaminantes pueden afectar los anfibios -y otros animales- directa o indirectamente, mediante el debilitamiento de su respuesta inmunológica y convirtiéndolos en individuos más susceptibles a patógenos.

Adicionalmente, se ha constatado que la herpetofauna encontrada entre las hojas caídas del bosque, denominada de mantillo y hojarasca, viene disminuyendo en varios sitios de Costa Rica; sin embargo, los únicos datos cuantitativos existentes corresponden a la estación biológica La Selva, de la Organización para Estudios Tropicales (OET). En general, La Selva constituye uno de los bosques lluviosos mejor estudiados en el trópico, donde la herpetofauna se investiga desde 1967. El trabajo pionero de Norman Scott y Susan S. Lieberman hacia inicios de la década de los setenta rebeló comunidades de anfibios y reptiles dentro de las hojas caídas del bosque y en áreas alteradas. En aquel entonces era fácil identificar alrededor de 20 anfibios y reptiles de cinco o seis especies en una parcela de 10 metros x 10 metros, por lo que solía utilizarse como ejercicio en los cursos de campo de la OET y para ilustrar la biodiversidad de la zona.

Por medio de información publicada, de datos recabados a partir de los cursos de campo de la OET realizados entre 1969 y 2004, así como de estudios propios entre 1994–1995 y 2002–2005, se puede constatar que la reducción en diversidad y densidad de la herpetofauna a través del tiempo es impresionante. Aún se investiga las razones de esta mengua de especies en La Selva; no obstante, se sugiere como posible causa la reducción en la cantidad de hojas caídas dentro del bosque ocasionada por el cambio climático (Whitfield *et al.* 2007).

Si bien la disminución de reptiles en Costa Rica ha recibido considerablemente menor atención que hacia los anfibios, información recolectada en La Selva demuestra un notorio descenso en las poblaciones de reptiles de mantillo y hojarasca. Por citar solo un ejemplo, la lagartija de hojarasca (*Lepidoblepharis xanthostigma*), alguna vez encontrada en “cualquier parte donde se acumulan hojas caídas” (Guyer y Donnelly 2005: 146), en la actualidad no es tan fácil de hallar. Whitfield *et al.* (2007) analizaron las posibles razones que provocan esta disminución mediante el estudio de la ubicación y la historia de La Selva, incluyendo el impacto de la contaminación producida

por los pesticidas aplicados a las plantaciones de banana, los cambios provocados por la fragmentación del bosque, la presencia de *Batrachochytrium dendrobatidis* y la variación en la dinámica del bosque producto del cambio climático. El hecho de que además de las ranas, las lagartijas también demuestren un descenso en el bosque de tierras bajas de La Selva agrega un nivel de complejidad a la hora de investigar esta merma en las especies.

Las serpientes también muestran una importante baja en la cantidad de individuos; sin embargo, es más difícil cuantificarlas debido a sus hábitos escurridizos. Michael P. Fogden, del Laboratorio para la Conservación Sapo Dorado, observó una evidente reducción de serpientes que se alimentan de ranas y sapos en Peñas Blancas, Monteverde. Los científicos Pounds y Fogden (2000) detectaron que la mayoría de las especies mostró una recuperación parcial, mas las especies de *C. fissidens* y *D. melanotropis* nunca se recuperaron.

Definitivamente existe un efecto de cambio climático asociado a poblaciones de anfibios y reptiles. Los cambios en la distribución de elevación correspondiente a algunas especies son una señal evidente; pero, de forma más notoria, lo constituyen las disminuciones importantes e incluso la extinción de determinadas variedades de herpetofauna. Las consecuencias de esos cambios dentro de los ecosistemas se empiezan a notar en modificaciones de las cadenas alimenticias, donde los anfibios y reptiles cumplen importantes funciones.

Referencias bibliográficas

- Crump, M. L., F. R. Hensley y K. L. Clark. 1992. *Apparent decline of the Golden Toad: Underground or extinct?* Copeia.
- Daszak, P., A. A. Cunningham y A. D. Hyatt. 2003. *Infectious disease and amphibian population declines*. Diver. Distrib.
- Daszak, P. *et al.* “Amphibian population declines at Savannah River site are linked to climate, not chytridiomycosis”, en *Ecol.* 86, 2005.
- Guyer, C. y M. A. Donnelly. 2005. *Amphibians and Reptiles of La Selva, Costa Rica, and the Caribbean Slope: A Comprehensive Guide*. University of California Press. Berkeley.
- Kiesecker, J. y A. K. Blaustein. “Complex causes of amphibian population declines”, en *Nature* 410, 2001.
- Pounds, M. P. y M. L. Crump. “Harlequin frogs along a tropical montane stream: aggregation and the risk of predation by frog-eating flies”, en *Biotropica* 19, 1987.
- Pounds, M. P. y M. L. Crump. “Amphibian declines and climate disturbance: the case of the Golden Toad and the Harlequin Frog”, en *Conservation Biology* 8, 1994.
- Pounds, M. P. *et al.* “Test of null models for amphibian declines on a tropical mountain”, en *Conservation Biology* 11, 1997.
- Pounds, M. P. y L. Fogden. “Amphibians and reptiles”, en Nadkarni, N. M. y N. T. Wheelright (eds.). 2000. *Monteverde: Ecology and Conservation of a Tropical Cloud Forest*. Oxford University Press. New York.
- Pounds, J. A. “Climate and amphibian declines”, en *Nature* 410, 2001.
- Pounds, J. A. “Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming”, en *Nature* 439, 2006.
- Still, C. J., P. N. Foster y S. H. Schneider. “Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests”, en *Nature* 398, 1999.
- Wake, D. B. “Declining amphibian populations”, en *Science* 253, 1991.
- Whitfield, S. M. 2007. *Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica*. Proc. Nat. Acad. Sci. Estados Unidos.

