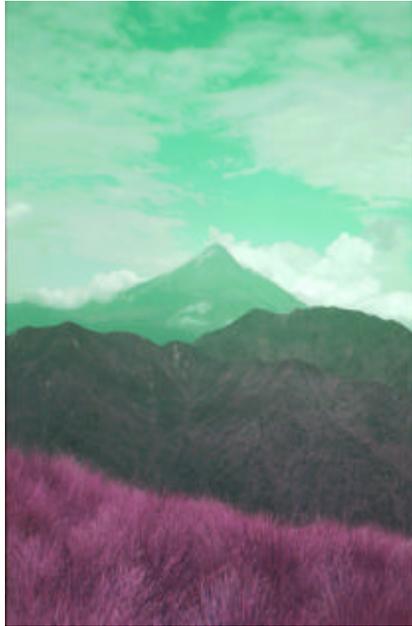


PÁRAMO

ÓRGANO DE DIFUSIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO EN PÁRAMOS DEL ECUADOR



1

**EL PÁRAMO COMO ESPACIO DE MITIGACIÓN
DE CARBONO ATMOSFÉRICO**

El Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP) es una plataforma de información, intercambio y discusión de temas relacionados con el conocimiento, conservación, manejo y políticas sobre los páramos en el Ecuador.

Por favor, cite esta obra así:

Para la publicación completa:

Medina, G. ,P. Mena & C. Josse (Eds.). 1999. **El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico**. Serie Páramo 1. GTP/Abya Yala. Quito.

Para cada artículo:

<Autor/a/es/as>. 1999. <Nombre del artículo>. En **El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico**. Serie Páramo 1. GTP/ Abya Yala. Quito.

Diseño interior y de portada: Patricio A. Mena

Fotografía de portada: Volcán Sangay (Patricio A. Mena, 1998)

Apoyo en la logística para la reunión del GTP: Érica Narvárez

Apoyo durante la reunión del GTP: Gabriela Granja

Edición electrónica: Diego Mosquera

ISSN 1390-1222

ISBN

Impreso en el Ecuador por/Printed in Ecuador by:

Editorial Abya Yala, Casilla 17-12-719, Quito, ECUADOR.

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo económico del
Comité Holandés de la UICN.

Para mayor información sobre el GTP

comuníquese con:

Galo Medina

gmedina@impsat.net.ec



TABLA DE CONTENIDOS

Presentación.....	4
Introducción (<i>Galo Medina & Patricio Mena</i>)	6
El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico (<i>Robert Hofstede</i>)	7
La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la Implementación Conjunta (<i>Onno Heerma van Voss</i>)	11
El Programa FACE de Forestación (PROFAFOR) en el Ecuador (<i>Luis Fernando Jara & Soraya Martínez</i>).....	27
Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador (<i>Robert Hofstede & Nikolay Aguirre</i>)	31
Discusión y Conclusiones	47

PRESENTACIÓN
EL GRUPO DE TRABAJO EN PÁRAMOS
DEL ECUADOR (GTP) Y LA SERIE PÁRAMO

Galo Medina
GTP

Antecedentes

El Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP) fue establecido en 1998 y reúne a varias organizaciones (gubernamentales y no gubernamentales) que desarrollan actividades en los páramos. El GTP es una plataforma de información, intercambio y discusión de temas relacionados con el conocimiento, conservación, manejo y políticas sobre los páramos en el Ecuador.

La intención del GTP es integrar a la mayor cantidad posible de organizaciones interesadas en la investigación y el manejo del páramo. La presidencia del GTP está en EcoCiencia, entidad que tiene contacto regular con las organizaciones participantes.

El GTP funciona también como Entidad Consultiva del Proyecto *ALa Conservación de los Ecosistemas de Páramo del Ecuador* (Proyecto Páramo). Este proyecto es coordinado por la Universidad de Amsterdam/ EcoPar y ejecutado por EcoCiencia y el Instituto de Montaña con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente y cuatro organizaciones interesadas en el manejo de este ecosistema (Fundación Natura, DFC, Consorcio Carchi, Programa Podocarpus e IEDECA).

Actividades

Con el apoyo económico del Comité Holandés de la UICN, el GTP se fortalece a través de reuniones temáticas trimestrales informales, informativas, multidisciplinarias y abiertas a las organizaciones interesadas. En ellas, una o varias organizaciones con experiencia en un tema preparan una exposición sobre el conocimiento actual de dicho te-

ma. Luego, la audiencia interactúa con las personas que han expuesto sus ideas, evalúa las implicaciones para el manejo del páramo y propone acciones que miembros del GTP u otros podrían llevar a cabo. Los resultados de las discusiones se divulgarán regularmente en esta publicación, la cual será ampliamente distribuida. Además, con la colaboración de medios de comunicación, se entregará esta información al público general.

Agenda

Durante las reuniones del GTP en 1998 se discutieron algunos temas prioritarios que podrían ser abordados durante 1999. Estos temas y las entidades responsables de su presentación son:

- ✓ *El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico (EcoPar/PROFAFOR)*
- ✓ *Análisis de género en los estudios de páramo y el papel de la mujer en este ecosistema (FLACSO/Grupo Randi-Randi)*
- ✓ *El páramo como fuente hídrica (ETAPA/EMAAP)*
- ✓ *Los suelos de páramo: clasificación, degradación y conservación (IRD/INIAP)*

Se ha planificado continuar con temas como la forestación con especies nativas en el páramo, las técnicas de uso sustentable de los páramos y las políticas de manejo de los páramos, entre otros, que se complementarán con visitas *ad hoc* de campo.

La Serie Páramo

Con la publicación de la Serie Páramo, un esfuerzo compartido entre el GTP y Editorial Abya Yala , pretendemos llegar con información multidisciplinaria actualizada a la mayor cantidad de organizaciones interesadas en el manejo del páramo en el Ecuador, basada en cada una de las reuniones temáticas del GTP.

INTRODUCCIÓN

Galo Medina & Patricio Mena
GTP y Proyecto Páramo
Editores

En marzo de 1999 tuvo lugar la reunión del GTP en la cual EcoPar y PROFAFOR presentaron el tema AEl Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico@. Esta publicación, la primera de la Serie Páramo, recoge las ponencias de los expositores y las conclusiones a las que se arribó en dicha reunión.

En primer lugar, **Robert Hofstede** (Coordinador del Proyecto EcoPar de la Universidad de Amsterdam) introduce al tema de la reunión AEl Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico@ y sienta las bases para las exposiciones. **Onno Heerma van Voss** (actualmente Ecólogo Forestal del Proyecto EcoPar y que trabajó durante los dos años anteriores con FACE) presenta un resumen de la problemática del aumento de la concentración de CO₂ atmosférico, las discusiones políticas internacionales y la historia de FACE. A continuación, **Luis Fernando Jara** (Gerente de PROFAFOR) y **Soraya Martínez** (Relacionadora Pública de esa institución) dan una visión general de lo que es PROFAFOR en el Ecuador. **Nikolay Aguirre** (Ingeniero Forestal de EcoPar) y **Robert Hofstede** presentan los resultados de unos estudios sobre la dinámica de carbono en la Sierra Alta del Ecuador con relación a las actividades forestales. A continuación, los editores recopilan el proceso de discusión surgido tras las discusiones y presentan las conclusiones generales a las que se llegó. Finalmente, en la última sección se encuentran datos generales sobre los expositores y las personas que asistieron a este evento.

EL PÁRAMO COMO ESPACIO PARA LA FIJACIÓN DE CARBONO ATMOSFÉRICO

Robert Hofstede
Proyecto EcoPar

El cambio global

Desde hace un poco más de una década, los científicos ambientales están alertando al mundo por los efectos de una alza de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. Este incremento está causado principalmente por el alto uso de combustibles fósiles, lo que ha aumentado mucho desde la revolución industrial (hace 200 años). CO₂ es el principal gas invernadero, es decir, las concentraciones aumentadas causan un calentamiento general del planeta, lo que a su vez causa un cambio climático con graves efectos, como desertificación en ciertas áreas e inundaciones en otras.

Al contrario de otras formas de contaminación del aire, el aumento de la concentración de CO₂ es un verdadero problema global: los gases se dispersan sobre toda la atmósfera y no se concentran alrededor de sus fuentes (áreas industriales, ciudades grandes o selvas quemadas). Por esto, todo el mundo siente el efecto del calentamiento global pero se pueden ejecutar acciones para mitigar su efecto en todo el planeta, incluyendo el páramo.

Dos líneas de acción

Las líneas de acción para controlar el nivel de CO₂ en la atmósfera se pueden generalizar en dos tipos. La mayoría de las acciones se dirige a la disminución de las emisiones de carbono. Esto incluye campañas de disminución del uso de energía y el desarrollo de técnicas para aumentar la eficiencia de aparatos que funcionan con combustible fósil (plantas eléctricas, vehículos, calefones, etc.). El control de emisión también incluye actividades como el control de incendios de la selva tropical, porque con la quema de biomasa actual, y el asociado cambio de uso de la tierra, se emite mucho carbono a la atmósfera. La otra línea de acción es la fijación de la aumentada cantidad de carbono en la atmósfera. Esto actualmente se hace más que todo por actividades forestales. Cuando una planta crece, asimila CO₂ y lo convierte en biomasa. Si esta biomasa está almacenada en una forma más o menos estable, se retira esta cantidad de carbono de la atmósfera durante bastante tiempo.

En ambas líneas de acción mencionadas para la mitigación del efecto del aumento de concentración de CO₂ (reducción de emisión y fijación), el páramo puede jugar un papel importante. Primero, el ecosistema paramero es un gran reservorio para carbono y al conservarlo se evita más emisión de este elemento a la atmósfera. Segundo, el páramo incluye grandes áreas abiertas (sin bosques) con relativamente baja productividad agrícola que por esta razón se presta para hacer actividades de forestación a gran escala, con el objetivo de fijar CO₂ atmosférico.

