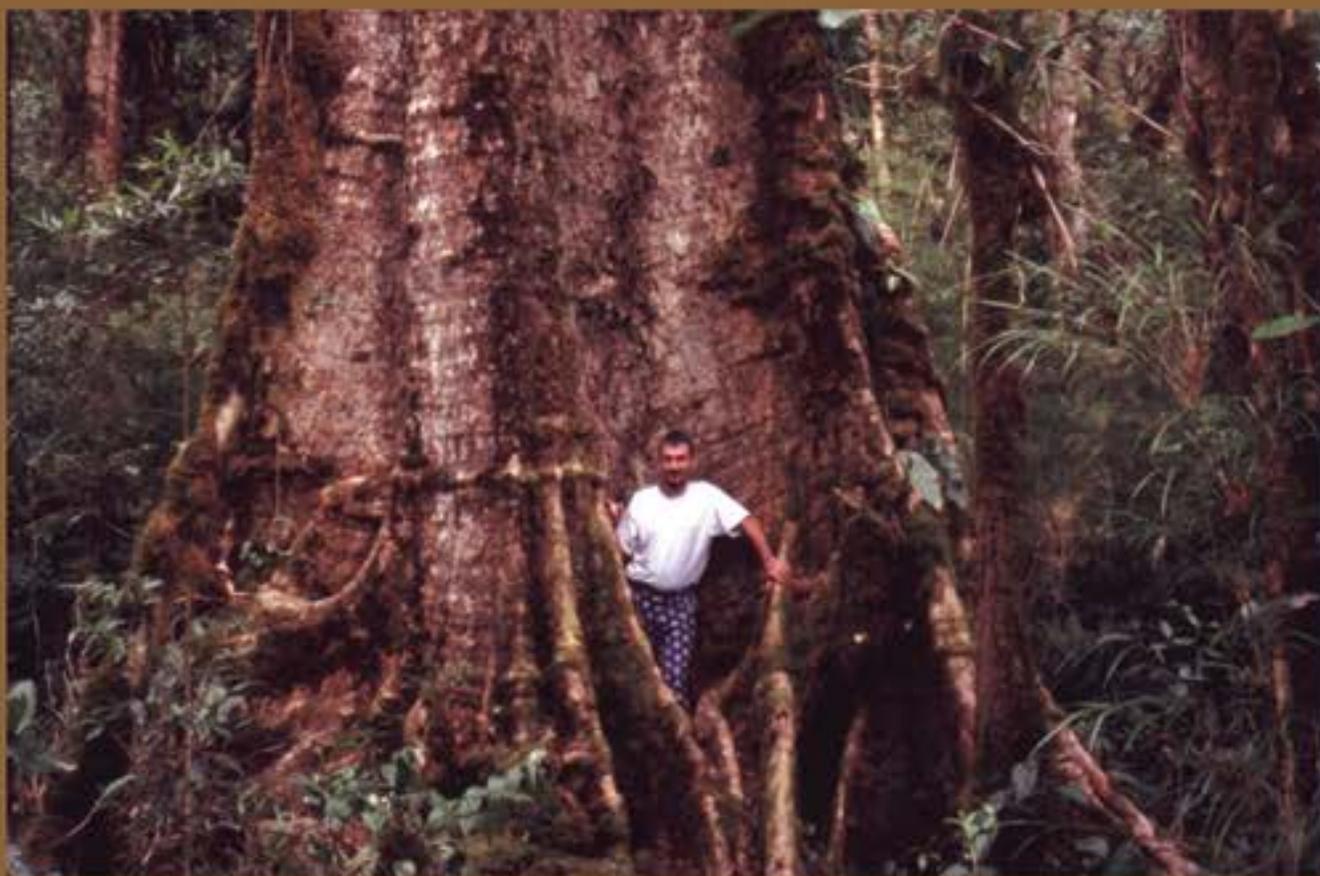


# AMBIENTICO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

## PRESERVAR EL BOSQUE Y AUMENTAR EL BIENESTAR SOCIAL LOCAL. PAPEL DE INISEFOR-UNA



Editorial  
Preservar el bosque y aumentar el bienestar  
social local: papel de Inisefor-UNA

Orlando Chinchilla y Fernando Mora  
Reforestar y cultivar árboles son actividades  
muy diferentes

Víctor Meza  
Características de la adopción de sistemas  
agrícolas como base para viabilizar opciones  
de manejo forestal

Mauricio Sánchez  
Monitoreo de ecosistemas forestales  
para el fortalecimiento de estrategias  
de conservación y uso de bosques: una  
contribución a la iniciativa *Costa Rica  
carbono neutral*

Eugenio Corea  
Conservación y reproducción *ex situ* de  
especies forestales en peligro de extinción en  
Costa Rica

Gustavo Hernández  
Diversidad genética de poblaciones forestales  
en paisajes fragmentados. El caso de las  
poblaciones de olla de mono (*Lecythis ampla*)  
en el Corredor Biológico San Juan-La Selva

Ana Hine y Alejandra Rojas  
La biotecnología en los recursos genéticos  
forestales

Eugenio Corea  
Selección de clones superiores de caoba  
(*Swietenia macrophylla*) para sistemas  
agroforestales

# AMBIENTICO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

## PRESERVAR EL BOSQUE Y AUMENTAR EL BIENESTAR SOCIAL LOCAL. PAPEL DE INISEFOR-UNA



Director y editor: Eduardo Mora

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

Asistencia y administración: Rebeca Bolaños

Diseño, diagramación e impresión: Programa de Publicaciones, UNA

Fotografía: [www.galeriaambientalista.una.ac.cr](http://www.galeriaambientalista.una.ac.cr)

Teléfono: 2277-3688. Fax: 2277-3289

Apartado postal: 86-3000, Costa Rica

Correo electrónico: [ambientico@una.ac.cr](mailto:ambientico@una.ac.cr)

Sitio web: [www.ambientico.una.ac.cr](http://www.ambientico.una.ac.cr)

Fotografía de portada: Erick Gay

Descripción: San Gerardo de Dota, Costa Rica



## Sumario

Editorial

Preservar el bosque y aumentar el bienestar social local: papel de Inisefor-UNA 2

Orlando Chinchilla y Fernando Mora  
Reforestar y cultivar árboles son actividades muy diferentes 4

Víctor Meza

Características de la adopción de sistemas agrícolas como base para viabilizar opciones de manejo forestal 8

Mauricio Sánchez

Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa *Costa Rica carbono neutral* 17

Eugenio Corea

Conservación y reproducción *ex situ* de especies forestales en peligro de extinción en Costa Rica 23

Gustavo Hernández

Diversidad genética de poblaciones forestales en paisajes fragmentados. El caso de las poblaciones de olla de mono (*Lecythis ampla*) en el Corredor Biológico San Juan-La Selva 29

Ana Hine y Alejandra Rojas

La biotecnología en los recursos genéticos forestales 37

Eugenio Corea

Selección de clones superiores de caoba (*Swietenia macrophylla*) para sistemas agroforestales 42

# Preservar el bosque y aumentar el bienestar social local: papel de Inisefor-UNA

La conservación de paisajes forestales ha sido un deseo continuo de la sociedad costarricense pero su logro ha estado condicionado por un sinnúmero de factores de difícil explicación. Teóricamente planteados en voluminosas publicaciones científicas, muchos de ellos ni siquiera son tomados en cuenta en la formulación de nuevas políticas forestales. Los más importantes de ellos son: De carácter socioeconómico: altos costos de la tierra, baja rentabilidad del uso forestal en comparación con otros usos agrícolas del suelo, altos costos de transacción para el uso de los recursos y presencia o ausencia de derechos de propiedad. De carácter ecológico: fragmentación de bosques en paisajes rurales, donde predominan los usos agrícolas que dan soporte a la seguridad alimentaria, y defaunación (eliminación de animales en ciertos ecosistemas), que reduce las posibilidades de reproducción de algunas especies forestales. Y, más recientemente, es destacable como pesadísimo factor el cambio climático, con su efecto sobre las tasas de crecimiento y cambios en la composición de los bosques.

Desde hace décadas, un número importante de iniciativas han tratado de implementar, como medidas de mitigación de la pérdida de bosque, prácticas de manejo forestal sostenible -uso programado de los recursos sin comprometer futuras cosechas-, que han sido oficializadas por medio de estándares y normas contribuyendo principalmente a mantener la biodiversidad forestal, pero poco o ningún avance han logrado en cuanto al bienestar social local. De hecho,

el conocimiento de las normas y obligaciones que -de acuerdo con esas prácticas propuestas de manejo forestal- deben ser cumplidas para acceder al recurso forestal es exclusivo de los técnicos -privados y públicos-. Exclusividad que entre los propietarios ha originado el desconocimiento de la manera -legal- de producir madera y servicios ambientales en sus bosques, quedando relegados al papel de simples proveedores de materia prima. Como consecuencia, el beneficio real de los bosques para los agricultores es altamente difuso, llegando ellos a preferir el uso agrícola de la tierra en vez del forestal.

Partiendo de la tesis de que los bosques son y deben ser pilares de desarrollo del país y de que existen fuerzas que ponen en peligro su permanencia, la generación y el acceso al conocimiento de ellos y su manejo son básicos para mejorar la toma de decisiones sobre la gestión forestal. La Universidad Nacional, enfrentando el gran desafío de acrecer el bienestar local con base en el uso de los bosques y las plantaciones forestales, hace 20 años creó el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (Inisefor), que significativamente ha contribuido con investigaciones de largo plazo monitoreando continuamente bosques y plantaciones forestales nacionales -muchos de los resultados están siendo ahora utilizados para el fortalecimiento de iniciativas de relevancia mundial como la estrategia *Costa Rica carbono neutral*-. El Inisefor también ha avanzado en el conocimiento de la conservación forestal con trabajos

pioneros en diversidad genética de poblaciones y reproducción *ex situ* de especies en peligro de extinción a través de técnicas como el cultivo de tejidos, que en el caso de las especies forestales por lo general son aplicadas cuando se presentan dificultades de reproducción. Asimismo, ha hecho progresos en prácticas de silvicultura intensiva, como fertilización de plantaciones y mejoramiento genético para mejorar la competitividad de las plantaciones forestales.

Considerando la complejidad de los paisajes costarricenses, producto de la combinación de factores socioeconómicos y ecológicos a los que se suma ahora el cambio climático, debe aceptarse que se están dando -y se van a dar más- transformaciones importantes en la composición y estructura de los bosques, mutándolos en diversas medidas. Preguntas nuevas y más complejas se hacen ahora vigentes para entender tales cambios, las cuales solo pueden ser respondidas con investigación de largo plazo. Esta es responsabilidad principal de los institutos de investigación, como Inisefor, quienes además deben generar e impulsar propuestas de conservación ajustadas verdaderamente a las condiciones locales que realmente contribuyan al bienestar local, dado que son la gente y el bosque lo que nos interesa preservar en condiciones óptimas.



## Reforestar y cultivar árboles son actividades muy diferentes

..... **Orlando Chinchilla y Fernando Mora** .....



Ingenieros forestales. Investigadores en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (ochinchi@una.ac.cr; moraf2005@yahoo.com).

**E**l establecimiento de las plantaciones forestales en Costa Rica se inició en los años 70, cuando el Gobierno, por medio de la Dirección General Forestal (DGF), hoy día Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (Minaet), comenzó un programa de incentivos a la reforestación. Erróneamente, los incentivos se otorgaban sin importar la procedencia del material genético; el lugar de plantación podía tener pendientes hasta del 70%; el suelo podía ser de cualquier orden; y las especies para la plantación debían ser las reconocidas a nivel internacional e introducidas al país, como –entre otras- melina, teca, pino caribe y eucalipto, y también algunas otras nativas como el pochote y el laurel. No existía una tradición de manejo silvicultural en Costa Rica, por lo que el establecimiento, mantenimiento inicial y manejo posterior de las plantaciones, a través de podas y raleos, se realizaba de acuerdo a las posibilidades económicas y técnicas del productor. Unido a esto, no había un control estricto por parte de la DGF sobre las actividades realizadas en las plantaciones, por lo que la falta de supervisión trajo consigo una decepción para muchos de los propietarios de terrenos, que plantaban

con la finalidad de obtener los incentivos económicos de parte del Gobierno.

En la década de los años 90, cuando los árboles de las plantaciones habían alcanzado naturalmente un tamaño significativo, los propietarios no sabían qué hacer con la madera; inclusive desde antes, cuando algunos realizaban raleos se veían obligados a dejar el material cortado en la misma plantación, debido a la falta de mercado. Es decir, no hubo ningún acompañamiento por parte del Estado para la colocación de los diversos productos (madera para aserrío, postes, leña, etc.) extraídos de las plantaciones; lo que significa que no hubo estudios de mercado, ni antes ni después de establecidas las plantaciones, y eso provocó la aparición en escena del intermediario maderero, que en la mayor parte de las ocasiones se aprovechó para ofrecer montos muy bajos –por no decir ridículos- a los productores que no tenían ninguna experiencia en el mercadeo de la madera y caían bajo el ofrecimiento de unos pocos millones de colones. Esta actividad la realizaron muchos de los empresarios más que todo por un asunto de oportunidad, ya que nunca aprendieron a valorar y a comprender las posibilidades reales que les brindaba la madera. Podemos decir, objetivamente, que en sus inicios la actividad forestal no logró sentar las bases para el desarrollo de un encadenamiento productivo y que verdaderamente no hubo manejo, sino simple reforestación. Normalmente, cuando se reforesta se deja que los árboles luchen naturalmente por el espacio,

tanto por arriba como por abajo, acompañándolos con raleos y podas ocasionales, y se toma la decisión, unos años antes de la corta final, de dejar los mejores árboles. Por tradición, es lo que todos los “reforestadores” han hecho, debido a que nunca se les enseñó a cultivar árboles.

Se necesitó treinta años para que todos nos diéramos cuenta de que, antes de llevarla a una plantación a campo abierto, es necesario conocer el comportamiento de una especie forestal en su medio natural; y de que debemos buscar sitios con buenas características para establecerla; y que antes de plantar los árboles debemos tener claro cuál es nuestro objetivo de plantación, realizando estudios de mercado; y que cada vivero debe contar con la mejor procedencia de semillas, porque de ella depende el éxito de las plantaciones; y que el material de vivero, de acuerdo a la especie, necesita un tipo de producción y un tamaño ideal para llevarlo al campo; y que debemos conocer el suelo, a través de los análisis químicos y físicos, para entender que si hay deficiencias nutricionales, o mucha o poca acidez, la especie podría tener problemas. Hoy día sabemos que podemos tomar la determinación de no plantar si las condiciones del suelo no son las idóneas; que la preparación del terreno es indispensable para un mejor crecimiento de la especie; que es necesario, desde el principio, realizar el diseño de las vías de saca para extraer los futuros productos de la plantación; y que es preciso llevar a cabo un manejo intensivo en cuanto al mantenimiento inicial (rodajeas, limpieas, fertilización,

etc.), la aplicación de podas y raleos oportunos, el saneamiento y el control de plagas y enfermedades; y que debemos concentrar, desde un inicio, el “potencial del sitio” en los mejores árboles, que serán los que en el futuro podremos vender a muy buen precio o que podremos transformar para darles un mayor valor agregado, sin que el intermediario se aproveche de las diversas situaciones adversas que pueda estar enfrentando el dueño de la plantación. Todo este proceso es lo que se denomina cultivo de árboles.