Cambio climático y flora: futura distribución de plantas nativas en San Vito de Coto Brus

ZAK ZAHAWI

El cantón de Coto Brus constituye una de las regiones más deforestadas de Costa Rica. Se estima que resta un 25% de bosque remanente, es decir el residuo de bosque presente en fragmentos después de la deforestación causada por el ser humano en la zona. Si bien gran parte de la deforestación ocurrió durante las décadas de los sesenta, setenta y ochenta, el aislamiento físico de los fragmentos de bosque, aunado a su pequeño tamaño, obstaculiza la protección y conservación de especies en la zona. Adicionalmente, el terreno local es muy quebrado, incorporando diferentes zonas de vida en áreas muy pequeñas. Esta característica dificulta la posibilidad de que las especies puedan desplazarse fácilmente entre diferentes zonas especialmente debido a la falta de conexión entre ellas. La transición hacia la actividad ganadera y el predominio de pastizales en vez del desarrollo del cultivo cafetalero ha empeorado la conectividad debido a que las áreas son muy abiertas, actuando como una barrera que le impide a la mayoría de especies su dispersión entre los pequeños parches de áreas protegidas.

Lo ideal para contrarrestar este problema y mejorar el flujo de especies entre fragmentos de bosque remanente en la zona es restaurar áreas críticas para formar corredores que conecten fragmentos y a la vez aumenten el área de zonas protegidas propias de la región. No obstante, es necesario saber cuáles son las especies de plantas que podrían ser utilizadas en la restauración de corredores adecuados con una buena representación de las especies nativas. Desafortunadamente existen pocos recursos, en términos de material y de información, para la selección de especies clave en proyectos de restauración en la zona por falta de estudios y porque la gran mayoría de los viveros en el país se enfocan en árboles de especies ornamentales o maderables. El problema se agrava ante la incertidumbre que genera el cambio climático y el rol que podría jugar en la futura distribución de las especies del bosque, asunto que impide la adecuada evaluación de un proyecto típico de restauración a gran escala.

En la actualidad se redacta una propuesta para desarrollar el proyecto “Migración asistida de comunidades de plantas, filtración ecológica y restauración

de bosques tropicales bajo escenarios novedosos de cambio climático”, mediante el cual se pretende implementar un sistema de restauración práctica que a la vez evalúe el rol del cambio climático en la futura distribución de las especies nativas de la zona. Se pretende determinar cómo el cambio climático, mediante la aplicación de un rango de elevación como referente, afecta una futura distribución de especies; además de identificar la flora con mayor capacidad de adaptación a distintos niveles en la región. A su vez, el proyecto tendrá impacto dentro del corredor biológico Amistosa y aspira a aumentar el área protegida alrededor de cada sitio, que comprende la Estación Biológica Las Cruces y la Reserva de la Biosfera La Amistad. De igual manera, se pretende crear un programa que involucre a la población local en relación con temas de conservación y protección del bosque.

La investigación se desarrollará en tres rangos altitudinales: 600-700, 1.000-1.100 y 1.400-1.500 metros, que se utilizarán para simular el cambio climático, pues se estima que cada banda de elevación refleja una diferencia de temperatura de aproximadamente 2° C; el promedio de lluvia no se modificará por lo que abarcará un rango de 3.000 a 4.000 milímetros por año. Ante estos climas novedosos, el objetivo principal es establecer un filtro ecológico de especies que influirán en la recuperación de los ecosistemas y las comunidades vegetales.

Un árbol no camina, pero se mueve por sus semillas. En este caso específico, realizaremos una migración asistida mediante la dispersión manual de semillas recolectadas en los tres rangos altitudinales definidos y dispersadas en todos esos rangos de elevación. Estimamos que se recolectará y redistribuirá un 10% de la densidad de semillas que cae naturalmente en un área similar a las parcelas de estudio. Las semillas se distribuirán en las parcelas de estudio durante el tercer año de ejecución del proyecto.

Con rigurosidad científica se trasladarán especies a niveles geográficos más bajos para analizar las consecuencias del cambio climático anticipado; mientras que el movimiento de especies hacia arriba evaluará la eficacia de la migración asistida como una estrategia de conservación; técnica que podría aplicarse en el futuro, por ejemplo, con especies en

El autor, biólogo especialista en ecología de restauración de bosques, es el director de la Estación Biológica Las Cruces, en San Vito de Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.

peligro de extinción o circunscritas a una zona de vida muy restringida. Dentro de los resultados del estudio se podrá determinar cuáles son las especies locales más aptas para resistir los cambios climáticos futuros y las que reúnen las condiciones para utilizarse en proyectos de restauración o en la creación de conexiones entre fragmentos de bosques en la zona.

Para el estudio se establecerán 15 réplicas, donde cada una abarcará entre cuatro y cinco hectáreas de bosque, para el estudio distribuido entre las tres bandas de elevación. Entre las 300 especies de árboles que existen en la región, se sembrará un total de 11, que pertenecen a las tres elevaciones escogidas. Los árboles crecerán en viveros ubicados en cada banda de elevación, donde se sembrarán a finales del primer año del estudio. Al iniciar el tercer año de la investigación, cuando estos árboles formen una copa cerrada, se procederá a sembrar las semillas recolectadas en el bosque de zonas bajas, medianas y altas.

¿Es correcta tal manipulación? Es el debate ético que suscita este estudio novedoso que pretende descubrir la capacidad de adaptación de determinadas especies vegetales a lo largo del tiempo mediante una migración asistida. En la actualidad existen muy pocos estudios sobre la dispersión en los bosques tropicales de especies forestales, por lo que nos vemos obligados a crear nuestras propias proyecciones. La preocupación radica en saber que se avecina un cambio relativamente rápido que no dará tiempo para que las especies vegetales se adapten. Ante el dilema de actuar o esperar a ver qué pasará, como científicos debemos ser parte de la solución, por lo cual es necesario efectuar ensayos sobre lo que puede ocurrir con cambios complejos en un ambiente controlado. Esto es justamente lo que un grupo de 10 investigadores de distintas instituciones y países deseamos resolver mediante este proyecto.