Control de emisiones

)Cuál es el beneficio para la atmósfera si estamos conservando el páramo?)No es mejor invertir todo nuestro esfuerzo y recursos en la salvación del bosque tropical, que contiene mucho más biomasa y así puede emitir más CO₂ cuando se incendie? Esto último es verdad. La selva húmeda tropical tiene una biomasa con un valor de hasta 500 toneladas de materia seca por hectárea, lo que es equivalente a 250 toneladas de carbono. Si no se protege este bosque, y alguien decide tumbarlo para hacer un cultivo, se emiten 250 toneladas de carbono elemental (una unidad de carbono elemental, C, equivale a 3,6 unidades de CO₂). El pajonal de páramo tiene máximo 40 toneladas por hectárea de materia seca en su vegetación, o sea, al quemar la vegetación se pierden máximo 20 toneladas de carbono elemental.

Pero en el cálculo anterior no hemos incluido el suelo. En la selva tropical, el suelo casi no contiene materia orgánica (carbono). La descomposición de la hojarasca es tan rápida que los restos vegetales son en la mayoría de los casos totalmente oxidados antes de ser incorporados en el suelo. Por esto, el suelo orgánico no es más profundo que 10 cm y el contenido de carbono elemental es máximo 5%. Así, si tenemos una densidad aparente del suelo de 1 kg/litro, obtenemos una cantidad de carbono en el suelo de 50 toneladas por hectárea. En el páramo, los suelos típicamente son muy negros y húmedos. Por el clima frío, la alta humedad y el hecho de que los suelos son formados en cenizas volcánicas recientes, la descomposición de materia orgánica es muy lenta. Por esto existe una gran cantidad de carbono almacenada en una capa gruesa de, en el caso de los páramos de El Ángel, hasta 2 metros de profundidad. Si se considera este caso extremo de Carchi, donde estos 2 metros tienen una concentración de 17% de carbono en el suelo, con una densidad aparente de 0,5 kg/litro, podemos calcular que en estos suelos se almacenan 1700 toneladas de carbono por hectárea. Así, es evidente que en el ecosistema paramero, si se considera el suelo, puede almacenar más carbono que la selva tropical.

Pero, ¿cuán importante es el carbono en el suelo del páramo? ¿No es así que al dañar el ecosistema, por ejemplo por quema, desaparece solo la vegetación? Esto no es verdad. Con un mal manejo del páramo, especialmente al dejar la tierra expuesta al aire, se seca el suelo superficial y la descomposición aumenta. Esto resulta en una oxidación de la materia orgánica y una emisión de carbono a la atmósfera. En muchos casos, con un cambio de uso de la tierra en el páramo, esta pérdida de materia orgánica no está compensada por una entrada de nueva hojarasca. O sea que la erosión es también una fuente de emisión de CO₂; con un mejor control de la erosión se obtiene una conservación de la materia orgánica almacenada. Es una ilusión pensar que la materia orgánica en el suelo es muy estable y que con solo un manejo inapropiado no se puede perder mucho carbono. La evidencia está en la misma provincia del Carchi: alrededor de Bolívar el suelo típico de esta provincia, de más de un metro, se ha deteriorado durante apenas unas décadas de sobreuso.

Fijación de carbono atmosférico

El páramo como espacio para la fijación de carbono mediante plantaciones forestales ha sido entendido por la Fundación FACE (Forests Absorbing Carbon dioxide Emission - bosques absorbiendo emisiones de dióxido de carbono) de Holanda. Ellos empezaron en 1993 en el Ecuador con el Programa FACE de forestación de Ecuador (PROFAFOR) para plantar en total unas 75.000 ha de bosque en áreas que están hoy día cubiertas por vegetación de páramo. Esta actividad es justificable desde distintos puntos de vista. Es importante considerar que en muchas áreas (las más bajas) donde se encuentra páramo algún día hubo bosque andino cortado por influencia humana y luego ocupado por vegetación de páramo que resiste más las condiciones extremas a estas alturas. Sin embargo, por el hecho de que anteriormente sí crecieron árboles a estas alturas, es posible emplear iniciativas forestales. Una plantación a esta altura no crece tanto como una plantación a altitudes más bajas, pero siempre puede alcanzar hasta 200 toneladas por hectárea, el equivalente de una fijación de 100 toneladas de carbono. Las 75 000 hectáreas en conjunto pueden contribuir en esta manera con bastante a la fijación de carbono: se ha calculado que toda esta actividad puede fijar la emisión de una planta eléctrica grande en Holanda. Finalmente, la actividad forestal bien manejada está considerada como una actividad económica muy interesante para los habitantes de estas tierras altas, por naturaleza poco productivas.

Sin embargo, existen también preocupaciones sobre las actividades de PROFAFOR en el Ecuador, entre otras porque, hasta ahora, la gran mayoría de

las plantaciones realizadas fue hecha con especies exóticas de rápido crecimiento, principalmente por la falta de experiencia forestal a gran escala con especies nativas andinas. Especies como el pino y eucalipto no son elementos de los Andes por naturaleza, y por esto la plantación no está en un balance ecológico natural. Hay preocupación de que por su crecimiento rápido, estas especies necesitan mucha agua y por esto se seca el suelo. Con un suelo más seco desaparece algo de la materia orgánica, lo que no se compensa por la caída de hojarasca, porque ésta es muy cuticulosa, homogénea y ajena a la fauna del suelo. Así, se está fijando carbono encima del suelo, por los arboles, pero perdiendo carbono en el suelo. Además, ya que el ecosistema de una plantación es muy diferente a un bosque, la diversidad y la regeneración de otras especies no es muy grande. Desafortunadamente, estas preocupaciones son más que todo teóricas y todavía no existen muchos datos que las evidencien. Para colaborar con este conocimiento, el Proyecto de Investigaciones en Páramos y Bosques Andinos (EcoPar) ha ejecutado varios estudios sobre el tema de impacto de especies exóticas en el páramo y las posibilidades de cambiar la forestación en la Sierra hacia una forestación más sustentable.

LA DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y LA IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA

Onno Heerma van Voss
Proyecto EcoPar

Introducción

Cuando se habla del páramo como espacio de mitigación de emisiones de carbono, uno se pregunta: ¿para qué se tienen que mitigar las emisiones? y ¿cuáles son las posibilidades de hacerlo?

De seguro todo el mundo ha oído hablar del calentamiento global, el cambio climático, el aumento del efecto invernadero y de las acciones para detener este proceso. En los últimos doscientos años, las emisiones del gas bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero han aumentado considerablemente por la quema de combustibles fósiles y por la deforestación.

Estos gases invernadero reflejan los rayos infrarrojos emitidos por la Tierra y por eso calientan la atmósfera. Ya hay signos de que el clima mundial está cambiando y los cambios en el siguiente siglo serán mayores, con consecuencias posiblemente muy graves para la naturaleza y la economía.

La comunidad global empezó a ejecutar acciones para detener este proceso mediante convenciones mundiales donde se acordaron programas y obligaciones para que los países industrializados disminuyan las emisiones de los gases de efecto invernadero. El Protocolo de Kioto es el más importante.

Junto a la disminución de las emisiones de los países industrializados se acordaron otras herramientas para compensar las emisiones mediante proyectos en otros países. Esto quiere decir que un país como el Ecuador puede efectuar proyectos de desarrollo con ayuda de países industrializados. Esta herramienta es denominada Implementación Conjunta.

Las disminuciones obtenidas con estos proyectos le sirven al país donante. La forestación es una de las posibilidades para fijar CO₂ de la atmósfera.

Entonces, proyectos de reforestación u otros de restauración de vegetación pueden ser financiados por medio de la Implementación Conjunta.

Este documento explica el efecto invernadero, cuáles son las causas de su aumento, cuáles las medidas que han sido tomadas para su control y cuáles son las posibilidades en la Sierra del Ecuador. Se abordarán los siguientes temas: El efecto invernadero: qué es y cuáles son los gases de efecto invernadero que lo causan; el cambio climático mundial por el incremento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero; las causas de este incremento; las respuestas; acciones políticas: Protocolo de Kioto (1997); la Implementación Conjunta; la forestación como medida para la mitigación; las posibilidades en América Latina para proyectos de Implementación Conjunta; ejemplos de proyectos existentes en el Ecuador.

El efecto invernadero

La Tierra recibe su calor de la luz y otros rayos emitidos por el sol. Una parte de la luz es reflejada por la superficie de la Tierra y se pierde en el espacio, el resto calienta la superficie terrestre. Como todo cuerpo, la superficie de la Tierra emite rayos térmicos, constituidos por luz infrarroja. En la atmósfera estos rayos infrarrojos son absorbidos parcialmente. Debido a la absorción de estos rayos térmicos, la atmósfera se calienta (Gráfico 1).

Esta absorción es llamada el efecto invernadero porque se parece a la manera en que la temperatura en un invernadero aumenta. Debido a que es un efecto natural se la conoce también más ampliamente como efecto invernadero natural.

Sin esta absorción, la temperatura de la atmósfera sería 30 °C más baja (Ecosur, 1998). Así, constituye un efecto benéfico sin el que no habría vida en este planeta.

Solo unos pocos componentes (gases) en la atmósfera son responsables por este efecto. Los gases que absorben la luz infrarroja son denominados gases de efecto invernadero. Los principales son el vapor de agua y el bióxido de carbono (Tabla 1).

Cambio climático

En los últimos dos siglos, la concentración de algunos gases de efecto invernadero ha crecido, principalmente la del bióxido de carbono, cuya concentración en la atmósfera subió de 280 partes por millón (ppm) hasta 350 entre 1800 y la época actual (NASA, 1999) (Gráfico 2).