El cultivo de los árboles es la idea que nosotros como ingenieros forestales debemos establecer en el pensamiento de los propietarios de las fincas y de cualquier persona interesada en “reforestar”. Es obvio que la reforestación es completamente diferente al cultivo de árboles. Cualquiera puede reforestar pero cultivar árboles requiere un mayor esfuerzo. Cultivar árboles es una actividad que se aprende con la experiencia y que se transmite a través de la vivencia y con los hechos. Debemos valorar que el árbol nos va a devolver en el futuro toda la inversión y esfuerzo realizado en los primeros años. Es muy fácil comprender que en una plantación de 1.111 árboles por hectárea solo entre el 20 y el 25% de ellos llegarán a la corta final y serán los que nos darán el mayor volumen por individuo y por unidad de superficie.

Si tomamos la decisión de cultivar árboles tenemos que adoptar el compromiso y la determinación de, desde el inicio, ayudar a los árboles de la cosecha



Gregory Basco, Costa Rica

final (“árboles del futuro”) para que alcancen su máximo crecimiento. La selección de los individuos para la corta final la podemos realizar, en la mayor parte de las especies, a los cinco años de edad (durante el primer raleo), guardando los espaciamientos necesarios entre individuos y seleccionando los que demuestren un mayor crecimiento inicial. A partir de ese momento el cuidado de ellos se vuelve más individualizado, por lo que estos árboles del futuro tendrán que ser fertilizados y liberados de plagas y enfermedades y, en caso de ser necesario, se les aplicará po-

das en forma oportuna; también se tendrá que eliminar todos los individuos de la masa residual que compitan por espacio radicular y aéreo con los árboles del futuro y se deberá concentrar todo el “potencial del sitio” en esos árboles para que alcancen su mejor desarrollo.

Pero no solamente en plantaciones es posible cultivar árboles. Puede también hacerse aisladamente en el patio de la casa, en el área verde de la comunidad, en los límites de las cercas cuando la actividad principal es la ganadería o, como en los sistemas agroforestales, mezclados con café o cacao, o como tutores de la vainilla o la pimienta, con árboles frutales, o en sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles. Debemos tener presente que la especie seleccionada siempre deberá ser la idónea.

Un buen ejemplo de una especie promisoriosa es la caoba (*Sweitenia macrophylla*). Nadie quiere establecerla en plantación debido al ataque del barrenador *Hypsipyla grandella*, que causa daños principalmente en los brotes. Sin embargo, nadie se pregunta cómo podemos combatir un problema que realmente no es tan serio, pero que lo vemos como algo difícil de solucionar y por ese motivo muchos toman la decisión de no plantar tal especie. Esto sucede porque solo pensamos en reforestar y en dejar que sea la madre naturaleza la que nos libre de plagas y enfermedades, sin tener que invertir en el cuidado de los árboles y en el control fitosanitario de ellos. Cultivar los árboles se convierte, ante esta situación, en el mejor tratamiento para lu-

char contra el barrenador de las meliáceas. Debemos tener presente que el ataque del barrenador no produce la muerte del árbol; también debemos saber que el árbol se recupera fácilmente después de un ataque pues tiene buena capacidad de rebrote y si le ayudamos, seleccionando el mejor brote, el árbol continuará su crecimiento y podrá desarrollar aun más su fuste. Esto suponiendo que no se aplique ningún insecticida que podría disminuir la posibilidad de un ataque y que podría, como es lógico, ayudar en el control del barrenador.

¿Se ha preguntado usted cuánta madera puede generar un árbol de caoba en el término de 25 o 30 años, con buen cuidado y atención oportuna especialmente durante los primeros cinco años? Hemos calculado que podría producir alrededor de un metro cúbico. El valor actual del metro cúbico de madera de caoba en el mercado internacional ronda los \$1.600, y el tiempo que necesita un árbol para alcanzar 10 metros de fuste limpio, libre de ramas, es de aproximadamente cuatro o cinco años. Un ganadero podría tener en los bordes de su finca de una hectárea cerca de 60 árboles de caoba, distanciados a siete metros. El área que ocuparían esos 60 árboles en el momento de la corta final, en 10.000 metros cuadrados, sería de tan solo ocho metros cuadrados a la altura de pecho (1,30 m.s.n.s.) y podrían generarle \$96.000 con el precio de compra actual. En conclusión, aprender a cultivar árboles es la mejor solución al problema del desabastecimiento de madera en el país.



## Características de la adopción de sistemas agrícolas como base para viabilizar opciones de manejo forestal

..... || Víctor Meza || .....

Ingeniero forestal.  
Investigador en  
la Universidad  
Nacional. Estudiante  
de doctorado en  
la Universidad de  
Freiburg.



En los últimos años, el reconocimiento de los aportes -económicos, sociales, culturales y ambientales- que la producción forestal hace a la sociedad ha aumentado considerablemente (Fao, 2005), pero también ha aumentado la evidencia de que en la mayoría de los casos esos aportes no se reflejan en beneficios para los dueños de las tierras donde se ubican esos ecosistemas. Beneficios, sin embargo, que juegan diferentes roles en los procesos de decisión para definir los usos de la tierra. Por ejemplo, es por muchos conocido que el cultivo del maíz tiene un valor que va más allá de su precio de mercado para los agricultores de autoconsumo (Arslan, 2011), y es considerado como parte de la base cultural de muchos pueblos indígenas en Mesoamérica (Barrera-Bassols et al., 2006). Por lo tanto, este beneficio se encuentra más cercano a los valores de no-mercado y puede ser asociado a los sistemas agrícolas de subsistencia (Arslan y Taylor, 2009). En contraste, cultivos como la piña, la palma africana y el café presentan más características de valores de mercado; de hecho, los beneficios en estos casos son de carácter económico. Por lo tanto, para

un mejor entendimiento de los procesos de adopción del manejo forestal bajo la lógica de tipos de beneficios es necesario diferenciarlos en dos sentidos: el económico y el socio-cultural.

La evidencia, desde el análisis de la literatura, es que tanto los bosques como los productores se encuentran inmersos en contextos locales altamente complejos que pueden ser distintos unos de otros. En algunos casos, estos contextos son influenciados por factores y realidades locales que se interesan en aspectos de subsistencia y mantenimiento de la cohesión social. Por otro lado, la sociedad presiona por bienes y servicios forestales sin considerar el impacto sobre esos contextos rurales. En consecuencia, el cómo debe hacerse la conservación se ha concebido desde diferentes puntos de vista. En Costa Rica, por ejemplo, se ha basado en la regulación del uso de los recursos forestales -que será llamado manejo forestal sostenible (MFS), el cual consiste en un conjunto de normas y reglas de cómo deben usarse los bosques-, y en la producción de la madera legal, y no así en la sostenibilidad de los productos forestales (FLEGT, 2004).

Más recientemente, se han desarrollado propuestas de MFS enfocadas en la conservación de la biodiversidad como el factor determinante del éxito en el manejo de tierras (Lugo, 1999). Sin embargo, estas propuestas son solo modestas en su contribución con el desarrollo local y, en algunos casos, han generado conflictos de interés entre los diferentes actores encargados del control y los usuarios de

los recursos; como resultado hay una baja aceptación de las propuestas convencionales de MFS por parte de los pequeños productores locales. Queda claro, entonces, que si el paradigma es aumentar la competitividad del bosque para el pequeño productor y mejorar la conservación de aquel, la biodiversidad no debe ser vista como la única salida. Es necesario un equilibrio de producir sustentablemente (Campos et al., 2001), pero en una actividad que tenga implicaciones prácticas para mejorar los beneficios del productor.

El entendimiento de los procesos de toma de decisiones por parte de productores locales se convierte en una herramienta para mejorar procesos de adopción, debido a que continuamente ellos están tomando diversas decisiones sobre el manejo de los recursos naturales, principalmente, que competen al soporte de sus *livelihoods* (medios de vida) (Berkes, 2001). De hecho, la inseguridad en sus *livelihoods* es el principal problema que deben enfrentar los sistemas productivos locales (Bhandari and Grant, 2007); y este es, sin lugar a dudas, uno de los principales factores que influye en la decisión sobre el uso que debe tener la tierra. Por lo tanto, es necesario reconocer que los agricultores son importantes agentes de cambio ambiental (Reenberg y Paarup-Laursen, 1997) y que usan la tierra principalmente para la agricultura y la seguridad alimentaria. Así, los procesos para la toma de decisiones tienen una particular historia agraria en contextos rurales. Estos contextos son caracteriza-

dos mayoritariamente por tener un alto componente agrícola, más que un componente forestal. Consecuentemente, sería ingenuo pensar que con apenas escasas tres décadas de hablar de MFS (aquí hablamos de producción forestal de la manera como lo fijan las normas) se va a cambiar una cultura agraria que en algunos casos llega a ser de siglos. Por lo tanto, tomar en cuenta las características de los sistemas agrícolas adoptados por la gente local ayudaría a identificar los factores de adopción que, posteriormente, profundizando en los aspectos institucionales y las capacidades locales, pueden ser esenciales para ser trasladados hacia propuestas de manejo forestal optimizadas según los factores locales.

La aceptación, entonces, de que existen sistemas productivos fácilmente adoptados por los agricultores se convierte en una poderosa herramienta para identificar las mejores prácticas y decisiones que están siendo tomadas por los agricultores en los diferentes sistemas de producción. Todo esto considerando la existencia de procesos y mecanismos que han estado funcionando exitosamente en estos sistemas productivos para sostener medios de vida locales. Mientras una variedad de enfoques para medir los procesos de decisión por parte de los agricultores (Keating and McCown, 2001; Valbuena et al., 2008; Lynam et al., 2007; Bacon, 2005; Farrington et al., 1999; Barrera-Bassols et al., 2006; McCown et al., 2002) han sido sugeridos, en esta propuesta se toma como base la recomen-

dación hecha por Williamson (1998) en términos de economización de los costos de transacción como un convincente enfoque para definir el uso de los recursos naturales. De hecho, incompatibilidades entre las dimensiones económicas y socio-culturales con las características del sistema productivo provocan mayores costos de transacción.

Por una parte, cualquier medida de control que se proponga sobre la producción forestal debe ser analizada en términos de sus costos de transacción. Consecuentemente, si los costos son directamente relacionados con la escogencia o adopción de un sistema productivo, estos se convertirían en barreras subjetivas para la escogencia por parte de los agricultores (Williamson, 1999). Esto es, a menos costos de transacción para un determinado sistema agrícola, más atractivo será para la adopción (Nascimento & Tomaselli, 2005). Por ejemplo, si la producción de la madera se diera a menores costos de transacción y fuera la actividad que diera el mayor valor al uso de la tierra -como criterio de decisión para definir si una actividad es rentable o no, de acuerdo a la teoría del valor esperado de la tierra-, entonces este sería el sistema de manejo que maximiza el valor del activo tierra. Por otra parte, el valor de los recursos naturales depende no solamente de los precios de mercado y de sus usos directos, sino también se basa en otros usos indirectos que no pueden ser negociados en los diferentes mercados (Lette y de Boo, 2002), y tienen que ver con los valo-

res de no-mercado. Por tanto, se plantean dos dimensiones de análisis como una herramienta para mejorar el entendimiento en la adopción de los bosques como uso de la tierra.

Para contribuir con el enfoque analítico de mejorar la adopción del MFS se establece un marco conceptual que trata de operacionalizar el entendimiento de la adopción de sistemas productivos. A través del análisis de un modelo teórico que se basa en la caracterización intrínseca de los pequeños productores. Para lo que



Erick Gay, Sarapiquí, Costa Rica

se definen las tasas de compatibilidad entre sistemas productivos y las dimensiones económicas y socio-culturales que son exitosas en generar bienestar local. El modelo describe la manera en que los diferentes sistemas productivos de uso de la tierra son capaces de desarrollarse en los contextos rurales. Para ello se asumen los dos siguientes supuestos:

- 1) Los arreglos institucionales actuales del MFS están originando diferentes grados de insatisfacción entre los pequeños productores, lo que contribuye a la pérdida potencial del recurso y al deterioro del bienestar local. La insatisfacción puede asociarse a bajas tasas de compatibilidad entre las posibilidades reales de producción del pequeño productor y el paquete tecnológico recomendado por un "mercado" compuesto de instituciones internacionales, organizaciones no gubernamentales, Gobiernos, instituciones académicas, etc. Estas, mayoritariamente, han intentado trasladar paquetes tecnológicos de una región donde ha funcionado a otras regiones, obviando que los sistemas productivos compatibles con las condiciones locales de pequeños productores pueden presentar una serie de condiciones que los diferencian de otros. Por lo tanto, transportar capital social -conocimiento, prácticas locales, redes de amistad, etc.- demandaría mayores costos de transacción, así como nue-

vos modos de gobernanza basados en las condiciones locales, pero menos de las demandas del mercado.

- 2) Existen sistemas de producción (sistemas adoptados) más compatibles con las realidades y las condiciones locales que generan mayores grados de satisfacción entre los pequeños productores. Los cuales presentan altas tasas de adopción y son replicados de manera espontánea en los contextos rurales. Por lo tanto, la identificación de los factores que hacen posible aumentar los grados de compatibilidad entre las preferencias y los arreglos desarrollados por los sistemas adoptados serían la base teórica para recomendar nuevas opciones de sistemas de MFS. Todo esto a través de la imitación y el aprovechamiento de las mejores características de los sistemas productivos exitosos, ya que el aprendizaje entre sistemas de producción es evidentemente clave (Foss 1996) para mejorar la adopción.