Tabebuia chrysantha

A. Sánchez

Cocodrilos y cambio climático

ARMANDO ESCOBEDO-GALVÁN

Los cocodrilos han sobrevivido millones de años con pocos cambios en su morfología y anatomía. Una de las características más interesantes, que comparten con sus antepasados los dinosaurios, es la determinación sexual por la temperatura de incubación. Esto quiere decir que durante la incubación de sus huevos, la temperatura determina el sexo de los descendientes (Deeming 2004).

Se ha observado, principalmente bajo condiciones de laboratorio, que para la mayoría de las especies de cocodrilos distribuidos a nivel mundial su patrón de determinación sexual se caracteriza por producir 100% hembras a temperaturas bajas y altas; mientras que los machos se gestan con temperaturas intermedias (Ibid.). Esta característica de los cocodrilos de diferenciar el sexo de los embriones durante el desarrollo según la temperatura también se presenta en diversas especies de tortugas terrestres y dulceacuícolas, así como en algunas lagartijas (Valenzuela 2004). Tal condición provoca que los cocodrilos sean susceptibles a los cambios ambientales ocurridos donde habitan, por lo que las tendencias climáticas pronosticadas por efecto del cambio climático -aumento de temperatura, disminución de la precipitación, mayor frecuencia de eventos extremos y el fenómeno *El Niño* más intenso, entre otros-, pueden constituir factores clave para la prevalencia de los cocodrilos en el futuro.

Lo anterior permite plantear una de las preguntas más frecuentes al respecto: ¿por qué, si los cocodrilos han sobrevivido millones de años a diferentes variaciones climáticas, el cambio que actualmente enfrentamos sí les afectará? Si bien es cierto el cambio climático es un proceso natural que se ha manifestado en diferentes magnitudes durante millones de años, el que estamos experimentando actualmente evoluciona a un ritmo sin precedentes, donde el uso irracional de los recursos naturales por parte del ser humano afecta de forma directa (Parry 2007).

La respuesta a esta pregunta es tan compleja que es difícil poder abarcar todos los aspectos relacionados con el tema. Pero, a pesar de ello, es importante tener un panorama amplio para poder visualizar qué pasó, qué está sucediendo actualmente y cómo será el futuro para los cocodrilos. Primero, debemos remitir-

nos al pasado, cuando la diversidad de especies de cocodrilos hace más de dos millones de años era mayor a la que actualmente encontramos en el mundo (Jouve *et al.* 2008). Esto da pie para suponer que los cambios globales transcurridos desde entonces hasta la fecha afectaron la permanencia de los cocodrilos sobre la Tierra, promoviendo la extinción y evolución de nuevas especies. Además, es importante determinar cómo se han adaptado al cambio las especies que presentan determinación sexual por temperatura, cuestión que hasta ahora no se había tomado en cuenta. Hace unos cuantos años se demostró que muchos de los fósiles de dinosaurios correspondían en su mayoría al mismo sexo, existiendo la posibilidad de que estas poblaciones estuvieran sesgadas hacia uno de los sexos debido a las condiciones climáticas, lo que, aunado con otros factores que propiciaron su desaparición, posiblemente aumentó su riesgo de extinción (Miller *et al.* 2004).

Hoy en día, para el caso particular de los cocodrilos es poco lo que se conoce sobre el efecto del cambio climático en las proporciones de sexos y en cómo influye para que sus poblaciones sean viables en un futuro. Sin embargo, es un hecho que las modificaciones ambientales están de una u otra forma repercutiendo en sus poblaciones naturales. A diferencia de sus antepasados los dinosaurios, los cocodrilos cubren sus nidos para evitar las variaciones ambientales; y a pesar de que esto no los aísla completamente del ambiente exterior sí disminuye el impacto del clima sobre el desarrollo de los embriones. No obstante, se ha observado que las proporciones de sexos en las poblaciones de cocodrilos varían considerablemente dependiendo de los cambios ambientales durante la época de anidación. Este sesgo puede llevar a la extinción de poblaciones en un plazo relativamente corto. No hay que perder de vista que este efecto no es aislado; al contrario, si se suma a factores como la pérdida de hábitat, cacería, y mortalidad natural, entre otras amenazas, es posible que el efecto sea mayor. Por otro lado, algunas de las especies de cocodrilos tienen áreas de distribución relativamente pequeñas, lo que sugiere dos cosas: que son especies con condiciones ambientales específicas y que cualquier cambio las puede llevar a su extinción.

Recientemente, en el informe elaborado en Costa Rica sobre biodiversidad y cambio climático por el

El autor, biólogo, es estudiante del programa de doctorado en ciencias biomédicas del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México.



Cocodrilo

Armando Escobedo-Galván

Instituto Nacional de Biodiversidad (Inbio) y el Instituto Meteorológico Nacional, se menciona el estudio del efecto de la variabilidad climática sobre la proporción de sexos en caimanes (Ugalde 2009). Este trabajo documenta por primera vez cómo las variaciones climáticas pueden afectar a las poblaciones de cocodrilos. Conocer cómo este sesgo en la proporción de sexos influye en la dinámica poblacional es algo que apenas se comienza a evaluar.

Por último, ¿qué les espera a los cocodrilos en el futuro? Las condiciones no son nada prósperas, debido principalmente al aumento de la temperatura pronosticada durante los próximos años, en especial debido a su aceleración producto del cambio climático. Es un hecho que se verán afectadas sus poblaciones pero, de qué forma, es todavía un enigma que no podemos descifrar. En las tuataras, reptil endémico con determinación sexual por temperatura de Nueva Zelanda, se ha observado que la especie puede mantenerse viable a futuro si su población está compuesta

por al menos 75% de machos. Sin embargo, si el porcentaje de machos aumenta hasta un 85% la población puede encaminarse a la extinción en pocas generaciones. Este riesgo es mayor debido a que se pronostica, con base en las tendencias del calentamiento global, que la especie solo producirá machos alrededor del año 2085 (Mitchell *et al.* 2010).