Está claro que una mayor concentración de gases invernadero conduce a una mayor cantidad de calor absorbida por la atmósfera. En general, hay un acuerdo científico sobre que el clima está cambiando y calentándose. Este calentamiento se puede observar en los datos mundiales de la temperatura.

En los últimos 100 años la temperatura ha subido 0,6 grados; la década pasada fue la más caliente del siglo y el año pasado el más caliente. Por la complejidad del sistema del clima a escala mundial, todavía no se puede predecir cuáles serán los cambios del clima en el futuro. Sin embargo, en general hay un acuerdo científico en que los cambios pueden ser graves si la concentración de gases de efecto invernadero sigue incrementando.

Las causas

El incremento de la concentración de CO₂ (que es la primera causa del efecto invernadero) es principalmente causado por el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). Al quemar combustibles fósiles se emite bióxido de carbono. Se estima que cada año por la quema de combustibles fósiles 6 mil millones de toneladas de carbono

en forma de bióxido de carbono son emitidos en la atmósfera (Ecosur, 1998).

Los países industrializados usan la mayoría de estos combustibles. El 95% de las emisiones industriales son originadas en el hemisferio Norte, el cual está dominando por países industrializados (Tabla 2).

La segunda causa es el cambio de uso de la tierra, principalmente la deforestación para ganadería o agricultura. Cada año una superficie de 16 millones de hectáreas es deforestada, emitiendo 1,8 mil millones de toneladas de CO₂ en la atmósfera.

Entonces, el incremento de la concentración de CO₂ es causado en un 80% por el uso de combustibles fósiles y en un 20% por la deforestación (Ecosur, 1998).

Al contrario de las emisiones por la quema de combustibles fósiles, la deforestación y sus emisiones correspondientes tienen lugar mayormente en los países tropicales. Por ejemplo, en la Amazonia, la superficie de selva más grande en el mundo, desapareció en las últimas décadas un promedio de 2 millones de hectáreas cada año (WRI, 1999).

Estos dos millones de hectáreas son casi el 15% de la deforestación global, y constituyen el 3% de las emisiones totales de CO₂.

Las respuestas

Para evitar un cambio posiblemente muy grave del clima mundial se tiene que disminuir o al menos estabilizar la concentración de los gases de efecto invernadero.

Disminución y compensación de las emisiones

Se puede detener el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero por disminución de las emisiones, con el efecto que ingresa menos CO₂¹ en la atmósfera, y por la captación de CO₂ atmosférico.

¹ En vista de que el bióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero más

Para la captación se usa el término «compensación», porque la captación compensa las emisiones.

Ya que la quema de combustibles fósiles y la deforestación son las fuentes más importantes, las acciones para disminuir son hechas principalmente en estos campos.

Para la captación de CO₂ hay dos maneras: técnica y ecológica. Aquí se tratan las opciones de disminución y compensación por la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

La disminución de las emisiones por el uso de combustibles fósiles puede hacerse disminuyendo las emisiones por cada cantidad de combustibles quemada y bajando el uso de combustibles.

Ya que no es posible bajar la producción de CO₂ al quemar combustibles, la única opción es captar el gas en la fuente y guardarlo. Solo se podría efectuar eso en sistemas grandes como plantas termoeléctricas; en los millones de motores de carros, etc. esto no es factible. Además, el depósito de las cantidades de gas en capas subterráneas es técnicamente complicado.

Disminución de uso de los combustibles fósiles

Esto se puede lograr a través de uso de fuentes alternativas de energía como sol, viento e hidroelectricidad, y mediante el desarrollo de motores más eficientes, como en carros que usen menos gasolina, y la disminución del uso de energía en general, a través de favorecer el transporte público.

Disminución de las emisiones debidas a la deforestación

Las emisiones debidas a la deforestación vienen de la destrucción de los bosques. La deforestación tiene dos causas: la demanda de tierra agrícola y la demanda de madera.

importante se trata mayormente de CO₂.

Se pueden disminuir estas emisiones bajando la demanda para campos agrícolas mediante la introducción de sistemas que necesitan menos superficie. Se pueden proteger los bosques naturales con el establecimiento de parques y reservas.

Para disminuir las emisiones que resultan de la tala de árboles maderables se pueden introducir formas de tala y extracción de madera en bosques naturales menos destructivas (de bajo impacto) y se pueden establecer plantaciones para satisfacer la demanda de madera (por ejemplo las plantaciones de teca).

Compensación técnica

La compensación técnica significa la captación de gases de efecto invernadero de la atmósfera técnicamente y su depósito permanente. Por los costos altos de la captación en la atmósfera (por ejemplo a través de la congelación de aire a -37°C , la temperatura a la que el CO_2 se vuelve líquido y extraíble) y del depósito permanente (por ejemplo en capas subterráneas); esta manera no parece ser muy atractiva.

Compensación ecológica

Todos los organismos que utilizan fotosíntesis (plantas, briofitas, algas) como fuente de energía, captan CO_2 del aire, fijan el carbono en sus tejidos y emiten oxígeno. Entonces, al crear vegetación se capta el CO_2 del aire. Los ecosistemas más importantes en este sentido son las turbas, los bosques y los corales.

Acciones políticas

En noviembre de 1997, 150 países acordaron acciones para disminuir las emisiones de gases de invernadero en el Protocolo de Kioto (UNFCCC, 1999).

Los países industrializados se comprometieron a disminuir sus emisiones de CO_2 . Los países de la Comunidad Europea se fijaron una disminución de 8% bajo el nivel de 1990, los Estados Unidos de 7% y Japón de 6% bajo el nivel de 1990. También los países de Europa del Este se comprometieron a limitar sus emisiones. Para ellos este límite

no significa una reducción real debido a que sus emisiones ya se bajaron mucho desde 1990.

En el Apéndice 1 están listados los países con sus límites.

Los firmantes deben alcanzar estas reducciones entre los años 2008 y 2012. Se acordó que ya en el 2005 se deberían mostrar progreso claros en este campo.

En el Protocolo se han incluido seis gases de efecto invernadero (Apéndice 2), donde el bióxido de carbono (CO₂) es el más importante. Los sectores incluidos para la medida de las emisiones son amplios; se trata de sectores de industria, agricultura, uso de la tierra y manejo de desechos. La forestación también está incluida.

Se han propuesto diferentes herramientas para lograr las reducciones:

- ! Reducción propia
- ! Comercio de emisiones
- ! Implementación conjunta

Entre los países que se comprometieron a limitar sus emisiones, el comercio de emisiones es una opción. Esto quiere decir que países que emiten menos que su límite pueden vender su espacio de emisiones que no ha sido usado a otros, que así pueden disminuir sus emisiones con las emisiones compradas. Actualmente esto es importante para los países en transición que tienen por lo general una producción de CO₂ menor que su límite y con esta medida pueden generar ingresos.

Implementación Conjunta

Aquellos proyectos para reducción o compensación con fondos y asistencia técnica de un país industrializado y ejecutados por otro país son denominados proyectos de Implementación Conjunta.

La reducción de emisión o la compensación de CO₂ puede ser dividida entre los países participantes y puede ser utilizada para lograr al límite dentro del Protocolo de Kioto.

El país donante de un proyecto de Implementación Conjunta será normalmente un país industrializado; el país ejecutor podrá ser un país con límites (en este caso el país ejecutor es normalmente un país de Europa del Este) o un país sin límites (por ejemplo el Ecuador).

Para los proyectos conjuntos en países sin límites se definió en el Protocolo de Kioto el Mecanismo de Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanism B MDL por sus siglas en español). Dentro del MDL se definirán los criterios para proyectos de Implementación Conjunta para asegurar que estos proyectos sirvan para el desarrollo de los países ejecutores a más de la disminución o compensación de emisiones. En otras palabras, los proyectos de Implementación Conjunta tienen que dar ventajas socioeconómicas y/o transferencia de tecnología, etc.

Los proyectos de Implementación Conjunta tienen que ser inscritos en la Oficina Nacional de Administración de Proyectos de Implementación Conjunta y en la secretaria de la UNFCCC.

La forestación para compensar las emisiones

Ya que la deforestación es una de las causas del incremento de CO₂ en la atmósfera, la forestación podría ser una medida para disminuir este incremento. Se estima que hay cerca de 100 millones de hectáreas a escala mundial para reforestación donde se podrían capturar de 1 a 2 mil millones de toneladas de carbono por año.

El Protocolo de Kioto incluye en el cálculo de las emisiones totales los cambios netos desde 1990 resultados de la emisión y captación por cambios de uso de la tierra y actividades forestales. Las actividades forestales que se incluye son la forestación y la reforestación. También dice que las reducciones obtenidas desde el año 2000 dentro del MDL (es decir, proyectos de Implementación Conjunta en países sin límites) pueden ser utilizadas para lograr las reducciones comprometidas.

Entonces, en el Ecuador (o, en general, en Latinoamérica) existen posibilidades para llevar a cabo proyectos de Implementación Conjunta

en forestación. El Protocolo no define claramente los tipos de proyectos que están incluidos: esto se tiene que definir en conferencias siguientes. Pero parece seguro que los proyectos de forestación y reforestación serán incluidos; probablemente también lo serán los proyectos de protección de bosques.

Desde 1990 empezaron los primeros proyectos para disminuir o compensar las emisiones de gases de efecto invernadero. Ahora hay muchos de estos proyectos. En la Tabla 3 se dan ejemplos en Latinoamérica.

Las posibilidades de proyectos de Implementación Conjunta en Ecuador

Áreas aptas para proyectos de Implementación Conjunta en Ecuador

Aquí se enfocan las regiones Andinas del Ecuador y las posibilidades de proyectos de Implementación Conjunta en los campos de disminución de deforestación y de compensación ecológica.