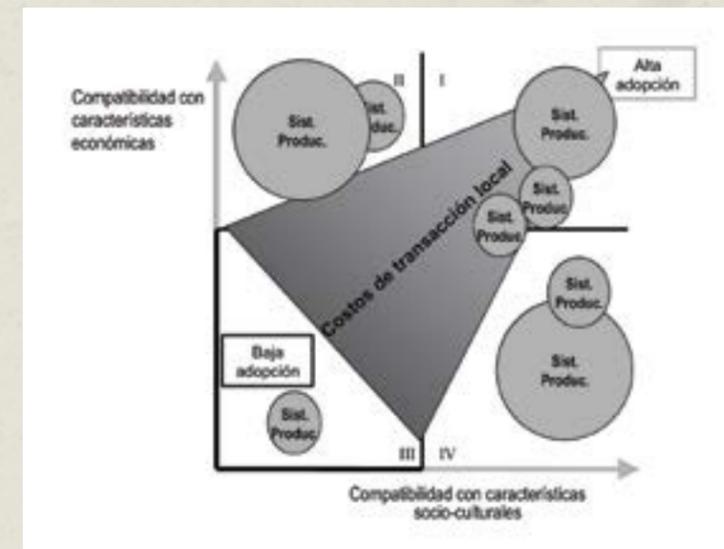
El concepto central del marco de análisis de esta propuesta es identificar opciones de sistemas productivos que van más allá de una clasificación convencional que relaciona los ingresos, las formas de cultivar la tierra o la manera de manejar los recursos productivos. Así, la diferencia conceptual radica en aceptar la diversidad de formas que tienen los pequeños productores de relacionarse con el territorio, el medio ambiente, el entorno social,

económico y cultural y, en algunos casos, visiones del mundo muy disímiles (Sain y Calvo, 2009). Este sistema integra cinco elementos: el primero, lo constituye el paradigma de modificar los actuales arreglos institucionales del MFS poco exitosos y transformarlos en nuevos modos de gobernanza de MFS. El segundo, son las capacidades locales que son definidas en dos dimensiones: la económica y la socio-cultural. El tercero, lo conforma la viabilidad de desarrollar nuevas opciones de MFS que puedan ser propuestas como producto de la adaptación de los factores de éxito, que fueron identificados de los sistemas productivos no forestales. El cuarto se refiere a los grados de compatibilidad del sistema productivo con las capacidades locales. Y, por último, el quinto corresponde a los costos de transacción (figura 1).

Descripción de los cuatro escenarios teóricos según las diferentes maneras de cómo son adoptados los sistemas de uso de la tierra por parte de productores locales:

- a) *Cuadrante I:* Sistema exitosamente adoptado, donde se presenta alta compatibilidad tanto con las características socio-culturales como con las económicas, por lo tanto la aceptación de los sistemas productivos presenta bajos costos de transacción. Se asumen sistemas de producción más compatibles con las realidades y las condiciones locales que generan mayores grados de satisfacción entre los pequeños productores y

**Figura 1.** Modelo conceptual que describe la compatibilidad de los sistemas productivos locales de acuerdo a las dos dimensiones -económica y socio-cultural- expresada en costos de transacción.



los arreglos institucionales que promueven bajos costos de transacción. Por lo tanto, la identificación de los factores que hacen posible que se dé este aumento en las tasas de compatibilidad, entre las preferencias locales y el contexto que envuelve el sistema productivo, son la base para la búsqueda de datos empíricos que sirvan para probar que a través de la imitación de estos formatos en contextos de MFS se tendrán mayores posibilidades de éxito en la adopción y en la generación de bienestar. Por consiguiente, las nuevas opciones de sistemas de MFS deberán tener mayor aceptación y ser más sostenibles en el largo plazo, ya que

con la imitación y el aprovechamiento de las mejores características de los sistemas productivos exitosos en cada caso, y el aprendizaje entre sistemas de producción, podrían ser considerados claves para asegurar un mayor éxito.

- b) *Cuadrante II:* Alta compatibilidad con las características económicas pero baja compatibilidad con las características socio-culturales, lo que genera mayores costos de transacción. Se mantiene la insatisfacción en el pequeño productor por el sistema productivo, con bajas compatibilidades entre el sistema productivo y las preferencias locales, pero se dan mayores costos de transacción. Por tal motivo los arreglos institucionales deben centrarse en buscar aumentar el número de compatibilidades posibles con las preferencias. Los sistemas ubicados en este escenario son caracterizados por generar ingresos económicos a través de la comercialización, por ello están más asociados a altos costos de transacción que son producto de las exigencias del mercado.
- c) *Cuadrante III:* Sistemas no exitosos, donde se presenta baja compatibilidad con ambas dimensiones, tanto con las características económicas como con las socio-culturales, por lo tanto la adopción se da con altos costos de transacción. Se asume que los arreglos institucionales actuales del sistema productivo están

originando diferentes grados de insatisfacción entre los pequeños productores. La insatisfacción puede asociarse a bajas tasas de compatibilidad entre las posibilidades reales de producción del pequeño productor y el paquete tecnológico recomendado por el “mercado”; este último ofrecido por las instituciones internacionales, las organizaciones no gubernamentales, el Gobierno y las instituciones académicas, entre otras. Por tal motivo, para contrarrestar las incompatibilidades entre el sistema productivo y las condiciones del pequeño productor se hace necesario incurrir en mayores costos de transacción. En este escenario se ubicarían una parte de los proyectos de desarrollo tradicionales, donde los sistemas productivos recomendados son abandonados por el pequeño productor después de que los proyectos finalizan, quien volverá a instalarse en aquellos sistemas productivos preferidos por él, y que sean más adecuados a sus realidades. Como resultado, las bajas tasas de compatibilidad mantenidas con ambas dimensiones ocurren principalmente por la falta de una organización no gubernamental que asuma los costos de transacción que implica cumplir con las demandas del mercado. Por lo tanto, las posibilidades de mantenerse en el sistema de producción recomendado disminuyen.

d) *Cuadrante IV*: Alta compatibilidad con la dimensión socio-cultural pero baja con la económica, por lo tanto la adopción implica mayores costos de transacción. En este escenario se encuentran ubicados los sistemas productivos que tienen que ver con la subsistencia y la seguridad alimentaria; esto a pesar de altos costos de transacción. Por consiguiente, al asumirse altas tasas de compatibilidad entre el sistema de producción y la dimensión socio-cultural, se demandarían ajustes a los actuales arreglos institucionales para bajar los costos de transacción. En el caso del MFS, la eficiencia se podría medir a través de la capacidad que tienen los diferentes actores de asumir los costos de transacción necesarios para viabilizar nuevos formatos de MFS, en el caso de que el rol de los bosques estuviera relacionado con valores de no-mercado.

El marco conceptual aquí presentado describe la diversidad de factores y capacidades actuales que tiene un productor local para definir usos de la tierra. Este se basa en los diferentes formatos de gobernanza que se dan en los sistemas productivos no forestales que son exitosamente adoptados por los productores. Los formatos desarrollados en estos sistemas productivos serán el eje para recomendar los ajustes y nuevos arreglos institucionales en las propuestas de MFS, donde su eficiencia se podría medir

a través de la capacidad que tienen los diferentes actores de asumir los costos de transacción necesarios para viabilizar los nuevos formatos. Por lo tanto, se debería promover arreglos institucionales donde el mercado sea capaz de asumir los costos de transacción necesarios para acercar las demandas a las realidades locales, disminuyendo al mínimo posible los costos de transacción para el pequeño productor.

La evidencia demuestra que en la mayoría de los casos las instituciones han querido trasladar paquetes tecnológicos completos de una región -donde ha funcionado- a otra, pero sin prestar atención a la serie de características que hacen compatible el sistema productivo con las condiciones actuales de los pequeños productores. Por ende, dado que las características son diferentes entre grupos e individuos variando en el tiempo y en el espacio, transportar capital social demandaría mayores costos de transacción. Entonces, nuevos modos de gobernanza deben basarse más en las condiciones locales y menos en las demandas del mercado.

La noción de que la biodiversidad (aunque el tema no es ampliamente abordado en este documento) podría ser conservada sin tomar en cuenta las necesidades y las aspiraciones de las comunidades es simplemente un camino no viable para el éxito (Wells y McShane, 2004). Poca atención se ha puesto al entendimiento de las actuales incompatibilidades entre el MFS y las necesidades y preferencias de los pequeños productores

que puedan ser modificadas para garantizar nuevos modelos de manejo forestal más flexibles y viables, con el propósito de generar bienestar local. Por el contrario, el debate continúa en torno a si los bosques tropicales pueden ser manejados compatiblemente con la conservación de la biodiversidad; y poca discusión se da sobre la generación de mecanismos que efectivamente puedan generar bienestar.

**Referencias bibliográficas**

Arslan, A. y Taylor, J. E. (2009). Farmers' Subjective Valuation of Subsistence Crops: The Case of Traditional Maize in Mexico. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(4), 956-972.

Arslan, A. (2011). Shadow vs. market prices in explaining land allocation: Subsistence maize cultivation in rural Mexico. *Food Policy*, 36(5), 606-614.

Bacon, C. (2005). Confronting the coffee crisis: can fair trade, organic, and specialty coffees reduce small-scale farmer vulnerability in Northern Nicaragua? *World Development*, 33 (3), 497-511.

Barrera-Bassols, N., Zinck, J. y Van Ranst, E. (2006). Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. *Catena*, 65, 118-137.

Berkes, F. (2001). Religious traditions and biodiversity. *Encyclopedia of Biodiversity*, 5, 109-120.

Bhandari, B. y Grant, M. (2007). Analysis of livelihood security: A case study in the Kali-Khola watershed of Nepal. *Journal of Environmental Management*, 85, 17-26.

Campos, J., Camacho, M., Villalobos, R., Rodríguez, C. y Gómez, M. (2001). *La tala ilegal en Costa Rica: un análisis para la discusión. Informe elaborado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*. Catie: Costa Rica.

Fao. (2005). *Situación de los bosques del mundo*. Roma, IT. 153 p.

Farrington, J., Carney, D., Ashley, C. y Turton, C. (1999). Sustainable livelihoods in practice: early applications of concepts in rural areas. *Natural Resources Perspectives*, ODI, 42.

FLEGT (Plan de Acción de la UE para la aplicación de leyes, gobernanza, y comercio forestales). (2004). *¿Por qué legalidad y no sostenibilidad?* Unión Europea. 1 p. (Nota informativa N° 4)

Foss, N. (1996). "The 'Alternative' Theories of Knight and Coase, and the Modern Theory of the Firm". *Journal of the History of Economic Thought*, 18, 76-95.

Kanel, K. y Dahal, G. (2008). Community forestry policy and its economic implications: an experience from Nepal. *International Journal of Social Forestry*, 1, 50-60.

Keating, B. y McCown, R. (2001). Advances in farming systems analysis and intervention. *Agricultural Systems*, 70, 555-579.

McCown, R., Hochman, Z. y Carberry, P. (2002). Probing the enigma of the decision support system for farmers: Learning from experience and from theory. *Agricultural Systems*, 74, 1-10.

Nascimento, J. y Tomaselli, I. (2005). *Cómo medir el clima para inversiones en negocios forestales sostenibles*. Interamerican Development Bank.

Lette, H. y de Boo, H. (2002). Economic Valuation of forests and nature: a support tool for effective decision making. IAC-Wageningen, NL. Series 6. 69 p.

Lynam, T., De Jong, W., Sheil, D., Kusumanto, T. y Evans, K. (2007). A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management. *Ecology and Society*, 12(1), p. 5. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art5/>

Lugo, A. (1999). Will concern for biodiversity spell doom to tropical forest management? *The Science of the Total Environment*, 240, 123-131.

Reenberg, A. y Paarup-Laursen, B. (1997). Determinants for land use strategies in a Sahelian agro-ecosystem - anthropological and ecological geographical aspects of natural resource management. *Agricultural Systems*, 53: 209-229.

Sain, G. y Calvo, G. (2009). *Agriculturas de América Latina y el Caribe: Elementos para una contribución de la ciencia y la tecnología al desarrollo sostenible*. San José: IICA-Unesco.

Valbuena, D; Verburg, P. y Bregt, A. (2008). A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128, 27-36.

Wells, M. y McShane, T. (2004). Integrating Protected Area Management with Local Needs and Aspirations. *Ambio*, 33 (8).

Williamson, O. E. (1998). Transaction cost economics: how it works; where it is headed. *The Economist*, 146, 23-58.

Williamson, O. E. (1999). Strategy research: governance and competence perspectives. *Strategic Management Journal*, 2, 1087-1108.



Ingeniero forestal especialista en silvicultura tropical. Coordinador del Proyecto Monitoreo de Ecosistemas Forestales del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional.

## Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa *Costa Rica carbono neutral*

..... | **Mauricio Sánchez** | .....



• Cuál es el porcentaje del territorio de Costa Rica que se encuentra cubierto de bosque? ¿En qué condiciones se encuentran esos ecosistemas? ¿Cuáles especies de árboles han desaparecido y cuáles se encuentran en vías de extinción? Estos son algunos ejemplos de preguntas que han estado en las mesas de discusión y análisis de la situación actual de los recursos forestales costarricenses; sin embargo, aún representan un gran reto por responder de manera confiable para las autoridades forestales y académicas de este país.

Determinar la proporción de cobertura forestal en el territorio nacional ha sido el tema en el cual se ha invertido mayores esfuerzos y ha sido el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo) el encargado de liderar este proceso. De acuerdo con Navarrete (2011), en 1950 se realizó la primera estimación de cobertura forestal mediante un mapa, y en 2004 Fonafifo financió un estudio con imágenes LANDSAT para determinar el porcentaje de cobertura forestal para 1990, resultando un 32% del territorio. Un estudio similar realizado para el año 2005 calculó que el



porcentaje de cobertura forestal había aumentado hasta alcanzar el 51% del país.

A pesar de esta tendencia positiva de recuperación de cobertura forestal, no existe certeza de si en términos absolutos el país ha venido mejorando (Fonafifo, 2010). Se ha venido ganando áreas con regeneración temprana pero se siguen perdiendo bosques de viejo crecimiento. Además, la exactitud de las estimaciones ha sido afectada por las técnicas utilizadas así como por las definiciones de lo que se considera bosque o no bosque.

En cuanto a la determinación de la "salud" o condiciones en las que se encuentran estos ecosistemas la situación es aun más compleja. La degradación de los bosques, por ejemplo, debe ser evaluada en diversas escalas y para diferentes propósitos, existiendo planteamientos que tienen que ver con el uso de umbrales territoriales y temporales (Simula y Mansur, 2011).

El uso de umbrales o valores de referencia ya se ha venido utilizando en Costa Rica para ayudar a tomar decisiones en el manejo de bosques naturales. Con el fin de determinar si un bosque puede aceptar un nuevo aprovechamiento forestal se comparan los valores actuales de los parámetros que los caracterizan con valores de referencia preestablecidos. Estos valores de referencia establecen los umbrales que la Comisión Nacional para la Sostenibilidad Forestal (CNSF) ha determinado que se deben respetar para asegurar la conservación de los bosques y sus funciones vitales (Minaet, 2009).