El aumento en la temperatura de tan solo 1° C será suficiente para que algunas poblaciones de cocodrilos vean sesgadas las proporciones de uno de sus sexos en sus descendientes. De mantenerse esta mínima diferencia, ciertas poblaciones de distintas latitudes serán diezmaradas. Pero si el aumento fuera mayor a 2° C la disminución de las poblaciones sería mayor, debido a que los embriones necesitan para su desarrollo un intervalo de temperatura óptimo que oscile entre 28° y 34° C. De sobrepasarse el intervalo óptimo podría promoverse la aparición de malformaciones, afectando la sobrevivencia de las crías e incrementando la muerte embrionaria y, por consecuencia, el éxito de eclosión o nacimiento de nuevas crías. Un bajo reclutamiento, es decir, el número de crías que sobreviven el primer año, sería el fin para algunas poblaciones de estos dinosaurios vivientes.

Referencias bibliográficas

- Deeming, D. C. 2004. *Prevalence of TSD in crocodylians. Temperature dependent sex determination in vertebrates*. Smithsonian Institution Press. Washington.
- Jouve, S. *et al.* "The oldest African crocodylian: phylogeny, paleobiogeography, and differential survivorship of marine reptiles through the cretaceous-tertiary boundary", en *Journal of Vertebrate Paleontology* 28-6-2008.
- Miller, D., J. Summers y S. Silber. "Environmental versus genetic sex determination: a possible factor in dinosaur extinction?", en *Fertility and Sterility* 81, abril-2004.
- Mitchell, N. J. *et al.* "Demographic effects of temperature-dependent sex determination: will tuatara survive global warming?", en *Global Change Biology* 16-1-2010.
- Parry, L. *et al.* 2007. *Climate change 2007: Impact, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Ugalde, J. A. *et al.* 2009. *Biodiversidad y Cambio Climático en Costa Rica. Informe Final*. Proyecto 00033342 – Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (IMN – PNUD – GEF). Instituto Nacional de Biodiversidad – Instituto Meteorológico Nacional. San José.
- Valenzuela, N. 2004. *Temperature-dependent sex determination. Reptilian incubation: environment, evolution and behaviour*. Nottingham University Press. UK.

Efectos del cambio climático sobre el crecimiento de árboles en el bosque tropical húmedo de zonas bajas

OFICINA DE PRENSA DE OET

Una gran parte de la importancia de los bosques tropicales reside en su capacidad de fijar -mediante la fotosíntesis- y emitir -por la respiración- enormes cantidades de carbono, además de conservar una enorme fracción del carbono terrestre en su vegetación y los suelos (Dixon *et al.* 1994). Ante esta realidad, los científicos David y Deborah Clark han desarrollado durante las últimas tres décadas el proyecto *Trees* (árboles) para analizar los efectos de la lluvia, la temperatura y el dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera, sobre el crecimiento de los árboles del bosque húmedo tropical primario ubicado en la Estación Biológica La Selva, de la Organización para Estudios Tropicales (OET), en Sarapiquí. A continuación se presentarán los principales resultados tras los análisis que con datos únicos recabados mediante mediciones concentradas en seis especies de árboles efectuaron los doctores Clark.

En teoría, el incremento en la cantidad de CO₂ en la atmósfera podría aumentar la productividad forestal; a este fenómeno se le denomina fertilización de CO₂. Algunos investigadores han elaborado hipótesis para sostener que este mecanismo está relacionado con el incremento en la biomasa reportado dentro de algunos bosques tropicales durante los últimos 30 años.

Durante ciertos años de las décadas de los ochenta y noventa, los terrenos tropicales produjeron emisiones de CO₂ en cantidades inusuales, que se deduce ocurrieron durante los años de elevadas temperaturas y escasa precipitación (Adams y Piovesan 2005, Baker *et al.* 2006, Denman *et al.* 2007). Estos altibajos en las emisiones tropicales durante diferentes años van en paralelo con las grandes variaciones interanuales que se han observado en el crecimiento de los árboles en la Estación La Selva en Sarapiquí, según los estudios aplicados en ese bosque costarricense entre 1984 y el 2000 (Clark *et al.* 2003). Por lo tanto, se infiere que la variación anual en temperaturas y/o precipitaciones puede afectar el equilibrio del carbono tropical de los bosques tropicales a escala global.

Estos hallazgos sugieren que, en el futuro, el calentamiento global podría provocar impactos negativos más y más fuertes sobre la productividad de los bosques tropicales. Si la precipitación disminuye a la misma vez, los impactos negativos serían aun más

fuertes. En cambio, queda la posibilidad de que el aumento constante en el contenido atmosférico de CO₂ (Cramer *et al.* 2001, Cox *et al.* 2004, Berthelot *et al.* 2005, Denman *et al.* 2007, Matthews *et al.* 2007, Hickler *et al.* 2008, Lloyd y Farquhar 2008) y cualquier aumento de la radiación solar (Nemani *et al.* 2003) puedan favorecer la productividad boscosa.

Los datos recabados a largo plazo sobre el crecimiento de los árboles del bosque primario de La Selva demuestran que los niveles de variación entre años recientes en las temperaturas nocturnas y en las lluvias durante la estación seca crean impactos inmediatos e importantes sobre el crecimiento de los árboles y su mortalidad. Los resultados indican que, conforme avancen los cambios climáticos durante las próximas décadas, existen mayores probabilidades de que se produzcan cambios significativos en la estructura y el funcionamiento del bosque tropical lluvioso.

Un factor investigado entre 1983 y 2007 fue la relación entre las temperaturas nocturnas y el crecimiento de árboles, que vino a complementar el proyecto *Carbon*, también desarrollado por los investigadores Clark a partir de 1997. Se pudo constatar que la temperatura promedio nocturna aumentó de forma significativa en este período y que el crecimiento promedio de las seis especies en estudio disminuyó notablemente en los años de temperaturas nocturnas más altas. El máximo crecimiento se observó durante los años con temperaturas más frescas, a principios de la década de los ochenta; el menor desarrollo de los árboles ocurrió durante los años más calientes. El peor año fue 1998, debido a sus noches calientes y una estación seca con menos lluvia de lo normal.