Los proyectos de Implementación Conjunta dentro del MDL deben cumplir los criterios básicos siguientes:

La reducción o compensación tiene que ser adicional. El criterio de adicionalidad exige que solamente las reducciones o compensaciones que no hubieran obtenido en ausencia del proyecto serán acreditados. En otras palabras, solo cuentan aquellos proyectos que sin el apoyo del proyecto de IC no serían ejecutados. Por ejemplo, la protección de un bosque por parte de una ONG que ya tiene bastantes ingresos por el ecoturismo no es un candidato.

El proyecto tiene que ser sustentable ecológica y económicamente. El proyecto tiene que apoyar al desarrollo del país.

Cada proyecto que cumple los criterios y tiene como finalidad la fijación de carbono, puede en principio atraer fondos dentro de la Implementación Conjunta.

Ya que los costos de la verificación y acreditación son altos, sólo los proyectos que fijen bastante serán interesantes para el financiamiento.

Ejemplos de proyectos

Plantaciones (por ejemplo PROFAFOR), reforestación, proyectos para cambio de uso de la tierra, proyectos para intensificar/mejorar la agricultura para disminuir la presión sobre el bosque, protección del bosque (aunque todavía no sea seguro que estará dentro de la definición del Protocolo de Kioto)

)Cuánto carbono fija un bosque?

La cantidad que un bosque fija es dependiente del tipo de bosque. El almacenamiento de carbono varía entre 300 toneladas de CO₂ y más de 1000 toneladas de CO₂ por hectárea. Solo se fija carbono en bosques que están creciendo; entonces, en los bosques maduros donde la composición y la descomposición de materia orgánica son iguales, la cantidad de carbono no se eleva más.

En promedio, un bosque maduro tiene fijadas 600 toneladas de CO₂ por hectárea. En general, después de 50 años se llega al 75% de la biomasa total de un bosque, lo que quiere decir que se fija en promedio 10 toneladas (entre 5 y 15 toneladas) de CO₂ por hectárea por año.

Solo se pueden vender las toneladas fijadas adicionales, es decir, el CO₂ que sería fijado si no hubiese el proyecto se tiene que sustraer de la fijación. Esto es denominado la línea base (base line). Así, del cálculo de las toneladas fijadas adicionalmente se tiene que disminuir el total con la cantidad que estuvo fijada en la situación inicial. Normalmente la situación inicial es pajonal o pasto. Un campo de pasto contiene en la biomasa y el suelo una cantidad de carbono por hectárea equivalente a cerca de 30 toneladas de CO₂, cantidad que se tiene que restar del total. Se tiene que notar que en la forestería o cualquiera actividad ecológica hay muchas incertidumbres y los casos óptimos se lograrán rara vez.

)Cómo se pueden financiar proyectos?

Para ejecutar proyectos de Implementación Conjunta hay dos posibilidades para financiarlos: el financiamiento directo y el financiamiento indirecto.

Financiamiento directo: el proyecto es financiado completamente por un donante, el cual tiene los derechos sobre las reducciones

Financiamiento indirecto: el proyecto se financia por venta de los derechos en una bolsa de carbono.

La mayoría de los proyectos actuales es financiada directamente. El proyecto de Scolel Te es un ejemplo en donde se venden los derechos: se vende «Proto-Créditos de Carbono» de una tonelada de carbono por 10 dólares estadounidenses. Ya existe una bolsa para los derechos de emisión de carbono (créditos): el precio es de alrededor de 10 dólares por tonelada. Se tiene que considerar que los ingresos de un proyecto con financiamiento indirecto no será la cantidad fijada multiplicado por \$10 debido a que hay costos para la verificación de los proyectos (si se ciñen a los criterios del MDL), costos para estimación de la cantidad de CO₂ a fijar, etc.

Para asegurar que cada tonelada vendida será fijada se tiene que reservar una parte de la cantidad total como seguro (normalmente 30%). Al vender toneladas que se fijarán en el futuro, se tiene que guardar una reserva para poder cumplir las obligaciones en caso de que la fijación sea menor que la planificada.

El precio por tonelada de CO₂ mencionado arriba es por tonelada ya fijada. El precio actual de toneladas a fijar en el futuro será más bajo, debido a la disminución de la renta perdida, las inseguridades del mercado, etc.

Bibliografía citada

FACE FOUNDATION. 1998. **Annual report 1997**. Face Foundation. Arnhem.

ECOSUR. 1998, URL: www.ecosur.mx/scolel/cc.htm, 1998-06.

JI-ONLINE. 1999. JI-Online, International Utility Efficiency Partnerships, Inc. URL: www.ji.org. 1998-09-22

NASA, 1999. NASA Godard Institute for Space Studies, 1999. URL: www.giss.nasa.gov/research/observe/surftemp, 1999-04-05

PROTOCOLO DE KIOTO. 1998. Secretary of the UNFCCC. URL: www.unfccc.de/homep.htm, 1999-02-18

UNFCCC, 1999. Secretary of the United Nations Climate Convention. URL: www.unfccc.de/homep.htm, 1999-02-18

WRI, 1999. World Resources Institute. URL: www.wri.org. 1999-04-06

TABLA 1. Gases de invernadero

Vapor
Bióxido de carbono
Metano
Óxido nitroso
Clorofluorocarbonos
Ozono

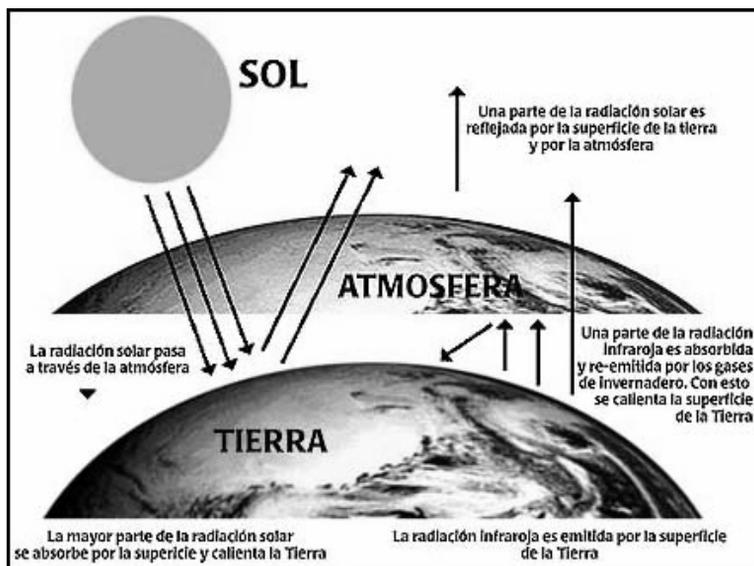
Tabla 2. Emisiones de CO₂ (UNFCCC, 1999)

País	Total emisión ¹		Emisiones por habitante ²	
	1990	1995	1990	1995
Alemania	268	239	3,4	29
Australia	72	82	4,3	45
Austria	16	16	2,1	19
Bélgica	30	33	2,1	19
Canadá	118	129	4,2	43
Dinamarca	14	17	2,8	32
Estados Unidos	1335	1427	5,3	54
España	59	69	1,5	18
Finlandia	15	18	2,9	36
Francia	103	97	1,8	1,7
Grecia	20	21	2,0	2,1
Islandia	1	1	2,6	2,5
Irlanda	9	10	2,6	2,7
Italia	111	116	2,0	2,0
Japón	291	315	2,3	2,5
Luxemburgo	3	2	7,8	6,1
Nueva Zelanda	7	8	2,0	22
Noruega	9	8	2,0	18
Portugal	11	14	1,1	1,4
Reino Unido	159	153	1,7	1,7
Suecia	14	15	1,7	17
Suiza	12	11	1,8	16
Turquía	38	43	0,7	7

¹ millones de toneladas de carbón

² toneladas de carbón

GRÁFICO 1. Esquema del efecto invernadero (Ecosur, 1998)



APÉNDICE 1

Los compromisos sobre las emisiones en 2012

País	Emisiones en el 2012**
Alemania	92
Australia	108
Austria	92
Bélgica	92
Bulgaria*	92
Canadá	94
Comunidad Europea	92
Croacia*	92
Dinamarca	92
Eslovaquia*	92
España	92
Estados Unidos	93
Estonia*	92
Federación Rusa*	100
Francia	92
Grecia	92
Hungría*	94
Islandia	110
Irlanda	92
Italia	92
Japón	94
Letonia*	92
Liechtenstein	92
Lituania*	92
Luxemburgo	92
Mónaco	92
Noruega	101
Nueva Zelanda	100
Países Bajos	92
Polonia*	94
Portugal	92
Reino Unido	92
República Checa*	92
Rumania*	92
Eslovenia*	92
Suecia	92
Suiza	92
Ucrania*	100

* Países en transición a una economía de mercado

** Límite de emisiones en porcentaje frente a la emisión del año base (1990)

APÉNDICE 2

Gases de efecto invernadero incluidos en el Protocolo de Kioto

Nombre	Símbolo
Bióxido de carbono	CO ₂
Metano	CH ₄
Óxido de nitroso	N ₂ O
Hidrofluorocarbonos	HFC
Perfluorocarbonos	PFC
Hexafluoruro de azufre	SF ₆

EL PROGRAMA FACE DE FORESTACIÓN (PROFAFOR) PARA EL ECUADOR

Luis Fernando Jara & Soraya Martínez
PROFAFOR

Forests Absorbing Carbon Di-oxide Emissions - FACE (Bosques para la Absorción de Emisiones de Dióxido de Carbono) es una fundación holandesa creada en 1990 por una sociedad anónima de empresas generadoras de electricidad, que surgió de un convenio de cooperación mutuo. Las plantas de producción de energía de estas empresas son alimentadas con combustibles fósiles, lo que ocasiona que grandes emisiones de gases, como el CO₂, lleguen a la atmósfera y la contaminen.