Los valores de referencia son tomados de la información de línea base o, lo que es lo mismo, de datos obtenidos de bosques poco disturbados. En Costa Rica se utilizan dos tipos: el valor de referencia mínimo de área basal por tipo de bosque, expresado en metros cuadrados por hectárea, y el valor de referencia máximo del porcentaje del gremio de las especies heliófitas efímeras (o especies pioneras colonizadoras de claros en el bosque), expresado en el porcentaje del total de los árboles con diámetros mayores a 10 centímetros que existen en el bosque.

Una de las técnicas para la evaluación de la estructura y la composición de los bosques, que forman parte de la línea base deseada, es la utilización de parcelas permanentes de muestreo, las cuales son áreas de bosque permanentemente demarcadas que son medidas periódicamente. En la literatura se cita que deben ser mantenidas al menos durante cinco años, pero frecuentemente muchas de ellas exceden este período, proveyendo estimaciones de cambios en el volumen, composición y métricas básicas de los rodales (Alder y Synnott, 1992).

Un inventario preliminar elaborado recientemente sobre el estado del monitoreo de bosques naturales en Costa Rica (Inisefor, 2007) arrojó que en la actualidad el país podría contar con unas 550 parcelas permanentes de muestreo, que han sido establecidas y manejadas por instituciones académicas y organizaciones forestales durante las últimas tres décadas.

A pesar de contar con esta elevada cantidad de parcelas permanentes de muestreo, se puede decir que no se ha partido de un diseño de muestreo a nivel de país, por lo que existen zonas con exceso de puntos de muestreo y hay áreas boscosas donde hay vacíos de información. Esto es de esperar si se toma en cuenta que las parcelas han seguido los objetivos de proyectos de investigación de manera aislada, según los criterios de cada investigador.

El ejemplo de los valores de referencia de área basal y heliófitas efímeras representa muy bien esta situación, ya que esos umbrales están claramente definidos para una sección de las zonas Norte y Atlántica de Costa Rica (Minaet, 2009), y están basados en los resultados de una tesis de doctorado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie) que tomó en cuenta la existencia de parcelas permanentes así como de parcelas temporales en la zona de estudio y lo complementó con un análisis sumamente completo de sistema de información geográfica (Sesnie, 2006). El área en que se realizó el estudio es precisamente la zona del país donde más parcelas permanentes de muestreo han establecido diferentes entes relacionados con el sector forestal.

Pero ¿qué pasa en el resto del país? Para bosques fuera del área de estudio de Sesnie (2006) y el resto del país se estableció un valor de referencia mínimo de 11 metros cuadrados para todos los árboles con diámetros mayores o iguales a 30 cm. Sin embargo, los entes académicos, a

través de la CNSF, están llamados a realizar estudios para completar la información a nivel nacional.

\* \* \* \* \*

El Proyecto Monitoreo de Ecosistemas Forestales para el Fortalecimiento de Estrategias de Conservación y Uso de Bosques: una Contribución a la Iniciativa *Costa Rica carbono neutral* es una oportunidad para que el sector académico se sume de manera tangible al esfuerzo nacional por la conservación y el uso adecuado de los recursos forestales del país, específicamente, en este caso, a la determinación de valores de referencia en áreas prioritarias. Su contribución se centra en la colaboración para la uniformización, instalación, medición, mantenimiento y manejo de las parcelas permanentes de medición forestal existentes en el país, así como en la sistematización de la información generada a partir de ellas.

Participan en este proyecto el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional, la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y, hasta marzo de 2012, la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica. Cuenta con financiamiento del Consejo Nacional de Rectores a través del Fondo Estatal para la Educación Superior.

Con la uniformización y la sistematización de las parcelas seleccionadas se busca establecer el marco de referencia para un diseño de parcelas permanentes

de muestreo nacional. Además, se está generando una lista botánica de las especies arbóreas que son monitoreadas en cada parcela con el fin -entre otras cosas- de poder sentar la base para determinar cuáles especies están realmente en peligro. Hasta el momento se tiene un registro de 1.690 especies, mayormente árboles y arbustos, pero también se incluyen palmas, lianas y helechos arborecentes. Esta cantidad aumenta significativamente cada vez que se selecciona una nueva parcela permanente de muestreo.

Como parte de los productos del Proyecto se generó también un informe basado en la experiencia de medir y comparar los datos suministrados por 28 parcelas permanentes de muestreo que fueron seleccionadas debido a su distribución espacial, su tamaño y confiabilidad de la identificación dendrológica. Se utilizaron 28 parcelas permanentes de muestreo de una hectárea, distribuidas en cinco unidades de muestreo: Parque Nacional Guanacaste, Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, Parque Nacional Cerro La Cangreja, Transepto Altitudinal Caribe y Península de Osa (figura 1), las cuales fueron seleccionadas con el fin de obtener la mayor representatividad de la diversidad florística, estructura y composición (Sánchez, Hernández, Acosta y González, 2011). Este informe corresponde a aquel objetivo del Proyecto que consiste en contribuir a determinar el tipo y el grado de cambio en

métricas básicas de estructura horizontal y vertical, composición (las especies presentes, sus estructuras poblacionales e importancias relativas) y diversidad (riqueza e índices ampliamente utilizados de diversidad), de acuerdo al indicador 2.4 del Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (un ejemplo de estas métricas se muestra en el cuadro 1).

**Figura 1.** Ubicación geopolítica de las parcelas permanentes de monitoreo empleadas para el indicador 2.4 del informe 2011 Promec-CR (fuente: Sánchez et al., 2011).



**Cuadro 1.** Número de familias, géneros, especies e individuos en relación con la línea base contra última medición para las parcelas permanentes de muestreo (PPM) y unidades de muestreo evaluadas (fuente: Sánchez et al., 2011).

PPM	Cantidad de familias		Cantidad de géneros		Cantidad de especies		Cantidad de individuos	
	Línea base	Reciente	Línea base	Reciente	Línea base	Reciente	Línea base	Reciente
PNG 1	27	27	37	38	38	42	451	535
PNG 2	31	33	38	47	39	44	528	555
PNG 3	35	33	47	48	50	59	451	477
Investigación	-	39	-	66	-	82	-	591
Brillantes	-	33	-	54	-	69	-	942
Pantanosos	-	32	-	49	-	56	-	590
Eladios	-	36	-	69	-	79	-	541
Alemán	-	51	-	83	-	87	-	495
El Valle	-	40	-	61	-	65	-	572
La Cangreja 1	50	50	117	117	123	123	698	689
La Cangreja 2	45	43	84	84	101	99	518	464
La Cangreja 3	37	38	74	78	96	101	543	579
Municipalidad de Guácimo	33	38	62	63	70	70	396	418
Finca Bella Vista	30	30	54	51	65	62	443	438
La Catalina	37	40	67	68	91	83	471	461
Agrobosques López	29	31	55	60	57	62	290	356
Mogos 1	46	45	91	92	101	101	406	549
Mogos 2	44	45	90	93	106	113	499	594
Mogos 3	42	49	88	106	96	116	407	561
Mogos 4	44	50	95	58	106	124	427	528
Rincón 1	46	43	81	89	86	104	394	515
Rincón 2	40	44	71	81	79	95	408	630
Rincón 3	40	46	72	90	82	104	328	501
Rincón 4	44	41	76	80	84	94	383	504
Estero Guerra 1	40	44	85	95	85	101	481	565
Estero Guerra 2	36	40	81	91	91	108	490	560
Estero Guerra 3	41	49	94	107	97	115	413	580
Estero Guerra 4	43	46	91	103	101	122	497	652

Actualmente, el tema de redes de monitoreo de los recursos naturales se torna cada vez más importante debido a la necesidad de contar con información actualizada sobre el estado actual y pasado de los bosques. El ejemplo más actual es la Estrategia Nacional de Deforestación Evitada y Degradación de Bosques (REDD), que requiere comparar los stocks acumulados de carbono de un año de referencia en el pasado con una evaluación actual (Fonafifo, 2010).

No obstante, la falta de una distribución planificada con base en principios estadísticos con un diseño de muestreo nacional representa una limitante para que las parcelas permanentes de muestreo contribuyan a generar la información requerida por REDD. Además, en el seguimiento realizado a través de parcelas permanentes de muestreo la conformación de redes de cooperación cobra un gran interés debido a los altos costos del monitoreo. Los costos de establecimiento y remediación de una parcela permanente de muestreo pueden estar en el rango de \$1.500-\$3.000, dependiendo del grado de complejidad del bosque y las características físicas del sitio (topografía y clima).

Definitivamente, si deseamos de veras manejar y conservar nuestros bosques es necesario mejorar nuestros conocimientos sobre ellos. El seguimiento en el tiempo es indispensable, ya que los ciclos de aquellos sobrepasan fácilmente los ciclos de lo humano y la existencia de registros confiables es la única manera de medir realmente nuestro éxito.

**Referencias bibliográficas**

Alder, D. y Synnott, T. J. (1992). Permanent Sample Plot Techniques for Mixed Tropical Forest. *Tropical Forestry Papers*. Oxford Forestry Institute. University of Oxford. 124 p.

Fonafifo (2010). *Propuesta para la Preparación de Readiness R-PP Costa Rica. Presentado a Forest Carbon Partnership Facility (FCPF)*. San José: Minaet.

Inisefor (2007). *Diagnóstico del Estado Actual de PPM en Bosque Natural de Costa Rica*. Costa Rica. 1 CD-ROM.

Minaet (2009, abril 22). Resolución R-Sinac-021-2009. Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Código de Prácticas. *La Gaceta*, pp. 59-83.

Navarrete, G. (2011). *Avances del Monitoreo de Recursos Forestales en Costa Rica*. Disponible en: www.reddccadgiz.org

Sánchez, M., Hernández, L. G., Acosta L. G. y González, A. (2011). *Informe: Estructura, composición y tasas de recambio en 5 Unidades de Muestreo de Bosque Natural en Costa Rica. Contribución al indicador 2.4 del Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMECC-CR). Proyecto Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa Costa Rica Carbono Neutral. UNA-ITCR-UCR*.

Sesnie, S. E. (2006). *A geospatial data integration framework for mapping and monitoring tropical landscape diversity in Costa Rica's San Juan-La Selva Biological Corridor*. Tesis PhD. Programa Conjunto Catie y Universidad de Idaho. 154 p.

Simula, M. y Mansur, E. (2011). Un desafío mundial que reclama una respuesta local. *Unasylva*, (62), 3-7.



Ingeniero forestal. Investigador en genética forestal en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional.

## Conservación y reproducción *ex situ* de especies forestales en peligro de extinción en Costa Rica

..... || **Eugenio Corea** .....



La explotación selectiva y la eliminación de grandes áreas de bosques naturales, así como la tala de árboles en sistemas agrosilvopecuarios, han causado una reducción significativa del número y tamaño de las poblaciones naturales de muchas especies forestales en el país. Esto conlleva un alto riesgo de erosión genética, con la consecuente disminución de la diversidad genética de las especies y, por tanto, de su capacidad adaptativa y de su potencial de uso por parte del ser humano. La disminución, la fragmentación y/o el aislamiento de algunas poblaciones, así como el aislamiento de árboles individuales, causan una reducción o interrupción de los flujos genéticos y la posible pérdida de alelos como consecuencia de la deriva genética, y un aumento en la endogamia, con los correspondientes efectos negativos sobre la reproducción. El impacto de estos fenómenos ha sido más grande en especies maderables de mayor demanda, en especies cuyas principales poblaciones crecían naturalmente en suelos con vocación agropecuaria, industrial y urbanística, en especies que naturalmente presentan poblaciones muy



reducidas o dispersas y en especies endémicas de distribución natural limitada.

Por otra parte, la pérdida de hábitat con las condiciones necesarias para la germinación y/o el establecimiento exitosos de plántulas e individuos jóvenes, la posible disminución o eliminación de poblaciones de especies polinizadoras y dispersoras, los posibles efectos negativos del cambio climático sobre la floración y fructificación y el aumento de la endogamia pueden estar causando serios problemas para la reproducción natural en algunas especies.

La deteriorada estructura de las poblaciones actuales y la posible disminución de su capacidad de reproducción permiten plantear la hipótesis de que algunas de ellas puedan estar cerca o debajo del “tamaño mínimo viable” de población efectiva, es decir, del número mínimo indispensable de individuos con capacidad reproductiva para que la renovación de las poblaciones sea posible en las condiciones ambientales en que se encuentran (Shaffer, 1981). Las especies o poblaciones por debajo del “tamaño mínimo viable” van disminuyendo invariablemente de tamaño de generación en generación hasta extinguirse, aunque se encuentren en ecosistemas naturales efectivamente protegidos.

\* \* \* \* \*

En el año 2005, una comisión interinstitucional costarricense (Estrada,

Rodríguez y Sánchez, 2005) realizó una evaluación del estado de conservación de especies forestales nativas basada en los objetivos y categorías establecidas por UICN (2001). Dicha comisión determinó que en el país existen al menos 53 especies forestales en peligro de extinción, de las cuales 30 se encuentran en la categoría de peligro crítico. Como consecuencia de esta evaluación, el Estado costarricense ha decretado vedas legales, prohibiendo la tala de estas especies. Sin embargo, en la práctica no se cuenta con los mecanismos de control necesarios para hacer efectivas dichas vedas y evitar así una mayor disminución de las poblaciones.

Considerando que las disposiciones legales vigentes y la estrategia de conservación *in situ* mediante el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas no garantizan necesariamente la supervivencia y reproducción efectiva de las especies forestales amenazadas, especialmente de aquellas en peligro crítico y/o con poblaciones cercanas o por debajo del “tamaño mínimo viable”, se hace evidente la necesidad urgente de intervención humana y de implementación de una estrategia alternativa de conservación de dichas especies y su diversidad genética, con el fin de asegurar no solo su supervivencia sino también su potencial adaptativo y evolutivo frente a los cambios ambientales actuales y futuros.

Como solución a la problemática descrita, el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (Inisefor) de la Universidad Nacional planteó en el año 2006

un proyecto con el objetivo de contribuir a la conservación y reproducción de especies forestales amenazadas, dando prioridad a las que se encuentran en peligro crítico de extinción. Este proyecto ha sido financiado por Conare en sus diferentes etapas (2007-2009 y 2011-2013) y en él participan, además de Inisefor, la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, así como la Universidad Estatal a Distancia y el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El proyecto plantea e implementa una estrategia de conservación y reproducción *ex situ* de las especies en peligro, la cual incluye los siguientes componentes principales:

1. La localización y geo-referenciación de poblaciones y árboles remanentes.
2. El monitoreo constante de la fenología reproductiva de los árboles identificados.
3. La recolección de semillas o la recolección de plántulas en el piso del bosque cuando no hay producción de semillas o estas no son suficientes o no son viables.
4. El desarrollo de métodos de producción de árboles en vivero utilizando semilla sexual, especialmente para especies con semillas que se pueden mantener viables por mucho tiempo (semillas ortodoxas).
5. El desarrollo de métodos de propagación vegetativa mediante el enraizamiento de estacas suculentas

producidas en jardines juveniles, especialmente para especies con semillas que pierden la viabilidad rápidamente y no se pueden almacenar (semillas recalcitrantes) y para especies que no producen semillas todos los años, producen muy pocas o la germinación es muy baja.