Contrariamente a la hipótesis sobre la fertilización generada por el aumento en las concentraciones atmosféricas de CO₂, se demostró que el ritmo de crecimiento de los árboles disminuyó ante el incremento de CO₂ en la atmósfera. Sin embargo, este efecto obedece completamente a las temperaturas nocturnas. Una vez que se eliminó esta variable, no se determinó ninguna relación entre el CO₂ presente en la atmósfera y el crecimiento de los árboles.

Básicamente, los resultados indican que períodos relativamente cortos de poca precipitación bastan para reducir el crecimiento de los árboles en pie, aun en los bosques tropicales húmedos. La disminución



A. Hepworth

alcanza el 20% en años con una estación lluviosa un poco seca, en comparación con años más lluviosos.

La hipótesis actual de los investigadores del proyecto *Trees* establece que numerosos factores, cada uno relacionado con reducciones en la cantidad de precipitación durante la estación seca, interactúan para reducir el crecimiento de los árboles; tales factores incluyen temperaturas elevadas en el día y la noche, menor humedad en el suelo, y estrés hídrico sufrido por los árboles ante bajos niveles de vapor de agua en el aire. Por otra parte, los resultados demuestran que el crecimiento anual de los árboles mantiene un estrecho vínculo con los patrones climáticos por año. Estas respuestas anuales a escala de paisaje se pueden interpretar como fenómenos emergentes fundamentados sobre procesos fisiológicos en períodos más cortos. Se requerirá de estudios específicos para determinar la naturaleza de estos mecanismos fisiológicos y precisar la escala temporal en que operan. Estos estudios a largo plazo ayudarán a cuantificar la relación entre distintos procesos eco-fisiológicos, las variaciones climáticas y el crecimiento de los árboles, asimismo se espera sirvan de base para mejorar los modelos para analizar el rendimiento del bosque tropical. La necesidad de este tipo de mecanismos mejorados de análisis es que ningún modelo actual sobre el crecimiento de árboles de bosque lluvioso tropical predice la estrecha y generalizada relación entre el crecimiento de éstos y las condiciones de la tempora-

da seca observadas durante la década bajo estudio.

Los datos recabados señalan que las altas temperaturas de hoy en día ya están impactando de forma negativa el equilibrio entre la captura de carbono por el bosque, a través de la fotosíntesis, y la respiración de las plantas del bosque tropical lluvioso. Aún no se ha identificado el mecanismo fisiológico que reduce el crecimiento de los árboles debido a las altas temperaturas nocturnas; sin embargo, el hecho de que la serie de árboles en crecimiento correspondiente a 10 y 24 años demuestre una relación más estrecha con las temperaturas nocturnas que con altas temperaturas diurnas coincide con los impactos negativos sobre el crecimiento de los árboles al intensificarse la respiración nocturna.

A pesar de que no se detectaron efectos negativos relevantes como consecuencia de las temperaturas máximas diarias sobre el crecimiento anual, éstas pronto podrían contribuir a reducir la productividad de este bosque. Ante temperaturas diurnas más calientes durante los próximos años, la capa superior de las hojas de los árboles, denominada el dosel, experimentará un aumento en el porcentaje de temperatura durante el día por encima de su punto óptimo para ejecutar la fotosíntesis (Clark 2004, Tribuzy 2005, Doughty y Goulden 2008). Por otra parte, los estudios de las corrientes de aire *-eddy covariance-* en este sitio (Loescher *et al.* 2003) ya han demostrado reducciones en la fijación neta de carbono producto de las

temperaturas diurnas actuales. Las altas temperaturas generan efectos negativos sobre el proceso de fotosíntesis generalmente con mayor intensidad en las capas más productivas de las hojas (Doughty y Goulden 2008).

A través del área biótica -es decir, una determinada parte del planeta que comparte los mismos clima, vegetación y fauna- correspondiente al bosque tropical lluvioso, el promedio anual de temperatura aumentó 0,26° C por década durante los últimos 30 años; además, los patrones de precipitación se modificaron en algunas partes del trópico (Malhi y Wright 2005). Los resultados expuestos indican que los árboles en este bosque lluvioso de tierras bajas de Costa Rica responde rápidamente ante los niveles de variación anual en cuanto a intensidad y temperaturas de la estación seca, generando numerosos impactos sobre el desarrollo del bosque. Si esta capacidad de respuesta persiste durante el clima futuro, los datos recabados sugieren que habrá cambios importantes en la estructura y el funcionamiento de este bosque ante un calentamiento y/o sequía moderados.

En caso de mantenerse la misma relación entre la temperatura nocturna, el crecimiento de los árboles y su mortalidad ante un posible incremento de 3° C, la mortalidad de árboles anual en La Selva aumentaría de 2,6% a 6,9%, mientras que el crecimiento anual de los árboles disminuiría en un 56%. Estos cambios obviamente provocarían grandes impactos sobre la actual estructura biológica y física de este bosque así como de prácticamente todo el funcionamiento del bosque. Dada la diversidad fisiológica y morfológica de los árboles, palmeras y lianas dentro del bosque tropical, inevitablemente algunas especies responderán mejor que otras al incremento de la temperatura. De igual forma, las especies sensibles a los cambios en la temperatura experimentarían un proceso de deterioro contrapuesto al aumento en cantidad de especies más tolerantes al calor (Matthews *et al.* 2007, Colwell *et al.* 2008). La enorme sensibilidad de las especies forestales con respecto a temperaturas elevadas sugiere que el descenso en la precipitación durante la época seca podría agravar los efectos negativos en el crecimiento de los árboles.