Para compensar estas emisiones, las empresas acordaron crear a FACE con el principal objetivo de fijar el CO₂ de la atmósfera, mediante la plantación de bosques. Las plantaciones deberían ser ecológicamente adaptadas a las condiciones locales, encajarían en los planes de desarrollo forestal nacional de las regiones y serían de gran utilidad para la población. De esta forma, se daría preferencia al establecimiento de plantaciones económica, ambiental y socialmente sostenibles.

El desarrollo de PROFAFOR

FACE está consciente que la plantación de bosques es una solución parcial a los problemas causados por el efecto invernadero, que contribuye al calentamiento global. Sin embargo, para lograr su objetivo, ésta fundación ejecuta en el mundo 7 importantes proyectos dirigidos a establecer 150.000 hectáreas de reforestación.

El 50% de ésta área se le ha asignado al Ecuador, que es ejecutada por el Programa FACE de Forestación (PROFAFOR) con el objetivo de fijar CO₂ en la atmósfera. De esta manera, PROFAFOR contribuye a la descontaminación ambiental mediante la reforestación.

Fundamento de PROFAFOR

PROFAFOR basa sus actividades de reforestación en la absorción y secuestro de carbono, como forma para descontaminar la atmósfera y al mismo tiempo compensar las emisiones de CO₂ producidas por las industrias generadoras de energía eléctrica.

Para la selección y desarrollo de proyectos de reforestación, el Programa FACE de Forestación aplica los siguientes criterios:

Adicionalidad: incrementa el área plantada en el país a través del apoyo a proyectos de forestación.

Sostenibilidad: pretende mantener la biodiversidad del ecosistema mediante el uso de especies locales y manejo sostenible.

Beneficio/costo: procura aumentar esta relación para provecho de los propietarios y comunidades del país.

Eficiencia: implica lograr altos rendimientos tanto desde el punto de vista de crecimiento como de absorción y secuestro de carbono.

Establecimiento de plantaciones forestales

PROFAFOR inició sus actividades en 1993 apoyando al Plan Bosque del INEFAN (Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre) en ese entonces, dirigido especialmente a la Sierra ecuatoriana. Con el conocimiento adecuado y dando preferencia a los reforestadores y comunidades de la región, el Programa inició el apoyo al establecimiento de plantaciones con pinos y eucaliptos en menor grado.

A partir de aquí, se ha podido atender la demanda de ciertos productos, además de transformarlos para la industria forestal. En esta misma perspectiva, PROFAFOR ha seleccionado áreas desprovistas de bosques y de aptitud forestal, aportando de esta manera, a la conservación y regulación de aguas y suelos.

Recientemente PROFAFOR está orientando sus esfuerzos hacia el establecimiento de plantaciones con especies nativas. Estas forman parte del ecosistema, son propias de la región y las comunidades conocen su crecimiento y uso. Estas especies contribuyen a mantener la biodiversidad del sitio, no afectan los cultivos aledaños y la madera se emplea por las comunidades de la mejor forma.

El Programa FACE de Forestación considera cada uno de estos aspectos muy valiosos para el país y para sus pobladores y así dedica gran parte de sus esfuerzos al establecimiento de plantaciones con especies locales para la zona andina como: *Buddleja incana* (quishuar), *Polylepis incana* (yagual), *Alnus acuminata* (aliso), *Vallea stipularis* (sacha capulí) y *Aegiphylla ferruginea* (jiguerón).

PROFAFOR trabaja junto al sector campesino del Ecuador

Las actividades de PROFAFOR se han desarrollado básicamente en tierras de comunidades campesinas y propietarios particulares de la zona andina del país, localizadas en las provincias de Carchi, Bolívar, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja. Sin embargo, actualmente se está analizando la posibilidad de abrir nuevos frentes de trabajo en la zona costera del país, para establecer plantaciones con especies propias de la región ya sean puras o mixtas. Así también, se están dirigiendo los esfuerzos hacia la recuperación del bosque degradado mediante el enriquecimiento o inducción de la regeneración natural.

Esto permitirá aumentar los rendimientos en biomasa y por ende en la absorción y secuestro de carbono, debido al rápido crecimiento de las especies. De esta manera se promueve el uso sostenido de los ecosistemas manejados.

Principales logros alcanzados por PROFAFOR

Durante los seis años de ejecución, el Programa FACE de Forestación en el Ecuador ha logrado:

- \$ Contribuir al establecimiento de cerca de 17.000 hectáreas de plantaciones forestales en la sierra ecuatoriana.
- \$ Incorporar 29 organizaciones campesinas a las actividades de plantación de 6.000 hectáreas.
- \$ Empezar la plantación de especies nativas en 481 hectáreas.
- \$ Contratar la producción de 18,2 millones de plántulas forestales en 24 viveros, de los cuales 7 son privados ya establecidos.
- \$ Establecer 17 nuevos viveros privados, para plántulas de especies nativas y foráneas.
- \$ Generar cerca de 330.000 jornales para el establecimiento y mantenimiento de plantaciones con las comunidades ecuatorianas y emplear a ocho profesionales del agro para la asistencia técnica a las mismas.

PROFAFOR también participa y contribuye en proyectos de investigación con EcoPar (Ecología de los Páramos y Bosques Andinos) que le ha permitido obtener mejor conocimiento y criterio de sostenibilidad ecológica de las plantaciones.

El Programa FACE de Forestación apoyó junto con el Proyecto de Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador (FAO-HOLANDA) y el INEFAN, el Proyecto de Mejoramiento Genético y Manejo de Semillas con Especies Nativas, para permitir y garantizar a las comunidades y propietarios involucrados en el programa, la utilización de las especies locales.

Los resultados de los diferentes estudios realizados por EcoPar han permitido a PROFAFOR tener conocimientos preliminares sobre el comportamiento de 79 especies nativas consideradas como prometedoras para la reforestación, como también estimaciones de la absorción y secuestro de carbono de estas especies.

BIOMASA Y DINÁMICA DEL CARBONO EN RELACIÓN CON LAS ACTIVIDADES FORESTALES EN LA SIERRA DEL ECUADOR

Robert Hofstede & Nikolay Aguirre
Proyecto EcoPar

Introducción

En 1993, la fundación FACE inició sus actividades en el Ecuador con el Programa FACE de Forestación del Ecuador (PROFAFOR). Este programa tuvo como objetivo el fijar el CO₂ atmosférico mediante la creación de biomasa en las plantaciones forestales. Debido a varias razones, PROFAFOR decidió trabajar en las zonas altas de los Andes. Aunque en un inicio la intención fue sembrar especies arbóreas nativas, se optó por plantar especies exóticas debido a que la experiencia forestal local a gran escala se basaba únicamente en estas especies (*Pinus patula*, *P. radiata*, *Cupressus macrocarpa*, *Eucalyptus globulus* y *E. saligna*).

PROFAFOR decidió basar sus proyectos forestales en la experiencia existente con *Pinus* y *Eucalyptus*, las cuales recibieron una buena aceptación por los dueños de las tierras y además cuentan con un mercado relativamente desarrollado. Debido a que no existían datos confiables acerca de la productividad en plantaciones de pinos a esta altitud en el norte de los Andes, se calibraron datos sobre productividad de *Pinus radiata* disponibles en la literatura para Nueva Zelanda y Australia, los mismos que fueron aplicados al modelo CO2FIX para estimar el potencial de fijación de CO₂ en el sistema forestal. La adaptación de los datos se justificó por ser la misma especie arbórea y por las largas épocas de desarrollo en las dos regiones. Hasta el momento, FACE ha aplicado estos datos de productividad para estimar la cantidad de C fijado por las plantaciones de PROFAFOR.

Durante los cinco años de existencia de PROFAFOR se han desarrollado varios estudios forestales y ecológicos en plantaciones forestales y en bosques naturales (van Winkel, 1995; Trines y Dam 1994). Estas activi-

dades fueron juntadas en 1996 y así se se inicia el proyecto EcoPar, que constituye el programa de investigación más grande relacionado con PROFAFOR. Los objetivos del proyecto EcoPar son conocer el desempeño de las plantaciones de pino existentes en los Andes, estudiar su impacto sobre los suelos y el desarrollo de la vegetación y evaluar las posibilidades de adaptar el sistema forestal a los requerimientos actuales en términos de selección de especies e impacto ecológico.

Las investigaciones en el proyecto EcoPar dieron como resultado adicional datos sobre la biomasa y la dinámica del carbono. Este documento tiene como objetivo dar una visión general de varios de estos resultados con el fin de tener un mayor conocimiento sobre el potencial de fijación de CO₂ en los sistemas forestales en los Andes ecuatorianos. Debe tomarse en cuenta que los datos aquí presentados fueron recopilados parcialmente de las investigaciones que tenían el objetivo de estudiar la dinámica del C y por lo tanto existen algunas presunciones e imprecisiones, las que serán notificadas oportunamente.

Productividad de las plantaciones de pino

En 1996 y 1997, EcoPar realizó un estudio sobre el crecimiento de las plantaciones de *Pinus radiata* y *P. patula* y su impacto ecológico en la franja altitudinal en donde se está estableciendo la mayoría de plantaciones de PROFAFOR en la Sierra ecuatoriana (3000 B 3800 msnm).