6. Establecimiento de colecciones genéticas *ex situ* en la forma de:
  - a. Colecciones de semillas de especies ortodoxas.
  - b. Jardines familiares juveniles en invernadero.
  - c. Bancos genéticos de campo (rodales de conservación).

Se han seleccionado para implementar esta estrategia de conservación las siguientes especies:

- *Paramachaerium gruberi* (sangrillo)
- *Gamanthera herrerae* (sin nombre común)
- *Ruagea insignis* (cedro cóbano)
- *Cedrela fissilis* (cedro real)
- *Cedrela salvadorensis* (cedro colorado)
- *Platymiscium yucatanum* (cristóbal “de altura”)
- *Platymiscium curuense* (cristóbal)
- *Anthodiscus chocoensis* (ajo negro)
- *Podocarpus guatemalensis* (cipresillo)

Como criterios principales para la selección de estas especies se ha utilizado el área del hábitat actualmente dis-

ponible y el área del hábitat legalmente protegido.

Durante la ejecución del proyecto se han confirmado algunos hechos importantes que indican que existe un riesgo real de extinción de las especies bajo estudio, al mismo tiempo se ha encontrado que las alternativas de conservación planteadas son técnicamente viables, tal como se describe adelante.

Como producto de las exploraciones de campo durante los años 2007-2009, aun contando con la colaboración de reconocidos dendrólogos y botánicos del país, solamente se ha encontrado un árbol de la *Gamathera herrerae* y ninguno de *Cedrela fissilis*. *G. herrerae* es una especie recientemente descrita, descubierta en la zona norte del país. El hecho de que haya sido descubierta solo recientemente puede ser un indicador de que sea muy poco abundante o rara, al punto de que las exploraciones realizadas en la zona donde fue descubierta no sean suficientes para encontrar los pocos individuos aislados que pueden existir. Por otra parte, no fue posible encontrar ningún árbol de *C. fissilis*, a pesar de que existen muestras de herbario recolectadas hace varias décadas, inclusive en el valle Central. No existen recolecciones o reportes de la especie desde hace más de 20 años. Esto puede significar que la especie está extinta en el país o que quedan extremadamente pocos árboles muy difíciles de encontrar. Existe la posibilidad de que la especie nunca existiera en el país y que las identificaciones hechas sean equivocadas (Zamora, com. per, 2010).

Afortunadamente, se han localizado poblaciones y árboles remanentes de siete especies: *P. gruberi*, *R. insignis*, *C. salvadorensis*, *P. yucatanum*, *P. curuense*, *A. chocoensis* y *P. guatemalensis*. Cabe resaltar que esta última especie es la única conífera arbórea nativa en los bosques húmedos tropicales de zonas bajas en Costa Rica, encontrándose en la península de Osa y en la Zona Norte, en los cantones de San Carlos y Sarapiquí.

Las exploraciones de campo han confirmado que estas especies tienen poblaciones muy pequeñas, frecuentemente formadas por pocos individuos aislados o en pequeños grupos. Las observaciones fenológicas indican que existen situaciones que pueden estar limitando la reproducción efectiva de estas especies. En *P. gruberi*, *R. insignis*, *P. yucatanum*, *P. curuense* solo algunos árboles adultos producen semillas y esta producción no ocurre todos los años. Esta situación puede deberse a problemas de aislamiento, polinización, endogamia, efectos del cambio climático o a la estrategia reproductiva propia de cada especie. Por otra parte, frecuentemente los árboles reproductivamente activos producen muy pocas semillas o estas tienen problemas de viabilidad o germinación. En el caso de *A. chocoensis* y *P. gruberi* se ha obtenido menos de un 5% de germinación y esta ha ocurrido después de más de seis meses de puestas las semillas a germinar. Las semillas de las especies estudiadas hasta ahora, con excepción de *C. salvadorensis*, mueren rápidamente cuando se almace-

nan en condiciones ambientales normales o en cámara fría, comportándose como semillas recalcitrantes. Entre otros problemas reproductivos también se han encontrado plántulas con problemas genéticos serios tales como plántulas albinas sin clorofila (que mueren cuando se acaban las reservas de los cotiledones), plántulas “enanas”, plántulas con muy poco vigor y plántulas con hojas deformes, atípicas de las especies. Todos estos fenómenos son evidencia que indica la ocurrencia de problemas de endogamia que se pueden estar dando en las poblaciones naturales y que no han sido identificados en campo debido a la rápida muerte de estas plántulas.

Plántula normal y plántula “albina” de *C. salvadorensis*



Eugenio Corea, Albina y normal de *Cedrela salvadorensis*

Por otra parte, *C. salvadorensis* es la única especie estudiada que produce abundante semilla todos los años, con una excelente germinación en vivero y con muy buena capacidad de mantener su viabilidad almacenada en cámara fría durante varios años. Sin embargo, es notable la ausencia de plántulas o arbolitos jóvenes en las poblaciones naturales, conformadas por individuos adultos o ancianos. Esto ha sido observado aun en sitios donde existen grupos o pequeños rodales de esta especie, donde la producción de semilla no es una limitante.

Las evidencias encontradas por el proyecto sugieren la necesidad de efectuar estudios más profundos y a mayor plazo sobre la estrategia, la biología y la ecología reproductiva particular de cada especie y sobre la estructura de sus poblaciones, para determinar los factores que pudieran estar afectando su reproducción efectiva, estimar el tamaño mínimo viable de población y determinar las condiciones necesarias para su supervivencia en ecosistemas naturales. También se podría determinar cuáles especies requieren necesariamente de la conservación *ex situ* para evitar su extinción.

Como solución alternativa a los problemas reproductivos presentados en mayor o menor grado por las especies estudiadas y considerando particularmente la gran dificultad para obtener, germinar o almacenar semillas, el proyecto ha planteado establecer “jardines familiares juveniles” en nivel de vivero y desarrollar sistemas de propagación vegetativa que

permitan la producción masiva de arbolitos. Los jardines juveniles son colecciones de arbolitos muy jóvenes (por lo general de menos de 60 cm de altura) mantenidos en vivero y que son podados periódica y frecuentemente para mantener la juvenilidad de los mismos. Durante la poda se cosechan estacas sin lignificar (suculentas), las cuales han demostrado tener una alta capacidad de producir raíces y generar nuevos árboles de crecimiento normal. Para algunas especies ya se han desarrollado protocolos exitosos de propagación vegetativa y para otras se están haciendo las investigaciones correspondientes. Los jardines juveniles se forman a partir de semillas germinadas provenientes de entre 25 y 30 árboles que se encuentren alejados entre sí en el campo, esto con el fin de que el jardín contenga una muestra adecuada de la variación genética de las poblaciones estudiadas. Estos jardines y los protocolos de propagación vegetativa permiten la producción de gran cantidad de arbolitos en cualquier año y en cualquier época del año, independientemente de que los árboles en campo produzcan o no semillas.

Finalmente, con los arbolitos producidos se establecerán bancos genéticos de campo (rodales de conservación) en las zonas donde naturalmente crecen las especies, de manera que lleguen a producir semillas en la madurez. Como el proyecto mantiene el pedigree de cada árbol producido (se sabe de qué árbol madre proviene), entonces los rodales de conservación son plantados de manera que contengan

la mayor variación genética posible, con una distribución espacial de los árboles que evite la siembra de dos árboles hermanos próximos entre sí. De esta manera se promueve la futura cruce entre árboles provenientes de distintos sitios y poblaciones, reconstruyendo así en alguna medida la variación genética y reduciendo los niveles de endogamia.

Las colecciones genéticas *ex situ* en forma de semillas, jardines juveniles y bancos de campo podrán aportar material reproductivo que podrá ser utilizados para reintroducir las especies en sitios donde ya se hayan extinguido, para enriquecer poblaciones reducidas y/o genéticamente erosionadas, para enriquecer comunidades forestales florísticamente degradadas, para plantaciones con fines ecológicos y económicos y para futuros programas de investigación, incluyendo mejoramiento genético.

**Referencias bibliográficas**

Estrada, A., Rodríguez, A. y Sánchez, J. (2005). *Evaluación y categorización del estado de conservación de plantas en Costa Rica*. San José: Museo Nacional, Inbio y Sinac.

Shaffer, M. 1981. Minimum population sizes for species conservation. *Bioscience*, (31), 131-134.

UICN. (2001). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN.



Ingeniero forestal. Especialista en manejo y conservación de bosques tropicales y biodiversidad. Investigador en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (gherna@una.ac.cr).

## Diversidad genética de poblaciones forestales en paisajes fragmentados. El caso de las poblaciones de olla de mono (*Lecythis ampla*) en el Corredor Biológico San Juan-La Selva

..... || **Gustavo Hernández** .....



Una de las principales causas de pérdida de diversidad biológica en el mundo es la transformación de los bosques húmedos tropicales que resulta de las diferentes actividades humanas (Kattan, 2002). La situación de los bosques en Costa Rica no es muy diferente de la que han sufrido los bosques de otros países en América Latina, donde la ganadería, la agricultura, el aprovechamiento de recursos forestales y la presión demográfica juegan un papel muy importante en los procesos de deforestación. Los bosques fragmentados se han convertido en paisajes abundantes, frecuentes y prácticamente dominantes en la región latinoamericana, con la excepción de grandes masas continuas de bosque como -por ejemplo- en el Parque Nacional de Tikal -Guatemala- y en la Amazonía.

Kattan (2002) menciona que una de las principales consecuencias de la deforestación es la creación de paisajes fragmentados donde algunos remanentes del bosque original, de tamaños y formas variables, se encuentran inmersos en un diverso número de hábitats transformados. La fragmentación a gran escala de los ecosistemas de bosque



tropical puede alterar el ambiente físico y el clima tanto local como regionalmente.

Además de los efectos físicos, la fragmentación del hábitat como consecuencia de la deforestación puede ocasionar pérdida de la diversidad genética de especies dentro de una población y entre poblaciones, y en el peor de los casos la extinción de especies. En el largo plazo, la erosión genética induce a la extinción de especies y a la pérdida de ecosistemas y elimina la posibilidad de utilizar la variación genética para beneficios económicos y para la restauración ecológica (Namkoong, Boyle, El-Kassaby, Eriksson, Gregorius, Joly, Kremer, Savolainen, Wickneswari, Young, Zeh-Nlo y Prabhu, 2002).

Las especies requieren de variación genética para poder enfrentar con éxito los desafíos presentes y para sobrevivir y reproducirse bajo condiciones ambientales cambiantes. La conservación de la diversidad genética es también una condición necesaria para la evolución y adaptabilidad de poblaciones locales y de todas las especies en general. De esta forma, la conservación de la diversidad genética es un elemento necesario para el mantenimiento de todos los niveles de la biodiversidad, los cuales valoramos por su existencia y utilidad. Sin embargo, la variación genética es difícil de medir directamente y, por lo general, sus efectos sobre la dinámica poblacional y de los ecosistemas son difíciles de predecir (Namkoong et al., 2002). Por tal razón, la pérdida de diversidad genética es fácil de ignorar hasta que es demasiado tarde para recuperarla, amenazando la

capacidad de las especies y de los ecosistemas de adaptarse a cambios ambientales donde las presiones sociales y económicas sobre los bosques prevalecen sobre las necesidades ecológicas.

Actualmente, muchos de los bosques manejados de Costa Rica se encuentran finalizando el primer ciclo de corta desde su primer aprovechamiento bajo el régimen de manejo forestal sostenible; ciclo que, por lo general, fue establecido de 15 a 20 años. Es por eso que el tema de segundas cosechas de bosques manejados es hoy una alternativa para los dueños de bosques productores de madera y de servicios ecosistémicos como agua, belleza escénica y captura de CO<sub>2</sub>, entre otros. En el corto plazo, las entidades gubernamentales encargadas de aprobar los planes de manejo forestal deberán tomar la decisión de dar el visto bueno o la negativa a una segunda intervención; de hecho ya existe una nueva legislación para el manejo de bosques naturales enmarcada en tres documentos: (i) Principios, Criterios e Indicadores; (ii) Código de Prácticas; y (iii) Manual de Procedimientos. Además, en la medida en que esta decisión pueda estar basada en estudios integrales que den respuesta a la recuperación del bosque a niveles de crecimiento, ecológicos y genéticos, se podrá asegurar su permanencia y la de los servicios ecosistémicos que brindan a la sociedad.

Los bosques intervenidos ofrecen un potencial de investigación bastante interesante. Ahí se ven acelerados procesos ecológicos dinámicos como reclutamiento de especies colonizadoras de

claros, mortalidad de individuos y diseminación, entre otros. Las operaciones silvícolas o tratamientos implementados constituyen una herramienta más en el proceso de manejo que procura mantener la sustentabilidad y rentabilidad del recurso forestal (Quirós y Méndez, 1996).

Si se toma en cuenta que la mayoría de los planes de manejo que se realizan en Costa Rica se llevan a cabo en fragmentos de bosques relativamente pequeños, entre 100,0 y 16,8 ha (Hernández, 1999), estas características a nivel de paisaje toman mayor fuerza. Los efectos que puede ocasionar la fragmentación de bosques son: efecto de área, de borde y de aislamiento, así como la reducción de riqueza y diversidad, y la extinción local de especies.

Recientemente existen estudios de bosques fragmentados latinoamericanos que reportan extinciones locales de aves y cambios en la dinámica poblacional de árboles, como incremento de la abundancia de árboles pioneros y disminución de especies arbóreas típicas del interior del bosque (Murcia, 1995; Hall, Walker y Bawa, 1996; Hamilton, 1999). Gallego (2002) encontró que las poblaciones de especies focales (sensibles a los disturbios por fragmentación y aprovechamiento de madera) no mostraron consecuencias negativas de la intervención humana. Una excepción fue la especie *Lecythis ampla*, la cual presentó una baja proporción de individuos de regeneración en relación con árboles adultos en su población.

Por otro lado, Flores (2005) realizó un estudio del efecto de la fragmentación

del hábitat sobre la ecología reproductiva de *Quararibea ochrocalyx* en bosques húmedos dentro del Corredor Biológico San Juan-La Selva. Él menciona que bajas densidades de plantas juveniles registradas en los fragmentos de bosque podrían ser evidencia de que la fragmentación tiene efectos negativos sobre el establecimiento de nuevos individuos de esta especie.