En el mundo entero, los bosques tropicales continuarán calentándose enormemente (Denman *et al.* 2007) y las temperaturas promedio para finales de siglo probablemente sobrepasen las más altas identificadas durante el siglo XX, para cada estación del año (Battisti y Naylor 2009). Muchos modelos también predicen una sequía importante en la mayor parte del trópico (Alley *et al.* 2007, Malhi *et al.* 2009). Las observaciones de los investigadores Clark a largo plazo de un bosque tropical húmedo en Costa Rica, combinadas con múltiples evidencias de bosques tropicales de otras regiones, sugieren que incluso leves niveles de calentamiento y sequía podrían repercutir de ma-

nera negativa en el desarrollo de los árboles de los bosques húmedos en este ecosistema. A menos que ocurra una rápida aclimatación, es muy posible que los índices de crecimiento disminuyan y los de muerte aumenten, se genere una sustitución de especies e incluso se presenten cambios en el ecosistema (Colwell *et al.* 2008). Si efectos similares tanto en temperaturas altas como al aumentar la intensidad de la época seca se confirman en otros sitios, los actuales modelos de estudio para el ciclo de carbono deberán ser modificados para representar mejor estos importantes datos por parte de los bosques tropicales para la investigación del calentamiento global.

Referencias bibliográficas

- Adams, J. M. y G. Pivovarov. "Long series relationships between global interannual CO₂ increment and climate: evidence for stability and change in role of the tropical and boreal-temperate zones", en *Chemosphere* 59, 2005.
- Alley, R. B. *et al.* "IPCC, 2007: summary for policymakers", en Solomon, S. *et al.* (eds.). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Battisti, D. S. y R. L. Naylor. "Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat", en *Science* 323, 2009.
- Berthelot, M. *et al.* "How uncertainties in future climate change predictions translate into future terrestrial carbon fluxes", en *Global Change Biology* 11, 2005.
- Clark, D. A. "Sources or sinks?: the responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition", en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 369, 2004.
- Colwell, R.K. *et al.* "Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics", en *Science* 322, 2008.
- Cramer, W. *et al.* "Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models", en *Global Change Biology* 7, 2001.
- Denman, K. L. *et al.* "Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry", en Solomon, S. *et al.* (eds.). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Dixon, R. K. *et al.* "Carbon pools and flux of global forest ecosystems", en *Science* 263, 1994.
- Doughty, C. E. y M. L. Goulden. "Are tropical forests near a high temperature threshold?", en *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences* 2008.
- Hickler, T. *et al.* "CO₂ fertilization in temperate FACE experiments not representative of boreal and tropical forests", en *Global Change Biology* 14, 2008.
- Loescher, H. W. *et al.* "Environmental controls on net ecosystem-level carbon Exchange and productivity in a Central American tropical wet forest", en *Global Change Biology* 9, 2003.
- Lloyd, J. y G. D. Farquhar. "Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees", en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 363, 2008.
- Malhi, Y. *et al.* "Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (US)*, 2009. En: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073.pnas.0804619106.
- Malhi, Y. y J. Wright. "Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical forest regions", en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 359, 2005.
- Matthews, H. D. *et al.* "What determines the magnitude of carbon cycle-climate feedbacks?", en *Global Biogeochemical Cycles* 21, 2007.
- Nemani, R. R. *et al.* "Climate driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999", en *Science* 300, 2003.
- Tribuzy, E. S. 2005. *Variacões da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia Central*. Disertación Doctoral. Universidad de Sao Paulo, Brasil.

Reforestación para mitigar el cambio climático. Estudio en Costa Rica

ANN RUSSELL, JAMES RAICH, RICARDO BEDOYA, OSCAR VALVERDE y EUGENIO GOZNÁLEZ

Los bosques en general, y los tropicales en especial, almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa -troncos, hojas, flores, frutos y raíces-, y también en el suelo. Igualmente poseen altos niveles de productividad (Dixon *et al.* 1994, Field *et al.* 1998). El proceso de producción mediante el cual las plantas fijan el carbono de la atmósfera adquiere particular importancia en las plantaciones forestales debido a la alerta que ha suscitado el cambio climático. Se considera que la reforestación puede ser un mecanismo importante para el secuestro de carbono presente en la atmósfera. Sin embargo, los datos sobre la cantidad capturada por las diversas especies, especialmente en el trópico, son notablemente escasos.

A partir de 1988 iniciamos una investigación en la Estación Biológica La Selva, en Sarapiquí, donde se plantaron especies de árboles bajo un diseño conocido como bloques completos aleatorios, con especies nativas como *Hieronyma alchorneoides* (pilón), *Pentaclethra macroloba* (gavilán), *Virola koschnyi* (fruta dorada o bogabaní), *Vochysia guatemalensis* (palo de chanco) y la conífera exótica *Pinus patula* (pino). Este ensayo partió en igualdad de condiciones en cuanto al uso anterior de la tierra, el clima y las características del suelo. Transcurridos entre 15 y 17 años, evaluamos tres aspectos relacionados con los efectos de estas especies sobre la dinámica del carbono (Russell *et al.* 2010). Primeramente, se determinó el impacto que cada especie tiene sobre las propiedades y los procesos del ecosistema, en segundo lugar, los rasgos que explican estas diferencias y, por último, las consecuencias para el desarrollo del bosque y el secuestro de carbono.

El marco conceptual de la investigación que desarrollamos se fundamenta en la identificación de los

efectos de las cinco especies de árboles sobre el balance de carbono en el bosque, partiendo de la premisa de que las especies pueden diferir en lo que respecta a: (1) el total de productividad primaria neta, es decir, la energía química capturada y almacenada una vez que las plantas usan cierta cantidad de energía para la respiración y el mantenimiento de tejidos; (2) la compartimentación de la producción de componentes aéreos -hojas, ramas, troncos y frutos- y subterráneos -raíces-, y, finalmente, (3) la tasa de mortalidad de los tejidos vegetales. Todos estos rasgos unidos influyen sobre la cantidad, la ubicación, los componentes de la biomasa de los árboles y el crecimiento de especies en el sotobosque, es decir, la parte situada por debajo del dosel vegetal que forman las copas de los árboles plantados. Estos rasgos también influyen, junto con la composición química de los componentes de la planta, (4) la cantidad y la calidad de los residuos que provienen de la descomposición de fuentes orgánicas, denominados detritus, que se generan en la superficie y bajo el suelo, los cuales a su vez influyen sobre los insumos dirigidos hacia el reservorio del carbono orgánico del suelo; además de (5) los rendimientos mediante la respiración edáfica, que también incluye el CO₂ procedente de las raíces vivas. De este modo, los rasgos de cada especie de árbol pueden cambiar la trayectoria del desarrollo del ecosistema hacia bosques distintos en cuanto a su funcionalidad y su estructura, que a su vez afectará de manera diferente los sistemas biótico, atmosférico e hidrológico dentro de los cuales existen.