Se estimó el volumen de madera en una serie de plantaciones de diferentes edades, distribuidas a lo largo de la Sierra. Los estimados de volumen se hicieron siguiendo las técnicas forestales estándar, basados en el DAP y la altura de los árboles y en la medición de todos los árboles presentes en tres a cinco unidades de muestreo de 200 m² en cada plantación (Loján, 1995). Para obtener el volumen de madera, se multiplicó el DAP por la altura y por una constante, siendo ésta un factor de la forma del árbol (Conday e Imaycela, 1997).

Para los objetivos de este artículo, se obtuvo la masa de la madera al multiplicar el volumen estimado de madera por la densidad de la especie

(para este caso el valor más publicado de densidad para la madera de pino es de 0,40 Mg/m³). A este valor de masa de madera se incrementó un valor que representa la cantidad de masa de copa del árbol (ramas y acículas). Debido a que este factor no fue determinado por Condoy e Imaycela (1997), este cálculo se basó en la tabla 8,1 de Nabuurs y Mohren (1993). De esta tabla se obtuvo la distribución de la masa entre el tronco y el dosel, que se relacionó con la edad de la plantación. Esto resultó en una correlación significativa a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Fracción del dosel de la masa total del árbol} = 0,8819 \times (\text{edad de la plantación})^{-0,4439} (R^2=0,22)$$

Los valores totales de masa se multiplicaron por 0,5 (en vista de que se sabe que el 50 % de la masa total de un árbol está compuesta o constituye carbono orgánico), siendo C el contenido de material vivo utilizado en CO2FIX, con el fin de obtener los valores de C. Para obtener un estimado acerca de la cantidad total de C después de una rotación (25 años), los datos anuales de crecimiento de las plantaciones más jóvenes se extrapolaron a 25 años. Se consideró que las plantaciones mayores de 25 años habían alcanzado su valor máximo en volumen.

Los resultados, que se muestran en la Tabla 1, muestran un incremento anual promedio en volumen de 12,6 m³/ha/año para *Pinus radiata* y 6,1 m³/ha/año para *P. patula*. Estos valores son menores que el estimado incremento en volumen de acuerdo con los datos de Nueva Zelanda, donde se esperan aproximadamente 5 MgC/ha/año, para lo cual se requiere un crecimiento en volumen equivalente a 20 m³/ha/año, un valor que se alcanza en solo tres plantaciones. El valor utilizado por Nabuurs y Mohren (1993) para la clase limitada de sitios de plantaciones de *P. radiata* en Nueva Zelanda (3,68 MgC/ha/año) es un método más preciso; varias plantaciones, especialmente de *P. radiata*, tenían una fijación anual de C justo por debajo de 3. PROFAFOR estimó que el total de fijación de C durante una rotación de árboles de pinos (25 años) puede alcanzar aproximadamente 130 Mg C/ha. Este valor se alcanzó en tres de las plantaciones estudiadas. Se estima que la mayoría de plantaciones fija entre 50 y 80 MgC/ha (=2-3 Mg C/ha/año).

Existe una sorprendente variación en datos de productividad entre las diferentes plantaciones. El incremento anual en volumen de *P. radiata*

varía de 4,1 a 27,5 m³/ha/año, mientras que para *P. patula* la variación se encuentra en el rango de 1,2 a 10,2 m³/ha/año. No existe una tendencia clara que justifique la alta variación. Condoy e Imaycela (1997) encontraron una fuerte relación entre la productividad, la temperatura del suelo y la altitud (factores interrelacionados), así como con la latitud. La última se demuestra claramente en la tabla: los mejores datos de productividad para *P. radiata* se encuentran en las provincias del norte, donde prevalecen Andisoles húmedos y con alto contenido de materia orgánica. En cambio, *P. patula* obtuvo su mayor productividad en las provincias centrales de Chimborazo y Cotopaxi, en suelos volcánicos jóvenes un poco más secos. Lo último puede ser a causa de una omisión en muestreo ya que en las provincias del norte sólo se hizo un muestreo en una plantación de *P. patula*. En las provincias del sur (Cañar, Azuay y Loja), en donde prevalecen suelos producidos por meteorización volcánica y existe una variación en precipitación, las dos especies de pino alcanzaron valores bajos de productividad.

Las tendencias altitudinales y latitudinales no son distintas: aún a elevaciones menores en las provincias del norte (por ejemplo en Carchi a 3410 msnm y en Cotopaxi a 3380 msnm) las cifras de productividad pueden ser muy bajas (6,0 a 11,0 m³/ha/año). Esto es probablemente efecto de la falta de un manejo adecuado de los bosques en la mayoría de las plantaciones. En muchos casos no se realizó raleo o poda, lo cual puede influenciar el volumen de madera. Sin embargo, Condoy e Imaycela (1997) no encontraron una tendencia consistente en cuanto a un mayor volumen de madera cuando se realizó el manejo. Se puede concluir que aún cuando se realizó manejo en las plantaciones estudiadas, éste no se ejecutó de la manera adecuada (Jara, 1997).

PROFAFOR tiene el objeto de proporcionar semillas certificadas y asistencia técnica a sus plantaciones de manera que se logre un manejo óptimo. De esta manera se entiende que las plantaciones establecidas con subsidios del programa obtengan los valores más altos de incremento en volumen. No obstante, este razonamiento debe hacerse con cuidado: la plantación industrial de *P. patula* a 3250 msnm en Azuay (La Paz) ha sido utilizada últimamente en el Ecuador como uno de los ejemplos de una plantación con semilla certificada y con buen manejo. No obstante, aquí también el incremento en volumen es bajo y ciertamente no es mayor que en otras plantaciones de *P. patula*, incluso

en la misma provincia. Además, existen muchos ejemplos de iniciativas forestales en el pasado que también han pretendido proporcionar una asistencia técnica apropiada para asegurar la ejecución de un manejo forestal. A la vez, existen muchos ejemplos de terratenientes que se han beneficiado de estos subsidios y que no pusieron en práctica ningún tipo de manejo. Se puede observar que la falta de un manejo forestal no es un problema de falta de asistencia o conocimiento, sino más bien de una falta de potencial financiero o de interés en invertir en una operación costosa de manejo, principalmente en las comunidades indígenas pobres.

Se puede concluir que una cifra realista para el potencial de fijación de CO₂ por la biomasa de plantaciones de pino bien manejadas es de aproximadamente 2,5 a 3 mg de C/ha/año para *P. radiata* y de 1,5 a 2 mg C/ha/año para *P. patula* (datos confiables desde Chimborazo hacia el sur). En algunos casos individuales, es posible obtener cifras de hasta 5 toneladas o incluso más, lo cual parece ser cuestión de la calidad del sitio, posiblemente en combinación con un buen manejo forestal.

Productividad de bosques secundarios naturales

Debido a que no existen plantaciones masivas de especies nativas en los Andes del Ecuador no hay la posibilidad de estudiar volúmenes de madera ni biomasa en plantaciones con especies nativas. En 1998, Fehse *et al.* (1999) estudiaron el incremento de biomasa en bosques secundarios naturales con el fin de estimar el C fijado durante la sucesión natural de diferentes tipos de bosques. Estos datos también proporcionaron cifras de crecimiento de especies nativas en áreas naturales a través de lo cual se puede hacer un estimado sobre la posibilidad de fijación de C en plantaciones de especies nativas.

Se estudiaron cuatro tipos de bosques, tres de los cuales consistieron en una serie de bosques secundarios de una edad bien documentada. Las mediciones se efectuaron en parcelas de diferentes edades con el fin de comparar la biomasa y a partir de ésta calcular la productividad anual. La edad de los bosques se obtuvo mediante encuestas a los habitantes locales. La información sobre las edades se confirmó tres veces con habitantes diferentes y solo se hicieron muestreos en los sitios en donde

concordaban los estimados de edades. Los bosques investigados fueron:

Bosque secundario de *Alnus acuminata* sobre suelos fértiles y húmedos en los valles de Oyacachi (cantón El Chaco, Napo, Reserva Ecológica Cayambe-Coca, a 3200 msnm). Las parcelas estudiadas se ubicaron en remanentes de bosque regenerados a partir de deslizamientos de tierra, con edades de 8, 20, 30 y 45 años, Los cuadrantes consistieron de formaciones boscosas puras de aliso; únicamente en los dos bosques más viejos había especies secundarias, especialmente de los géneros *Piper*, *Miconia*, *Solanum*, *Guarea*, *Weinmannia* y *Buddleja*.

Bosque secundario de *Polylepis incana* sobre Andisoles húmedos a una gran altitud en el área de Papallacta (parroquia Pifo, cantón Quito, Pichincha, aproximadamente a 3600 msnm). Las parcelas estudiadas se localizaron en áreas regeneradas que habían sido sujetas a quema hace 6, 20 y 35 años. Se establecieron tres parcelas en un bosque maduro. Todas las parcelas se instalaron en rodales puros de *Polylepis*.

Bosque Andino mixto sobre suelos tipo Vertisol, pobres y húmedos, ubicado cerca de la Parroquia Santiago (cantón Loja, Loja, entre los 2600-2800 msnm). Bravo y Torres (1987) estudiaron el crecimiento volumétrico de madera en dos etapas sucesionales (con edades de 13 y 35 años) en 1986. Éstas habían sido regeneradas después del abandono de un pastizal. Fehse *et al.* (1999) repitieron las mediciones en la última edad en 1998 y además hicieron estudios en una etapa sucesional de 6 años de edad y en bosque maduro. De esta manera se obtuvieron datos para bosques secundarios de 6 (Fehse *et al.*, 1999), 13, 35 (Bravo y Torres, 1987) y 47 años, y además para un bosque maduro (Fehse *et al.*, 1999). Los remanentes de bosque maduro contienen gran diversidad de especies, las principales pertenecen a los siguientes géneros: *Ocotea*, *Persea*, *Weinmannia*, *Myrcianthes*, *Laplacea* y *Clethra* y para los bosques sucesionales *Miconia*, *Piper*, *Hedyosmum* y especialmente *Cyathea caracasana*. En este bosque, durante los primeros 35 años hubo una dominancia de *Chusquea scandens* (bambú) que inhibió fuertemente la sucesión del bosque. Sólo en el bosque de 47 años y en el bosque maduro el bambú tenía poca cobertura.