En un estudio sobre la producción de frutos de *Virola koschnyi* y *Simarouba amara*, Rodríguez (2000) menciona que los efectos de la fragmentación en bosques aprovechados de manera sostenible sobre la producción de frutos de estas dos especies no son claros. Sin embargo, mientras se mantengan árboles de diámetros reproductivos a distancias menores de 300 m se garantiza la producción de frutos de manera comparable a la que sucede en bosques continuos, lo que supone que los polinizadores no encuentran barreras para la dispersión en los bosques fragmentados donde se realizó el estudio.

En el caso de la diversidad genética en poblaciones fragmentadas la variabilidad es reducida, mientras que la varianza entre las poblaciones es mayor. Las poblaciones pequeñas tienden a tener mayor homocigocidad debido a procesos de deriva genética y endogamia, los cuales dependen de la eficiencia genética del tamaño de la población (Savolainen y Kuittinen, 2000).

Existen resultados conflictivos respecto de los efectos de la fragmentación en los trópicos. Por un lado hay estudios que afirman que la deforestación puede

afectar la estructura genética y conducir a “cuellos de botella” en la medida en que el flujo genético es interrumpido entre árboles de una misma especie. Un ejemplo de estos estudios es el de Hall et al. (1996) acerca del efecto de la fragmentación de bosques sobre la diversidad genética y sistemas de cruzamiento en árboles de *Pithecelobium elegans*, el cual se realizó en el Corredor Biológico San Juan-La Selva. En este estudio se concluyó que los procesos de fragmentación están ocasionando que las poblaciones de esta especie se conviertan en poblaciones pequeñas, genéticamente erosionadas y aisladas.

Por otro lado, algunos estudios mencionan que los flujos de polen en grandes distancias, detectados mediante análisis de paternidad, demuestran que árboles aislados en paisajes fragmentados funcionan como fuentes de polen o conectores entre parches (Chase, Boshier y Bawa, 1995). Buena parte de esta controversia se debe a la variabilidad en los procesos genéticos que existe entre las especies tropicales, donde la gran variación en los rangos de distancias óptimas para la reproducción puede oscilar desde cien hasta menos de un kilómetro cuadrado entre especies (Nason y Hamrick, 1997).

Si consideramos que el área de influencia del Corredor Biológico San Juan-La Selva se encuentra inmersa en una matriz dominada por un paisaje fragmentado (Ramos 2004), podemos suponer que la variabilidad genética entre los fragmentos de bosque es mayor a la que se encuentra dentro de cada fragmento,

lo que evidencia la importancia de conservar dichos fragmentos y de incentivar una conectividad entre ellos que permita el flujo genético. Una pregunta clave en el estudio de caso con poblaciones de *Lecythis ampla* es si los bosques fragmentados del Corredor Biológico San Juan-La Selva presentan niveles de conectividad y áreas de bosque bajas, donde los procesos genéticos son afectados de manera tal que exponen a las poblaciones a pérdidas de especies o riesgos en el futuro.

\* \* \* \* \*

El proyecto “Efecto de la fragmentación de bosques en la estructura genética y flujo genético de una especie de alto valor ecológico y económico, *Lecythis ampla*” busca conocer las implicaciones genéticas de los procesos de fragmentación en poblaciones de olla de mono (*Lecythis ampla*), además de mejorar la capacidad de ejecución de los planes de manejo de bajo impacto en bosques naturales mediante la exploración de las implicaciones genéticas que conlleva el manejo de bosques naturales, priorizando las poblaciones de *Lecythis ampla* en la región norte del país, específicamente en el Corredor Biológico San Juan-La Selva.

El proyecto tiene dos fases: la primera, que se realizó en Costa Rica, es la fase de campo, en la que se realizaron las recolecciones de material vegetativo, como muestras de hojas, cambium y frutos de árboles adultos de *Lecythis ampla*; la segunda fase fue la de laboratorio, que

se realizó en Viena -Austria- en el laboratorio del Departamento de Genética del BFW. En una primera etapa se recolectó material vegetativo de árboles adultos de *Lecythis ampla* en bosques continuos y fragmentados y de árboles aislados. En la primera visita al BFW, al material recolectado se le extrajo el ADN y a partir de lo extraído se desarrollaron marcadores moleculares específicos para la especie (microsatélites). Durante el año 2011 se realizaron colectas de frutos de árboles adultos, con los que se emplearon los microsatélites desarrollados para la especie a fin de realizar estudios de diversidad genética y de flujo genético, y para estudiar las implicaciones de la fragmentación de bosques sobre ellos –en la segunda visita al BFW-. Entre los resultados preliminares del proyecto (aún falta analizar las secuencias de las semillas) están: recolección de material vegetativo de árboles y frutos de *Lecythis ampla* (cuadro 1 y figura 1); extracción de ADN de árboles adultos de *Lecythis ampla* en bosques continuos y bosques y paisajes fragmentados en Sarapiquí; desarrollo de 17 marcadores nucleares (microsatélites) específicos para la especie *Lecythis ampla* (cuadro 2); secuenciación de progenies y árboles maduros con los microsatélites desarrollados para el estudio del flujo de polen y el análisis de la diversidad genética de dos poblaciones de *Lecythis ampla* en bosques continuos y bosques fragmentados (cuadro 3).

Los resultados del estudio se limitan a la zona del Corredor Biológico San

Juan-La Selva, sin embargo los microsatélites desarrollados son para la especie, por lo que se podría ampliar el estudio a otras áreas del país donde ella crece, por ejemplo Limón y San Carlos. Los resultados todavía no son concluyentes respecto de los parámetros genéticos, principalmente porque no se ha concluido el análisis de todas las muestras; sin embargo, una vez finalizado se espera poder recomendar estrategias de manejo y conservación para la especie. El proyecto se encuentra en la fase final, que consiste en el análisis de todas las muestras de ADN recolectadas con ocho marcadores moleculares seleccionados de un total de 17 posibles, con lo que se pretende generar los parámetros de diversidad genética a nivel poblacional y de flujo genético a nivel de especie en los diferentes paisajes intervenidos por el ser humano.

**Figura 1.** Recolección de frutos *Lecythis ampla* de 30 árboles adultos y establecimiento de ensayo de procedencias a nivel de invernadero.



**Cuadro 1.** Recolección de muestras de cambium y hojas de *Lecythis ampla* durante 2009 y 2010, en Sarapiquí.

Population / Site	Type of forest / Fragmented status	Conservation status / Forest management	Trees collected	Regeneration collected	Area (ha)
Ladrillera 1	Primary Forest	SFM 2000	24	2	186
Ladrillera 2	Primary Forest	SFM 1998	4	0	50
Ladrillera 3	Primary Forest	SFM 2003	5	1	118
Ladrilleras pasturelands	Isolated trees	Isolated trees in Pasturelands	15	3	-
El Roble	Iary, 2ary, Isolated	Highly fragmented and small fragments	14	(20)	-
La Linda	Primary Forest	SFM (2) 1993 and 2008	1	0	80
Parcelas Zorro-Marvin	Primary Forest	SFM (2) 1993 and 2008	10	0	90 aprox
La Selva_OTS	Primary Forest	Extracción selectiva hace más de 30 años	16	0	700
Starke	Secondary Forest (35 years old)	SFM 1998	3	0	300
Lagunillas	Isolated trees	Isolated trees in Pasturelands	2	0	-
Cacho Negro	Isolated trees	Isolated trees in Pasturelands	8	5	-
Pueblo Nuevo	Isolated trees	Isolated trees in Pasturelands	6	0	-
California	Isolated trees	Isolated trees in Pasturelands	5	0	-
Basurcro	Isolated trees	Isolated trees in Pasturelands	4	0	-
Selva Verde	Primary Forest	Prev. Forest Management	10	0	300

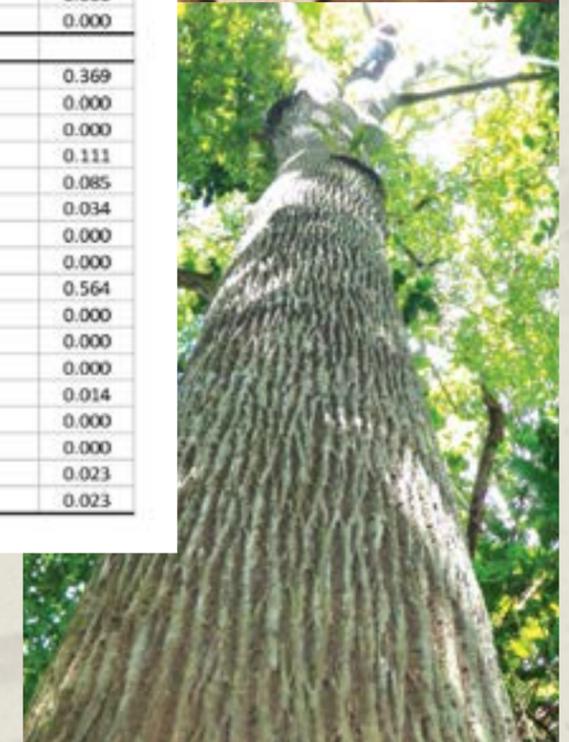
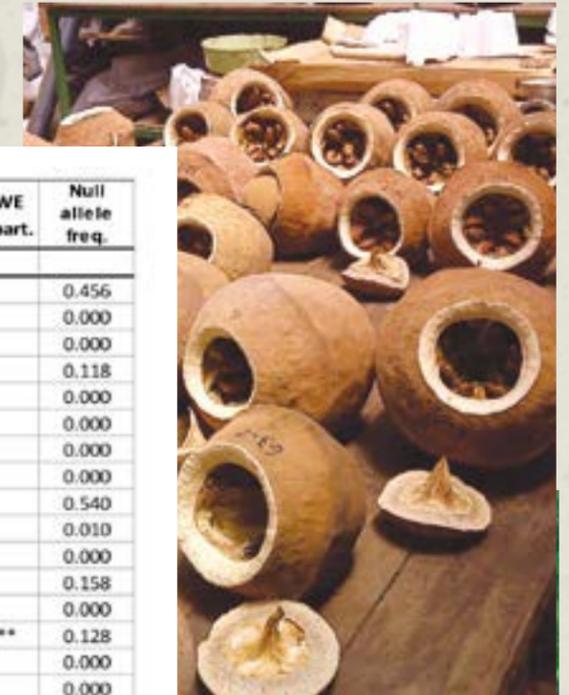
**Cuadro 2.** Secuencia de primers y repeat motifs para 17 microsatélites loci seleccionados y desarrollados para *L. ampla*. (\*)

Locus	Forward-Primer	Reverse-Primer	Ta (°C)	Repeat motif
E1	GAAGTTACTG.....	CATTCACAAA.....	58	(CT) <sub>n</sub> (CA) <sub>n</sub>
H1	CCGACCACGA.....	GAGCTGACGG.....	58	(GA) <sub>n</sub> (GA) <sub>n</sub>
E3	GGGCATCTAG.....	TAGCTCCT.....	58	(GT) <sub>n</sub> (GA) <sub>n</sub>
G4	GTGTAATGA.....	CAACA.....	58	(CA) <sub>n</sub> (CT) <sub>n</sub>
E5	GATACCCAGA.....	TCATAAT.....	58	(GA) <sub>n</sub>
C7	TCTGATAGGT.....	TGC.....	58	(GT) <sub>n</sub> (GA) <sub>n</sub>
F7	GGAACACTC.....	CAAAG.....	58	(CT) <sub>n</sub> (CA) <sub>n</sub>
F8	CAGACTGAA.....	AGCTC.....	58	(GA)
F3	GAGGCAGG.....	AATCCC.....	58	(GA)
C4	TGCTCCTGTC.....	TTAGG.....	58	(CT) <sub>n</sub> (GT) <sub>n</sub> (GA) <sub>n</sub>
G6	AACAGAGCT.....	TCACC.....	58	(GT) <sub>n</sub>
D1	TTTCCCACAT.....	GTTCA.....	58	(GA)
EB	AGCATCTGC.....	AATTGCAGG.....	58	(GA)
F1	CGTGCAACT.....	AGCC.....	58	(GA)
D3	AGCCTCTGTA.....	TGATCC.....	58	(GT) <sub>n</sub>
G8	GATTCCACA.....	GCATG.....	58	(CT) <sub>n</sub> (CA) <sub>n</sub>
D6	GAAGCTC.....	TTGCTT.....	58	(GA)

(\*) Las secuencias de los imprimadores se darán a conocer completas pronto en otro artículo en una revista científica especializada.

**Cuadro 3.** Parámetros genéticos poblacionales para los 17 microsatélites desarrollados para *L. ampla* en dos poblaciones de prueba (Population 1 = El Roble; Population 2 = La Selva).

Locus	N	Na	Ne	Ho	He	F	HWE depart.	Null allele freq.
<b>Population 1</b>								
G6	24	2	1.917	0.375	0.478	0.216		0.456
D1	24	4	1.407	0.333	0.289	-0.153		0.000
EB	24	4	1.538	0.375	0.350	-0.072		0.000
F1	24	4	2.356	0.458	0.576	0.204		0.118
D3	24	3	1.184	0.167	0.155	-0.073		0.000
G8	24	4	1.240	0.208	0.194	-0.076		0.000
D6	24	2	1.332	0.292	0.249	-0.171		0.000
E1	24	6	3.892	0.833	0.743	-0.121		0.000
H1	24	2	1.917	0.625	0.478	-0.307		0.540
E3	24	5	3.827	0.750	0.739	-0.015		0.010
G4A	24	3	1.843	0.500	0.457	-0.093		0.000
E5	24	3	1.475	0.292	0.322	0.094		0.158
C7	24	7	4.283	0.792	0.766	-0.033		0.000
F7	24	7	4.380	0.583	0.772	0.244	***	0.128
F8	24	3	1.347	0.292	0.258	-0.131		0.000
F3	24	8	4.987	0.917	0.799	-0.147		0.000
C4B	24	5	3.048	0.833	0.672	-0.240		0.000
<b>Population 2</b>								
G6	22	2	1.766	0.364	0.434	0.162		0.369
D1	21	3	1.849	0.571	0.459	-0.244		0.000
EB	21	5	2.279	0.714	0.561	-0.273		0.000
F1	21	3	2.485	0.571	0.598	0.044		0.111
D3	22	3	1.385	0.227	0.278	0.182		0.085
G8	22	4	1.872	0.545	0.466	-0.171		0.034
D6	22	2	1.252	0.227	0.201	-0.128		0.000
E1	21	6	4.302	0.714	0.768	0.069		0.000
H1	22	2	1.936	0.545	0.483	-0.128		0.564
E3	22	5	3.195	0.818	0.687	-0.191		0.000
G4A	22	3	1.689	0.455	0.408	-0.114		0.000
E5	22	4	1.803	0.500	0.445	-0.123		0.000
C7	22	10	6.769	0.864	0.852	-0.013		0.014
F7	22	9	4.914	0.818	0.796	-0.027		0.000
F8	22	2	1.308	0.273	0.236	-0.158		0.000
F3	22	8	4.545	0.773	0.780	0.009		0.023
C4B	22	5	1.603	0.364	0.376	0.033		0.023



Arriba: Gustavo Hernández, Jícaro  
Abajo: Gustavo Hernández, Árbol de Jícaro

**Referencias bibliográficas**

Chase, M. R., Boshier, D. H. & Bawa, K. S. (1995). Population genetics of *Cordia alliodora* (Boraginaceae), a neotropical tree. Mating system. *American Journal of Botany*, 82(4): 476-483.