Con respecto al secuestro de carbono y su efecto en las especies, los resultados de la investigación determinan que la tasa de secuestro de carbono es positiva en estos árboles de 16 años de edad, lo que indica que las plantaciones no han alcanzado aún su potencial completo para acumular carbono. Todavía no conocemos cuál podría ser este potencial pero nuestros datos sugieren que la biomasa del bosque maduro no representa el límite superior.

La especie *Vochysia* destaca sobre las demás por almacenar una considerable cantidad de carbono en la biomasa aérea correspondiente a cerca de 100 mg/ha (1 megagramo equivale a 1.000 kilogramos). Esto representa entre 30 y 40% más que las otras especies evaluadas, y más de un 20% de las estimacio-

Ann Russell (arusell@iastate.edu) y James Raich, biólogos especialistas en ecología de ecosistemas, son profesores en la Universidad Estatal de Iowa. Ricardo Bedoya, ingeniero forestal y gestor en biodiversidad, es coordinador del proyecto de investigación del que se desprende el presente documento, en la Estación Biológica La Selva, de la OET. Oscar Valverde, biólogo y ecólogo, es estudiante de doctorado de la Universidad de Kent State, en Estados Unidos. Eugenio González, ingeniero forestal especialista en restauración de ecosistemas, es director del Centro Soltis para la Investigación y la Educación, de la Universidad de Texas A&M, en San Isidro de Peñas Blancas, Costa Rica. En caso de querer la versión en inglés de este documento en pdf dirigirse a la autora principal.

nes realizadas para el bosque maduro adyacente (Clark y Clark 2000). Además, casi duplica la biomasa de plantaciones de *Pentaclethra* y *Virola*. Aunque la mayor proporción de carbono se almacena en la madera, al sumar el carbono retenido por las raíces gruesas y finas y el dosel, *Vochysia* almacena en total cerca de 120 mg/ha.

ciones fue de 5,2 mg/ha/año, promediada sobre los últimos 16 años y a través de las especies. El secuestro de carbono en la biomasa -aérea y subterránea- durante todo el estudio difiere entre las especies, con tasas que oscilan entre 4,1 y 7,4 mg/ha/año en *Virola* y *Vochysia*, respectivamente.

Estos resultados corresponden en forma aproxi-



Pentaclethra macroloba (gavilán)

Flora digital La Selva

Una gran proporción del carbono orgánico almacenado en las plantaciones se encuentra en el suelo. Bajo las de *Vochysia* hay cerca de 190 mg/ha hasta una profundidad de un metro. Estas cifras son cerca de 40 mg/ha mayores al carbono orgánico contenido en especies como *Pinus* y *Pentaclethra*; sin embargo, son comparables a la cantidad encontrada bajo el bosque adyacente de las plantaciones (Russell *et al.* 2007). A pesar de que los índices acumulados de carbono orgánico del suelo en la superficie del suelo (profundidad de 0–15 cm) eran parecidos entre las especies, el índice promedio entre éstas fue positivo. En promedio, las plantaciones acumularon una cantidad de carbono equivalente a 0,18 ($\pm 0,04$) mg/ha/año durante 16 años.

La tasa de secuestro de carbono en estas planta-

mada a la media anual per cápita del uso de combustibles fósiles en Estados Unidos, cuyo promedio fue de 5,3 mg de carbono durante el período de este estudio, entre 1988 y 2005 (Marland *et al.* 2008). Por supuesto, esta tasa de producción de CO₂ varía a través del tiempo, pero provee una perspectiva sobre la capacidad de estas plantaciones para mitigar las emisiones de CO₂.

Experimentamos con plantaciones de árboles de determinadas especies como modelos con el fin de identificar los mecanismos mediante los cuales cada especie puede influenciar el ciclo de carbono. Se compararon varios rasgos de las especies plantadas, incluyendo sus efectos en el sotobosque, para evaluar los medios de influencia de cada especie en un ambiente determinado.

No identificamos efectos importantes de especies en relación con el total de la productividad o con la acumulación de carbono orgánico en el suelo hasta un metro de profundidad. A los 16 años, la falta de diferencias entre las especies en estos rasgos sugirió un fuerte control abiótico en este sitio. En otras palabras, en este ambiente donde las condiciones de crecimiento son muy favorables para muchos organismos, todas las plantaciones tenían altos índices del ciclo del carbono. Por ejemplo, la tasa de productividad aérea fue 11,7 mg/ha/año, y la cantidad de carbono orgánico del suelo (0–100 cm) fue de 173 mg C/ha (los promedios entre todas las especies).

Por otra parte, entre solo cinco especies de árboles se identificaron diferencias significativas en la compartimentación de la productividad y en las tasas de mortalidad del tejido vegetal y la biomasa entre los componentes aéreos y subterráneos. También encontramos diferencias en relación con la química del detrito y en el ciclo de carbono subterráneo, incluyendo la respiración edáfica y heterotrófica, además de en la productividad subterránea. Por ejemplo, en las parcelas de *Vochysia*, tanto la biomasa aérea correspondiente a 99 mg/ha como la biomasa subterránea de 20 mg/ha constituyeron 1,8 veces el carbono presente en *Virola* ($P = 0,02$ y $0,03$, respectivamente). Las diferencias en la biomasa de las especies plantadas no fueron compensadas por la vegetación del sotobosque. La productividad subterránea en *Hieronyma* fue de 4,6 mg/ha/año, 2,4 veces la de *Pinus* ($P = 0,01$). Además, la compartimentación de la productividad en los componentes subterráneos era más del doble en *Hieronyma*, en comparación con *Pinus* ($P = 0,03$). Finalmente, las tasas de la producción y de la muerte de hojas en el dosel de *Hieronyma* fue 42% más rápida que la de *Virola* ($P = 0,01$). Las diferencias más significativas en estos rasgos indican algún grado de control biológico.