Bosque Andino mixto en Andisoles húmedos en la Reserva Forestal Maquipucuna (cantón Calacalí, Pichincha, aproximadamente a 2800 msnm). En este remanente de bosque, en 1985 un área fue totalmente talada y dejada para sucesión natural; el volumen de madera de la regeneración se midió en 1996, 1997 y 1998 por técnicos de la Fundación Maquipucuna. Fehse et al. (1999) midieron el mismo bosque sucesional y el bosque maduro que bordea al bosque secundario. Géneros representativos para el bosque maduro son *Croton*, *Weinmannia*, *Clusia*, *Ocotea*, *Erythrina*, *Tournefortia*, *Prestoea* y en los bosques sucesionales se encuentran en mayor frecuencia *Brunellia* y *Tournefortia*.

En los remanentes de bosque de diferentes edades de los cuatro tipos, se midieron dos o tres unidades de muestreo de 100 B 1000 m². Dentro de la unidad de muestreo se midieron el DAP y la altura del fuste de cada árbol individualmente. Se determinó el factor de forma que es la relación entre el volumen real del fuste y el volumen del fuste considerado como un cilindro verdadero, un factor que corrige la diferencia de estos dos volúmenes. Para determinar el volumen real del fuste se seleccionaron dos o tres árboles que fueron divididos en secciones (cada una de un metro) y medidos por completo.

Con estos datos se calculó el volumen de todos los árboles y, por lo tanto, el volumen por unidad de superficie, aplicando la fórmula de Smalian (FAO, 1995; Loján, 1995). Con el fin de relacionar al volumen de madera con valores de biomasa, se tomaron muestras de madera de todas las especies para determinar sus densidades. Esto se realizó para la madera del fuste y de las ramas por separado. En los bosques monoespecíficos (*Alnus* y *Polylepis*) se tomaron muestras de dos a tres árboles en cada unidad de muestreo, obteniendo así una réplica de madera del fuste y de las ramas para cada unidad de muestreo, y un total de seis - nueve para cada edad. Debido a que se encontraron más de 30 especies en los bosques mixtos de Santiago y Maquipucuna, el hacer muestreos de todas las especies de una edad resultaba un esfuerzo demasiado grande así como un daño elevado. Por consiguiente, todas las especies individuales se clasificaron en 4-6 grupos de especies, las que, de acuerdo con su crecimiento, se estimó que tendrían densidades de madera básicamente similares. De estos grupos, que consistieron de dos a ocho especies, se seleccionó un número determinado de individuos para hacer muestreos; así, el promedio de

densidades de madera de estas tres especies se aplicó en las otras especies para las que no se hicieron muestreos pertenecientes al mismo grupo. El muestreo se hizo de la manera menos dañina posible, es decir, utilizando técnicas adecuadas para subir a los árboles y haciendo cortes sólo de ramas individuales. Para estimar la cantidad de biomasa existente en la copa, se pesaron individualmente las ramas de segundo orden y las hojas de la rama en la que se realizó el muestreo, para de esta manera estimar el porcentaje de la copa en la que se había hecho el muestreo a través de la rama individual. El estimado de la masa de la copa sólo se pudo obtener para los árboles donde se hizo el muestreo, por lo cual se estableció una relación entre el volumen del fuste y el peso de la corona, la misma que se aplicó a los demás árboles en la unidad de muestreo, para los cuales solo se estimó el volumen del fuste.

Fijación de carbono

Los resultados de las estimaciones de la biomasa de los bosques secundarios estudiados demuestran que el bosque monoespecífico de *Alnus* tuvo la productividad más alta y, por lo tanto, la mayor fijación de C (Tabla 2): una cantidad promedio de 3 MgC/ ha/año, cantidad que es similar a las mejores plantaciones de *P. radiata*, en términos de productividad. Sin embargo, el bosque de aliso estudiado puede ser un tanto atípico dado su crecimiento bajo condiciones muy benéficas: una altitud no extrema, humedad alta y suelos jóvenes recientemente depositados en los deslizamientos. Se puede argumentar que estas no son condiciones que se encuentran comúnmente; en el valle interandino, la mayor parte de las zonas en esa altitud (<3000 msnm) está ocupada por asentamientos humanos y por una agricultura intensiva.

El bosque de aliso tuvo una densidad arbórea muy alta en el primer período: hasta 9000 árboles dieron lugar a una productividad increíblemente alta durante los primeros ocho años. Después de este tiempo, la productividad disminuyó un poco, así como el número de individuos debido probablemente a la competencia por luz. Después de 30 años, la densidad de árboles se incrementó nuevamente a causa de la invasión de otras especies. Los bosques de 30 y 45 años son de un crecimiento alto (promedio de 17,5 m), y constituyen rodales casi puros

de aliso, muy apreciados por los habitantes locales por su fuste recto y su madera fácilmente trabajable.

Los bosques de *Polylepis* en Pifo y el bosque mixto de Maquipucuna alcanzaron cifras de fijación de C de aproximadamente 2 MgC/ha/año que se compara con el promedio menor en las plantaciones de *P. radiata*. Es sorprendente que un bosque de crecimiento bajo que se encuentra a una alta elevación tenga una productividad similar a la del bosque mixto de Maquipucuna de mayor altura (hasta 25 m), que se encuentra a una elevación menor (2800). El volumen total de madera y la biomasa del *Polylepis* maduro es aún más alto que del bosque mixto (aunque esta cifra puede estar desviada debido a la gran densidad presente en un cuadrante). La razón de esto es por la existencia de un alto número de individuos por unidad de superficie, si mencionamos que cada individuo de *Polylepis* consiste de 2 B 7 fustes, lo cual sumaría entre 5000 B 10000 fustes/ha.

El bosque andino mixto de Santiago tuvo la productividad y los valores de fijación de C más bajos (aproximadamente 1 MgC/ha/año). Esto puede explicarse debido a la presencia de suelos poco fértiles en la región sureña, lo cual dio lugar a valores bajos también para las plantaciones de pino. Otra razón puede ser la dominancia del bambú (*Chusquea scandens*), durante 30 años de sucesión, lo cual inhibió el desarrollo del bosque. Sin embargo, también el bosque maduro sin bambú tuvo cifras bajas de volumen de madera a pesar de tener una densidad de árboles similar a los otros bosques. Los datos demuestran que a los 47 años, la biomasa es similar a la del bosque maduro.

Dinámica de carbono en el suelo de los altos Andes

Los suelos de los altos Andes en el Ecuador, especialmente en la región norte, están formados por cenizas volcánicas jóvenes bajo circunstancias frescas y húmedas. Como resultado, la descomposición de estos suelos, clasificados como Andisoles, es baja. La formación de complejos organo-metálicos inhibe aún más la descomposición de la materia orgánica. De esta manera, estos suelos tienen un alto contenido de MO y por lo tanto una alta capacidad de retención de agua, lo cual

hace que los ecosistemas andinos sean muy importantes en la regulación de la hidrología regional.

Cuando los Andisoles se secan, debido, por ejemplo, a la preparación de tierras o a la remoción de la capa vegetal protectora, la descomposición se acelera debido a la ruptura de los complejos organo-metálicos. Se llevan a cabo procesos de oxidación y disminuye el contenido de materia orgánica, así como la capacidad de retención de agua. Se ha especulado que la incorporación de plantaciones de pino de crecimiento rápido pueden dar lugar a condiciones más secas en el suelo debido a la mayor utilización de agua y a la desaparición de la vegetación de sotobosque. Hofstede (1997) pudo confirmar en parte esta hipótesis en un estudio realizado en las plantaciones de pino existentes en el Ecuador. El efecto de las plantaciones de pino sobre el suelo depende en gran parte de las condiciones iniciales del área (tipo de suelo, vegetación original, uso de suelo, manejo de bosques, clima, etc.). No obstante, en Andisoles jóvenes altamente orgánicos de la húmeda Sierra norte, existe una tendencia a encontrar un menor contenido de materia orgánica y un menor contenido de humedad por debajo de las plantaciones de pino en comparación a los pastizales naturales del páramo.

En 1997, EcoPar realizó un estudio sobre el impacto de las plantaciones de pino sobre el suelo y el crecimiento de la vegetación (Hofstede, 1997). En este estudio, varias plantaciones de pino (algunas de las cuales fueron las mismas que las estudiadas por Condoy e Imaycela [1997]) se compararon con los ecosistemas naturales que bordean las plantaciones estudiadas. En la mayoría de casos, el ecosistema natural fue un pastizal extensivamente pastoreado, lo cual puede considerarse como el uso anterior al de las plantaciones de pino (se presenta además, un bosque natural que bordea al páramo y a la plantación). En este estudio, se describió el perfil del suelo y se tomaron muestras del suelo vegetal, en las cuales se analizaron el contenido de materia orgánica y la densidad total, entre otras características. Para este informe, se hizo además un estimado del contenido de C utilizando un cálculo conservador debido al poco conocimiento que se tiene acerca de la dinámica de C en estos ecosistemas. El cálculo consideró únicamente la cantidad de C en el horizonte Ah, hasta los 30 cm. En algunos casos, como en la provincia del Carchi, el Ah tenía una profundidad mayor a los

120 cm; si esto se incluyera en el contenido total de C en el suelo, la cifra sería tan alta como 2.000 MgC/ha. Sin embargo, se concluyó que la comparación del contenido total de C en los ecosistemas naturales con las plantaciones de pino basada en una profundidad de suelo de más de 30 cm era irreal dado que es muy improbable que los árboles de pino tengan una influencia sobre capas más profundas de suelo. De la misma manera, se decidió no considerar al material orgánico en el resto del horizonte A, asumiendo que la materia orgánica de los horizontes más profundos es más estable que en Ah. Se aplicó un contenido del 56% de C para la materia orgánica del suelo. Se asumió una densidad total de 100 kg/ m³, una relación de peso fresco/seco de 2 y un contenido de 50% de C para la capa de hojarasca (horizonte LFM).