Flores, B. (2005). *Efectos de la fragmentación del hábitat sobre la ecología reproductiva de Quararibea ochrocalyx (K. Schum) Vischer en el bosque húmedo de Costa Rica*. Tesis Mag. Sc., Catie. Costa Rica. 58 p.

Gallego, B. (2002). *Estructura y composición de un paisaje fragmentado y su relación con especies arbóreas indicadoras en una zona de bosque muy húmedo tropical, Costa Rica*. Tesis Mag. Sc., Catie. Costa Rica. 103 p.

Hall, P., Walker, S. & Bawa, K. (1996). Effect of forest fragmentation on genetic diversity and mating system in a tropical tree, *Pithecelobium elegans*. *Conservation Biology*, 10(3):757-768.

Hamilton, M. B. (1999). Tropical tree gene flow and seed dispersal. *Nature*, 401:129.

Hernández, G. (1999). *Validación de la metodología de tocones para la evaluación de aprovechamientos forestales realizados por Codeforsa en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Informe de práctica de especialidad*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 70 p.

Kattan, G. H. (2002). Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, M. R. & Kattan, G. H. (eds.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica. LUR. pp. 561-590.

Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Tree*, 10(2): 58-62.

Namkoong, G., Boyle, T., El-Kassaby, Y., Eriksson, G., Gregorius, H. R., Joly, H., Kremer, A., Savolainen, O., Wickneswari, R., Young, A., Zeh-Nlo, M. & Prabhu R. (2002). *Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Forest Management: Conservation of Genetic Diversity. Forest Genetic Resources Working Papers, Working Paper FGR/37E. Forest Resources Development Service, Forest Resource Division, FAO, Rome*. 25 p.

Nason, J. D. & Hamrick, J. L. (1997). Reproductive and genetic consequences of forest fragmentation: two case studies of neotropical canopy trees. *Journal of Heredity*, 88: 264-276.

Quirós, D. & Méndez, J. (1996). Tratamientos silviculturales post-cosecha mejorada en el bosque tropical húmedo de la zona norte de Costa Rica. En: Sabogal, C., Camacho, M. & Guariguata, M. (1997). *Experiencias prácticas y prioridades de investigación en silvicultura de bosques naturales en América Tropical. Actas del Seminario-Taller realizado en Pucallpa, Perú, 17-21 de junio, 1996*. CIFOR, CATIE, INIA. Turrialba, Costa Rica. pp. 195-200.

Ramos, Z. (2004). *Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad*. Tesis Mag. Sc., Catie. Costa Rica. 127 p.

Rodríguez, J. M. (2000). *Producción de frutos de dos especies dioicas, Virola koschnyi Warb. y Simarouba amara Aubl., en un paisaje fragmentado de la zona norte de Costa Rica*. Tesis Mag. Sc., Catie. Costa Rica. 125 p.

Savolainen, O. & Kuittinen, H. (2000). Small population processes. En: Young, A., Boshier, D. & Boyle, T. (eds.) *Forest conservation genetics: principles and practice*. Collingwood, AU, CSIRO/CABI. pp. 91-100.



Ingeniera en biotecnología. Investigadora en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional.



Bióloga especialista en biotecnología. Investigadora en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional.

# La biotecnología en los recursos genéticos forestales

..... || **Ana Hine y Alejandra Rojas** || .....



La gran demanda de tierras cultivables y de productos forestales, aunada a la urbanización creciente, ha dado lugar a una acelerada deforestación de los bosques naturales, lo que ha llevado a la disminución de individuos que en muchos casos eran catalogados como excelentes árboles reproductores. Consecuentemente, el agotamiento de los bosques ha generado la necesidad de establecer plantaciones forestales para satisfacer la demanda de madera y promover la protección del ambiente. Sin embargo, la gran variabilidad en la calidad de las plantaciones forestales ha obligado a incorporar el mejoramiento genético y la biotecnología forestal como herramientas para lograr los objetivos de producción (Wadsworth, 2000).

La biotecnología es una técnica que comprende el uso de organismos vivos o de compuestos obtenidos de organismos vivos para generar productos de valor para el ser humano. Involucra disciplinas básicas y aplicadas como biología celular y molecular, ingeniería genética y cultivos de tejidos. La clave de la biotecnología se encuentra en que es una rama de investigación multi e inter disciplinaria que posee diferentes estados de desarrollo y es potencialmente



multisectorial (Valdez, López y Jiménez, 2004; León, 2006).

Actualmente, las técnicas biotecnológicas utilizadas en el sector forestal se pueden clasificar en:

*Cultivo de tejidos o propagación in vitro*, que se refiere al cultivo de células, tejidos y órganos de una planta en condiciones estériles en un medio nutritivo (sólido o líquido) y bajo condiciones ambientales controladas (temperatura y luz), con el fin de que este exprese su potencial (Razdan, 2002; Martínez, Azporoz, Rodríguez, Cetina y Gutiérrez, 2003).

La propagación *in vitro* es aplicada principalmente a la producción masiva de plantas a nivel comercial. La selección puede darse considerando criterios como: especies con problemas de regeneración *in vivo*, bajo porcentaje de germinación o semilla con periodos de viabilidad muy cortos (recalcitrante), especies difíciles de propagar vegetativamente en vivero, especies a las que se les quiere aplicar la técnica de ingeniería genética y especies que al propagarlas *in vitro* conservan una característica que les hace aumentar su valor comercial (George, 1993; Estopá, 2005).

En el caso de las especies forestales, por lo general el cultivo de tejidos se aplica cuando se presentan dificultades de reproducción, sea por problemas de esterilidad, de bajos porcentajes de germinación, de bajos porcentajes de enraizamiento, de fructificación asincrónica o por problemas de reproducción vegetativa clásica. Además, en la actualidad la fuerte demanda de madera ha llevado a buscar alternati-

vas para lograr la rápida multiplicación de material de especies forestales de interés para el establecimiento de plantaciones y cuya regeneración por métodos convencionales no es viable (Daquinta, Ramos, Lezcano, Rodríguez y Escalona, 2000; Agramonte, Delgado, Trocones, Pérez, Ramírez y Gutiérrez, 2001).

Otra de las técnicas biotecnológicas empleadas en la actualidad es la basada en *marcadores moleculares*, que son fragmentos de ADN que pueden corresponder o no a un gen e implican la identificación mediante técnicas bioquímicas de la variación del ADN y proteínas (Martínez et al., 2003).

En las especies forestales los marcadores moleculares se utilizan en aplicaciones como: caracterización de especies, variedades y clones; variabilidad genética; estructura genética; estudios filogenéticos y filogeográficos; genética de la conservación y gestión sostenible del recurso forestal; efecto de la fragmentación del bosque y del manejo forestal; estudios sobre sistemas de cruzamiento; hibridación, conservación de especies o poblaciones amenazadas; flujo genético que comprende: la evaluación de la dispersión de polen y las semillas; identificación de especies e individuos; mapeo genético y secuenciación; y cambio climático y conservación de genes en árboles, entre otros (Hernández, G. Comunicación personal. 14-8-2012).

Recientemente, la biotecnología forestal está incursionando en la *modificación genética* de árboles con el fin de obtener árboles resistentes a herbicidas,



Alejandra Rojas, Cultivo in vitro



Lisette Valverde, Cultivo in vitro

insectos y virus. Además, busca incorporar genes para mejorar las características de producción, como -por ejemplo- modificar el contenido de lignina en beneficio de la industria de papel. Sin embargo, esta técnica se encuentra en estado de investigación, pues se debe definir los aspectos relacionados con los parámetros de bioseguridad de los árboles modificados genéticamente (Martínez et al., 2003).

\* \* \* \* \*

En Costa Rica, la biotecnología forestal ha tenido mayor desarrollo en instituciones de educación superior y en algunos laboratorios del sector privado a partir de los años noventa. Por lo general, en la empresa privada la investigación se ha realizado con el fin de dar solución a algunos de los problemas productivos de-

rivados de los programas de mejora genética (Aguilar y Mesén, 1997).

Actualmente, la Universidad Nacional, y propiamente el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (Inisefor), cuenta con un Laboratorio de Cultivo de Tejidos Forestales cuyo objetivo es utilizar las técnicas *in vitro* para mejorar los sistemas de producción de las especies, producir material sano y seleccionado para el establecimiento de plantaciones forestales y contribuir con la conservación genética de especies forestales de importancia económica, ecológica y que se encuentren amenazadas.

Además, el Laboratorio ha realizado investigación con diferentes técnicas de propagación *in vitro* con el fin de establecer protocolos de micropropagación de especies maderables (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Protocolos de micropropagación de especies maderables establecidos en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Forestales del Inisefor.

Especie	Técnica	Cita
<i>Cedrela salvadorensis</i>	Organogénesis	Soto, Valverde Rojas y Hine, 2010;
<i>Swietenia macrophylla</i>	Enraizamiento y aclimatización	Azofeifa, Rojas y Hine, 2009.
<i>Albizia guachapele, Cedrela odorata, Guaiacum sanctum, Platymiscium pinnatum</i>	Organogénesis	Valverde, Rojas y Hine, 2008.
<i>Vochysia ferruginea</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>	Recuperación de embriones cigóticos	Rojas y Valverde, 2005.
<i>Gmelina arborea</i>	Organogénesis	Valverde, Alvarado y Hine, 2004.
<i>Dalbergia retusa</i>	Organogénesis	Valverde y Alvarado, 2004.
<i>Cryptomeria japonica</i>	Organogénesis	Hine y Valverde, 2003.
<i>Ficus obtusifolia, F. jimenezii</i> y <i>F. morazaniana</i>	Recuperación de embriones cigóticos	Valverde y Hine, 2002.
<i>Astronium graveolens</i>	Organogénesis	Valverde, 2002.
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	Organogénesis	Valverde, 2000.
<i>Theobroma cacao</i>	Embriogénesis	Valverde y Villalobos, 2000.
<i>Pithecellobium saman</i>	Organogénesis	Valverde, Dufour y Villalobos, 1997.



Lisette Valverde, Cultivo in vitro

El Laboratorio continúa su investigación en micropropagación de especies maderables y direcciona sus esfuerzos en nuevas líneas de investigación como: conservación de germoplasma en apoyo a programas de mejoramiento genético y obtención de productos no maderables del bosque para análisis y extracción de metabolitos secundarios. En el año 2013 se iniciarán dos nuevos proyectos: crioconservación de polen de teca (*Tectona grandis*) como herramienta para el mejoramiento genético de la especie, y establecimiento *in vitro* de clones superiores de caoba (*Swietenia macrophylla* King).

Los proyectos de investigación a iniciar en 2013 responden a la tendencia mundial de regenerar los bosques con árboles originados de un manejo genético intensivo que combina la biotecnología y la biología molecular. Sin olvidar que el éxito de la biotecnología forestal dependerá de la concientización y conocimiento, por parte de las autoridades del sector forestal, de la importancia de las técnicas biotecnológicas, unido eso a la articulación clave entre academia, sector privado y representantes gubernamentales.

**Referencias bibliográficas**

Agramonte, D., Delgado, L., Trocones, A., Pérez, M., Ramírez, D. y Gutiérrez, O. (2001). Micropropagación del Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden) a partir de segmentos nodales. *Biotecnología vegetal*, 1(2), 109-114.

Aguilar, M. y Mesén, F. (1997). Estado actual de la biotecnología Forestal en Costa Rica. En: *Primer taller nacional de Biotecnología forestal en Costa Rica*. 44-68 p

Azofeifa, J., Rojas, A. y Hine, A. (2009). Optimización del proceso de enraizamiento y aclimatización de vitropiantas de *Swietenia macrophylla* King (Orden: Meliaceae). *Tecnología en marcha*, 22(3), 34-41.

Daquinta, M., Ramos, L., Lezcano, L., Rodríguez, R. y Escalona, M. 2000. Algunos elementos en la propagación de la teca. *Biotecnología vegetal*, 1, 39-44

Estopá, B. (2005). El cultivo *in vitro* en la reproducción vegetativa de plantas de vivero. *Extra*. Pp. 50-56.

George, E. (1993). *Plant Propagation by Tissue Culture*. Part 1. The Technology. Exegetics Limited. 574 p.

Hine, A. y Valverde, L. (2003). Establecimiento in vitro de *Cryptomeria japonica* (Taxodiaceae). *Revista Biología Tropical*, 51(3-4), 683-690.

León, P. (2006). Grupo temático de biotecnología. En: Macaya, G y Cruz, A (Comps.). *Estrategia Siglo XXI. La ciencia y la tecnología en Costa Rica : aportes para su diagnóstico*. Pp.197-216. San José: Fundación Costa Rica Estados Unidos de América para la Cooperación.

Martínez, R., Azporoz, H., Rodríguez, J., Cetin, V. y Gutiérrez, M. (2003). Aplicaciones de la biotecnología en los recursos genéticos forestales. *Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del Ambiente*, 9(1), 17-34

Razdan, M. (2002). *Introduction to plant tissue culture: Clonal propagation*. 2ª ed. Science Publishers, Inc, Enfield, NH, USA. 375pp.

Rojas, A. y Valverde, L. (2005). Introducción in vitro de *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* por cultivo de embriones. En: *Libro de resúmenes IX Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación*. p. 37.

Soto, B., Valverde, L., Rojas, A. y Hine, A. (2010). Establecimiento *in vitro* de *Cedrela salvadorensis* Standl. *Tecnología en marcha*, 23(4), 66-73.

Valdez, M., López, R., y Jiménez, L. (2004). Estado actual de la biotecnología en Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 52(3), 733-743.

Valverde, L., Alvarado, L. y Hine, A. (2004). Micropropagation of clones from controlled crosses of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New forest*, 28, 187-194.

Valverde L., Rojas A. y Hine A. (2008). In vitro propagation of *Albizia guachapele*, *Cedrela odorata*, *Platymiscium pinnatum* and *Guaiacum sanctum*. *Plant tissue. Culture & Biotechnology*, 18 (2), 151-156.

Valverde L. (2000). Propagación in vitro de pilón (*Hieronyma alchorneoides*). *Uniciencia*, 17, 35-38.

Valverde, L. (2002). Micropropagación de especies forestales nativas. Caso: ron ron. En: *Memoria Taller seminario especies forestales nativas*. Heredia, Costa Rica. p.50.