Durante los últimos 17 años, aproximadamente una hectárea de estas plantaciones ha estado capturando por año el CO_2 producido por un ciudadano estadounidense promedio. Debido a la extensa área de tierras cultivables abandonadas en el trópico húmedo y a su gran potencial para el crecimiento de árboles, la actividad de reforestación podría convertirse en un im-

portante componente dentro del enfoque multifacético con respecto a la mitigación de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera.

Según nuestros datos, las disparidades presentes en el ciclo de carbono entre las plantaciones se pueden atribuir en primer lugar a las diferencias entre las especies plantadas, especialmente en relación con sus índices de crecimiento, su eficiencia en el uso del carbono y la química de sus tejidos. La inclusión de estos atributos bióticos puede ser necesaria para reforzar los modelos de investigación del ciclo del carbono de tal manera que abarquen los distintos tipos de bosques que cubren el bioma selva tropical húmedo.

Referencias bibliográficas

- Clark, D. B. y D. A. Clark. "Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest", en *Forest Ecology and Management* 137, 2000.
- Dixon, R. K. *et al.* "Carbon pools and flux of global forest ecosystems", en *Science* 263, 1994.
- Field, C. B. *et al.* "Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components", en *Science* 281, 1998.
- Marland, G. *et al.* 2008. "Global, regional, and national CO_2 emissions", en *Trends: a compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
- Russell, A. E. *et al.* "Tree species effect on soil properties in experimental plantations in tropical moist forest", en *Soil Science Society of America* 71, 2007.
- Russell, A. E. *et al.* "Impacts of individual tree species on carbon dynamics in a moist tropical forest environment", en *Ecological Applications* 20, 2010.



Virola koschnyi (fruta dorada)

Bibliografía sobre cambio climático en las bibliotecas de OET

SUSANA AGUILAR

Hace más de 30 años, al donar su colección personal el distinguido herpetólogo de la Universidad de Michigan y uno de los fundadores de la Organización para Estudios Tropicales (OET), Norman Hartweg, se creó el Sistema de Bibliotecas de la OET, conformado por la Biblioteca Central en San José y una unidad en cada una de las estaciones biológicas: La Selva, Las Cruces y Palo Verde. La misión de tal Sistema es ofrecer servicios bibliotecarios fundamentales para las actividades de investigación, enseñanza y conservación de los recursos naturales del trópico. Su temática principal es la biología tropical y –asociadamente– ecología, manejo de recursos naturales, conservación de la biodiversidad, agroecología y aspectos legales, sociales, económicos y forestales. Mucha de la bibliografía especializada se encuentra únicamente en las bibliotecas de la OET.

En la actualidad, la Biblioteca de la sede central, dirigida mayoritariamente a lectores de nivel universitario, cuenta con una colección de más de 11.000 volúmenes de libros, 11.000 separatas, 490 tesis, 75 títulos de publicaciones periódicas, 150 libros de cursos de la OET y 11.500 artículos en formato digital. El 90% de los documentos se encuentra en inglés. Uno de los principales productos desarrollados y consolidados de la Biblioteca es la Bibliografía Nacional en Biología Tropical (Binabitrop), con más de 35.800 registros al día de hoy y 4.500 artículos. Este proyecto, único en el país e iniciado en 1996, tiene como objetivo rescatar y reunir las publicaciones científicas sobre Costa Rica, generadas a través de los años tanto dentro como fuera del país, en una base de datos gratuita disponible al público y en línea (www.ots.ac.cr/-binabitrop). La Biblioteca mantiene el registro de todas las investigaciones generadas por las tres estaciones de la OET: La Selva, Las Cruces y Palo Verde, que respectivamente suman: 3.274, 750 y 808.

El Sistema de Bibliotecas ofrece la elaboración de bibliografías especializadas según temas. Durante 2008 se preparó una bibliografía sobre calentamiento global y cambio climático sobresaliendo las siguientes 10 referencias:

- Sepúlveda, C. y I. Muhammad. 2009. *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas: como una medida de adaptación al cambio climático en América Central*. Serie Técnica. Informe Técnico; no. 377. Catie. Costa Rica.
- Anderson, E. et al. 2008. *Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico, and the Dominican Republic*. CATHALAC / USAID. Panamá.
- Castro, J. y M. Amado. 2006. *Emisión de gases de efecto invernadero y agricultura orgánica*. Cedeco. San José.
- Jiménez-Méndez, Mildred. 2009. *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático*. Tesis Mag. Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, Catie. Costa Rica.
- Amador-Astúa, J. y E. J. Alfaro-Martínez. “Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático”, en *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, v. 11, 2009.
- Kannan, R. y D. James. “Effects of climate change on global biodiversity: a review of key literature” en *Tropical Ecology*, v. 50, no. 1, 2009.
- St-Onge, Véronik. 2009. *Changements climatiques et développement durable: Pratiques individuelles et collectives de costaricains. Étude de cas des Cantons de Golfito et Talamanca*. Mémoire M.A. en Études et Interventions Régionales, Université du Québec. Canadá.
- Clark, Deborah. “Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric change: current challenges and a way forward”, en *Biotropica*, v. 39, no. 1, 2007.
- Clark, Deborah. “Tropical forests and global warming: slowing it down or speeding it up?”, en *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 2, no. 2, 2007.
- Clark, Deborah, et al. “Tropical rainforest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 100, no. 10, 2007.