Valverde, L. y Alvarado, L. (2004). Organogénesis *in vitro* en *Dalbergia retusa* (Papilionaceae). *Revista Biología Tropical*, 52(1), 41-46.

Valverde, L. y Hine, A. (2002). Germinación y micropropagación de *Ficus obtusifolia*, *F. jimenezii* y *F. morazaniana*. *Uniciencia*, 19, 77-82.

Valverde, L. y Villalobos, V. (2000). Efecto del pH, la luz y la concentración de sacarosa en la embriogénesis somática de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Uniciencia*, 17, 39-45.

Valverde, L., Dufour, M. y Villalobos, V. (1997). *In vitro* propagation of *Pithecellobium saman* (Raintree). En: *Vitro Cellular Developmental Biology Plant*, 33, 38-42.

Wadsworth, F. (2000). *Producción Forestal para América Tropical*. Washington, DC, US. 603 p



## Selección de clones superiores de caoba (*Swietenia macrophylla*) para sistemas agroforestales

..... || **Eugenio Corea** || .....

Ingeniero forestal. Investigador en genética forestal en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional.

**D**urante las últimas décadas Costa Rica ha experimentado un importante y creciente déficit en la producción forestal. Como consecuencia, se importa madera y muebles de Chile, China, Estados Unidos, Venezuela, Argentina, Brasil, Nicaragua y Honduras, afectando negativamente la balanza comercial (Barrantes y Salazar, 2006). Se estima que solo el 28% de la oferta nacional proviene de fuentes sostenibles, es decir, de plantaciones integradas bien manejadas y de bosques realmente sometidos a planes de manejo forestal. Un 72% de la producción nacional proviene de fuentes no sostenibles que están disminuyendo rápidamente y que, según las tendencias actuales, no serán reemplazadas en los próximos años con la rapidez que se requiere (Barrantes y Salazar, 2006). El 65% de la producción nacional proviene de plantaciones, la mayoría establecidas antes del año 2000. A partir de 1997 la tasa anual de reforestación disminuyó en un 75%, por lo que se espera que en los próximos años el déficit continúe aumentando (Arce y Barrantes, 2004). La reducción en la tasa anual de establecimiento de plantaciones puras se debe a las expe-

riencias negativas del pasado, generadas por la mala selección de las especies y los sitios, el mal manejo, la mala calidad genética del material plantado y la falta de integración con la industria y el mercado. Aunado a esto, en los últimos años se ha incrementado considerablemente el valor de la tierra y la mano de obra, lo que hace que las plantaciones puras no sean competitivas con otros usos alternativos de la tierra, tales como las plantaciones de piña, banano, cultivos anuales, etc.

En países como Brasil y Chile, entre otros, existen empresas con plantaciones forestales de cientos de miles de hectáreas, principalmente de especies de rápido crecimiento, genéticamente mejoradas, tales como melina, pino y eucalipto. La productividad neta de muchas de esas plantaciones triplica la obtenida en las mejores plantaciones nacionales. Considerando que Costa Rica es un país pequeño, con un alto costo de la tierra y la mano de obra, con una gran mayoría de las fincas de tamaño pequeño y una gran variabilidad topográfica, edáfica y climática, el establecimiento de plantaciones puras a gran escala no es competitivo con dichos países, donde las condiciones de producción son mucho más homogéneas y favorables. De hecho, varias empresas forestales internacionales se han ido de Costa Rica y están estableciendo sus plantaciones y operaciones en otros países latinoamericanos.

Por otra parte, los sistemas agroforestales presentan una importante inestabilidad económica debida principal-

mente a la fluctuación de los precios internacionales de los productos agropecuarios, a las oscilaciones en las cosechas anuales, a la ocurrencia cíclica de plagas y enfermedades y al escaso valor económico del componente arbóreo de ellos. Muchos de los cafetales, cacaotales, pastizales arbolados y otros sistemas agroforestales del país contienen una gran cantidad de árboles que generalmente aportan poco a nada a la producción económica de las fincas. La mayor parte de estos árboles pertenecen a especies de muy bajo valor de la madera y poco mercado (casuarina, eucalipto, poró, guaba, etc.) o son de mala calidad genética, lo que redundará en una baja productividad de especies como laurel y cedro (Rojas, Canessa y Ramírez, 2004).

\* \* \* \* \*

Considerando los problemas antes descritos, el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (Inisefor), de la Universidad Nacional, está desarrollando un proyecto pionero de mejoramiento genético de caoba con el fin de contribuir a disminuir el déficit nacional de producción de madera y aumentar la productividad y estabilidad económica de los sistemas agroforestales. Específicamente, el objetivo del proyecto es desarrollar clones genéticamente superiores de caoba para ser cultivados primordialmente en cafetales, cacaotales, pastizales arbolados y otros sistemas de producción similares. De esta forma se aumentaría de manera importante el valor económico del componente



Volver al índice

arbóreo de estos sistemas y se contribuiría a elevar la calidad de vida de los agro-silvicultores costarricenses y los grupos sociales asociados.

Existen grandes áreas de sistemas agrosilvopastoriles que podrían contribuir sustancialmente a la producción nacional forestal a través del cultivo de especies genéticamente mejoradas, de rápido crecimiento, de alto valor económico y de buena demanda en el mercado. En Costa Rica, el cultivo de especies forestales en esos sistemas es la forma barata y rentable de producir madera, ya que los costos de mantenimiento de la finca aumentan muy poco al incluir los árboles y estos tienen mejor crecimiento que en las plantaciones puras, dado que aprovechan las mejores condiciones de mantenimiento, suelo y espacio que ocurren en los sistemas agroforestales.

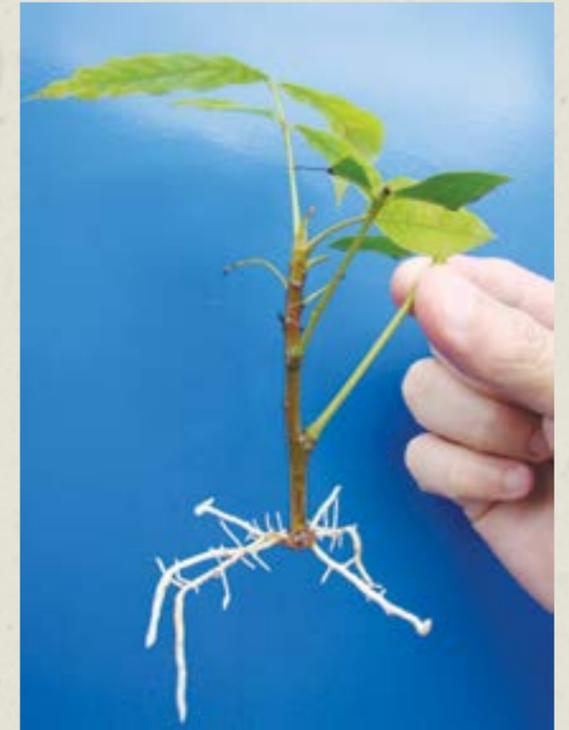
De la misma manera que el sector cafetalero costarricense compite en el mercado internacional de calidad a través de la producción de café "gourmet", la producción forestal debe orientarse hacia el cultivo de maderas de alto valor y calidad (maderas "gourmet"), aprovechando así de la mejor manera cada espacio disponible en las fincas agroforestales. En este sentido, el cultivo de caoba mejorada se presenta como una gran oportunidad, especialmente para los pequeños y medianos productores. La caoba ha sido la especie forestal nativa económicamente más importante de Latinoamérica y tiene además muy buena aceptación por parte de los productores costarricenses.

Actualmente, el valor de su madera en el mercado internacional triplica el de especies como la teca o el cedro y es diez veces mayor que el de especies como la melina, los eucaliptos y los pinos. La caoba es una especie de rápido crecimiento que se puede cultivar tanto en zonas húmedas como secas, en elevaciones menores a los 1.200 msnm, lo que abarca una gran parte del territorio nacional. Presenta, además, una copa estrecha que mantiene sus hojas durante la mayor parte de la estación seca, lo que la hace adecuada para combinarla y proteger cultivos como el café, el cacao, la vainilla, pastizales arbolados, etc. Por otra parte, es una especie en peligro de extinción y se encuentra en el Apéndice II de Cites. Casi toda la madera de esta especie en América Latina proviene de bosques naturales y prácticamente nada de fuentes sostenibles cultivadas. El cultivo de caoba en sistemas agroforestales podría aumentar la preferencia y los precios de productos agropecuarios en los mercados internacionales que exigen estándares ambientalistas y conservacionistas de producción, lo que podría estar apoyado por el hecho de que el mejoramiento genético es una tecnología limpia y es la mejor manera de aumentar la productividad de los árboles forestales sin uso de agroquímicos y pesticidas (Zobel y Talbert, 1984).

El proyecto Mejoramiento Genético de Caoba, del Inisefor, se inició en el año 2006 y se ha venido desarrollando en varias etapas que se describen a continuación:

La primera fase consistió en la selección de genotipos promisorios, es decir genotipos con un comportamiento superior a en su etapa juvenil. Para ello se evaluó una amplia colección genética donada por el Catie, la cual consiste en 168 familias provenientes de 10 poblaciones naturales de la especie de América Latina. La primera evaluación de esta colección consistió en un experimento genético desarrollado a nivel de vivero en Catie (Turrialba, Costa Rica). La evaluación se realizó a los ocho meses de edad y las variables fueron altura total y diámetro basal, así como la dominancia apical de los árboles. Tanto el vigor de los árboles como su dominancia apical están relacionados con la capacidad de respuesta al ataque del barrenador de la meliácea, *Hypsipyla grandella*, la principal plaga de la especie (Hilje y Cornelius, 2001). Con base en los resultados se seleccionaron los mejores árboles dentro de las familias y poblaciones que demostraron superioridad genética en el experimento. En total se seleccionaron 308 genotipos promisorios.

Durante la segunda fase del proyecto se desarrolló un protocolo para la clonación de los genotipos promisorios mediante propagación vegetativa. Este consiste en el enraizamiento y brotación de miniestacas suculentas juveniles en condiciones de invernadero (imagen 1), dando origen a nuevos árboles con el mismo genotipo del árbol del cual se toman las miniestacas. El protocolo tiene un porcentaje de conversión de miniestacas en árboles normales de más de un 80%.



Eugenio Corea, Mini-estaca enraizada y con brotes de caoba

Multiplicando de esta forma cada uno de los genotipos seleccionados, se estableció un jardín clonal juvenil con 308 clones promisorios (imagen 2), entendiendo por clon un conjunto de árboles genéticamente idénticos. Estos jardines juveniles producen miles de miniestacas, lo que, junto con el protocolo de propagación vegetativa desarrollado, posibilita la reproducción masiva de cada uno de los clones.

La tercera fase se encuentra en ejecución y consiste en evaluar y comparar el comportamiento de los clones promisorios a una mayor edad y en diferentes regiones agroecológicas del país, con el fin de seleccionar los mejores para cada región.



Eugenio Corea, Clones de caoba de 12 meses de edad en Guápiles

A partir de 2011, con los árboles clonados producidos en el invernadero, se ha venido estableciendo una red de experimentos genéticos de campo en diferentes sitios del país: Guápiles (Limón), Sarapiquí y Barva (Heredia), Puriscal (San José) y Cañas (Guanacaste). En estos experimentos se evalúa la tasa de crecimiento, la longitud y forma del fuste, la capacidad de respuesta ante plagas y enfermedades y la capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales de cada uno de los clones.

Los resultados preliminares obtenidos en los experimentos de campo son muy prometedores. En el primer experimento, establecido en Guápiles, los mejores clones han alcanzado hasta 4 m de altura promedio a los 14 meses de edad, presentando muy buena forma del fuste y excelente supervivencia. Esto significa un crecimiento entre 50% y 100% mayor que el crecimiento promedio de árboles de caoba producidos a partir de semillas de árboles silvestres. El crecimiento juvenil de los mejores clones obtenido hasta ahora compite con muchas de las especies de rápido crecimiento comúnmente plantadas pero de mucho menos valor y mercado, tales como eucaliptos, chanco blanco, laurel y melina, entre otras. Los experimentos seguirán siendo evaluados en la forma actual hasta por lo menos los cinco años de edad. Posteriormente

se continuará con la evaluación intensiva de los mejores clones, agregando las características de la madera entre las variables a evaluar.

La cuarta fase se iniciará en 2013 y consistirá en establecer parcelas piloto con los clones que vayan mostrando mejores resultados en la red de experimentos. Estas parcelas servirán para iniciar la evaluación de los clones superiores en sistemas agroforestales y también para probar diferentes alternativas de manejo de ellos y construir un paquete tecnológico, que integre el componente genético



Eugenio Corea, Jardín clonal juvenil de caoba en el Inisefor

con el manejo y el ambiente, adaptado a las condiciones y necesidades de los sistemas agroforestales. Esta fase será ejecutada en conjunto con organizaciones de pequeños y medianos productores en diferentes regiones del país, y las parcelas piloto podrán servir también como parcelas demostrativas que apoyen los procesos de extensión forestal.

Con los resultados obtenidos hasta ahora existen suficientes evidencias que apoyan fuertemente la posibilidad de que el cultivo de clones superiores de caoba en sistemas agroforestales será económica, ecológica y socialmente exitoso, lo que podría convertir a Costa Rica en el primer productor sostenible de caoba cultivada en América Latina, con todas las ventajas que esto implicaría en el mercado internacional. Esto también significaría incorporar grandes áreas de sistemas agroforestales a la producción nacional forestal

del país, contribuyendo así a reducir el déficit nacional.

A nivel ambiental, el estímulo al aumento del cultivo de árboles que el proyecto generará contribuirá a una mayor captura y almacenamiento de carbono atmosférico y, por lo tanto, a mitigar el cambio climático global. A nivel local, los árboles contribuirán a controlar la erosión, la sedimentación y las inundaciones, a mantener el flujo y la calidad del agua, a proteger los cultivos agrícolas, a mantener la fauna silvestre y a mejorar el paisaje y su potencial turístico.

#### Referencias bibliográficas

- Arce, H. y Barrantes, A. (2004). *La madera en Costa Rica. Situación actual y perspectivas*. San José: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal - Oficina Nacional Forestal. 25 p.
- Barrantes, A. y Salazar, G. (2006). *Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2005*. San José: Oficina Nacional Forestal. 28 p.
- Hilje, L. y Cornelius, J. (2001). ¿Es inmanejable *Hypsipyla grandella* como plaga forestal? *Manejo Integrado de Plagas*, 61. p i-vi. Hoja Técnica. No. 38.
- Rojas, F., Canessa, R. y Ramírez, J. (2004). *Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica*. Costa Rica: Icafé-ITCR. 151 p.
- Zobel, B. y Talbert, J. (1984). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. México D.F.: Limusa. 545 p.