El horizonte Ah de la Sierra norte y de la Sierra sur contiene cantidades sobre las 140 toneladas de C/ha debajo del pastizal del páramo y de las plantaciones de pino (Tabla 3). Esta cantidad es mayor al C total de la superficie y del C en una plantación de pino después de una rotación, lo cual se deriva de los datos de Condoy e Imaycela (1997), quienes estuvieron en las mismas localidades donde se estudiaron los suelos (Tabla 1). El contenido de C en el suelo también fue más alto que el contenido de C de la superficie de los bosques naturales maduros (Tabla 2), aunque éstos se encontraban en otras localidades. Los suelos relativamente pobres en MO de las provincias centrales contenían entre 50 y 100 MgC/ha, siendo esto similar a la cantidad que puede ser fijada en la superficie por una plantación.

La diferencia entre el contenido de C en las plantaciones y en los ecosistemas naturales circundantes es positiva en todos los casos menos uno en las zonas norte y sur, lo cual implica que hay varias toneladas más de C en los suelos de los ecosistemas naturales que en los de la plantación. Esta pérdida en el suelo en la zona norte es compensada por la fijación superficial de C en la plantación de pino. En las provincias sureñas de Azuay y Loja, donde el crecimiento de pino es limitado, la pérdida de C del suelo en la plantación de pino no fue compensada por la fijación de C en la plantación. En un caso en El Ángel, provincia norteña del Carchi, se encontró una pérdida en el contenido de C del suelo, pero esto era solo marginal comparado al total de C presente en el suelo. En este caso, el cálculo para hacer el estimado fue de gran influencia. El contenido de MO de la muestra de

suelo fue 5% menor debajo de la plantación de pino que en la del pastizal de páramo. Si no se aplicaba el límite arbitrario de 30 cm y se consideraba el total del horizonte Ah, entonces la pérdida de C sería 131 Mg C/ha. Otro ejemplo en Carchi (Mira) mostró un mayor contenido de C en la plantación de pino que en el páramo, pero hay que tomar en cuenta que el uso anterior del suelo fue para agricultura (campo de papas abandonado), lo cual puede ser de gran influencia. En un ejemplo en la provincia sureña del Azuay, la comparación entre el pastizal de páramo y la plantación de pino fue realizada para un área en donde probablemente antes hubo un cultivo de papas, el cual fue recuperado después por pastizales de páramo, parte de lo cual está actualmente cubierto por la plantación de pino. Esto podría explicar el contenido de MO en el suelo, el mismo que es relativamente bajo en comparación con otros suelos de la zona sur. Aquí, la fijación de C por la plantación compensó la pérdida en el suelo.

En Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo, donde el contenido de MO del suelo es bajo, el contenido total de C también fue menor. Aquí hubo una ligera pérdida del contenido de C debajo de las plantaciones de pino en un caso mientras hubo una ganancia de C del suelo en otros dos. Una de las mayores ganancias se encontró en un suelo donde probablemente hubo un cultivo de papa antes de la recuperación por el páramo y la plantación de pino. Un ejemplo de una comparación directa es el bosque natural (El Boliche). Aquí, la plantación de pino tuvo un contenido de C ligeramente mayor por debajo del suelo que en el páramo natural, pero no tuvo tanto como en el suelo del bosque natural.

A partir de las ocho comparaciones del contenido de C en el suelo entre las plantaciones de pino y el pastizal natural de páramo de diferentes regiones en los Andes, se puede concluir que los suelos de la mayoría de los pastizales naturales del páramo ubicados en suelos húmedos con alto contenido orgánico en las zonas norte y sur muestran una pérdida de contenido de C en el suelo al convertir el páramo en una plantación de pino, lo cual, especialmente en los suelos fértiles de la zona norte, puede compensarse por la fijación superficial de la plantación. En los lugares en donde hay un bajo contenido de MO, como en la zona central y en suelos disturbados debido a cultivos, las plantaciones de pino tienen un efecto neutro e incluso positivo sobre el contenido de C.

Aún no es posible hacer estimados acerca de la dinámica del contenido de C subterráneo de los bosques naturales. Los bosques secundarios estudiados por Fehse *et al.* (1999) mostraron una tendencia a un incremento de C del suelo durante la regeneración del bosque, pero no se pudo calcular el contenido debido a la falta de datos sobre la profundidad del suelo.

Existen muchas dudas. Primero, existe mucho más C en el suelo de lo que demuestran los estimados. Existe carbono en otros horizontes, los cuales no fueron considerados en este cálculo (horizonte A, cantidad de C a profundidad mayor a 30 cm, paleosuelos). El C almacenado en otra vegetación superficial, además de los árboles, tampoco fue considerado. El pastizal del páramo puede tener entre 20 y 40 Mg de peso seco/ha, lo cual representa 10-20 Mg C/ha. En el caso de no existir una vegetación de sotobosque en una plantación de pino (lo cual sucede en varios rodales) debe considerarse una pérdida adicional. Por otro lado, muchas de las plantaciones estudiadas no fueron óptimas en términos de crecimiento y manejo, lo cual podría tener diferentes implicaciones con relación al contenido de C encontrado en este estudio. Finalmente, por lo general es difícil hacer un estimado confiable del contenido de C en el suelo debido al tamaño de la muestra y a errores de análisis. Estos errores probablemente son mayores cuando el contenido de MO es alto, como en la mayoría de casos en este estudio.

Implicaciones forestales

A pesar de la imprecisión en el cálculo del contenido de C, especialmente el subterráneo, (que se basa en solo ocho muestras de comparaciones directas), los bosques naturales estudiados se asemejan a la regeneración natural de diferentes tipos de especies nativas. Las cifras de productividad son buenas indicadores de la cantidad de C que puede ser fijada si se protege de disturbios un bosque secundario en etapas tempranas. Algunos tipos de bosques secundarios (especialmente de alisos) tienen un potencial de fijación de C que cumple con los estimados de FACE para plantaciones forestales. Existen muchas diferencias entre el bosque secundario natural y las plantaciones con especies nativas. Todas las parcelas de bosque secundario se encontraban cerca de una fuente de semillas, con áreas

extensas de bosque andino maduro. La mayoría de áreas en las cuales PROFAFOR desarrolla sus plantaciones forestales están más degradadas que las áreas en las cuales crecen los bosques secundarios estudiados y en la mayoría de casos no existe una fuente de semillas viables cercana. Además, las densidades de los bosques secundarios más jóvenes estudiados fueron, en los casos de Oyacachi y Pifo, mucho más altos que lo acostumbrado para las plantaciones con nativas. Es posible que la relativamente alta productividad de los bosques secundarios naturales fue en parte a causa de esta elevada densidad inicial. Por ejemplo, la densidad de 4000 B 5000 árboles por hectárea encontrada en el bosque joven de *Polylepis* puede traducirse en una distancia de siembra de 1,5 m, mientras que la densidad de 9000 árboles de aliso implica una distancia de siembra de 1 m. Estas distancias no se aplican al momento en el país e indican costos altos por plantación. Es difícil estimar el potencial de fijación de C en plantaciones de especies nativas con distancias de siembra de 2 ó 3 m, a pesar de que los bosques mixtos de Maquipucuna y Santiago puedan dar un indicativo al respecto.

Necesidades de investigación

Está claro que muchos aspectos de la dinámica del carbono en los ecosistemas de altura de los Andes son variables, inciertos y muy poco estudiados. Los datos presentados en este artículo son confiables en lo que se refiere a la biomasa aérea únicamente de las plantaciones y de los bosques estudiados. Es necesario recolectar más datos sobre plantaciones maduras y con un manejo adecuado con el fin de estudiar la máxima capacidad de fijación de C de los árboles de pino.

Los datos sobre los bosques secundarios proporcionan una buena idea del potencial de fijación de C para los cuatro tipos de bosques. Sería deseable obtener más ejemplos; sin embargo, existen tantos diferentes tipos de bosques secundarios bajo diferentes circunstancias (tipo de disturbio, condiciones ambientales, distancia a la fuente de semillas, etc.) que resultará una tarea bastante difícil establecer una cifra confiable para la capacidad de fijación de C en un bosque de regeneración natural.

Posiblemente, la mayor duda y a la vez el compartimento más importante en cuanto a la dinámica de C en estos ecosistemas sea el contenido de materia orgánica en el suelo. Primero, se debe establecer cuál fracción de MO es estable y cuál es lábil, y cómo será esto afectado por una plantación forestal. Esto debe diferenciarse por región, altitud, uso anterior y manejo del suelo. Por ejemplo, los datos presentados aquí compararon las plantaciones de pino con los pastizales naturales de los páramos, lo cual da la impresión de que existe una tendencia hacia un menor contenido de C debajo de las plantaciones con especies exóticas. Sin embargo, no hay datos disponibles sobre plantaciones con especies nativas. Podría ser, por ejemplo, que una plantación de aliso de crecimiento rápido tenga el mismo efecto sobre la MO del suelo como la de una plantación de pino. Además, no hay datos disponibles acerca de plantaciones de segunda rotación ni acerca de plantaciones con un manejo integrado. Las investigaciones sobre la dinámica de C en los suelos de ecosistemas naturales y de plantaciones, tanto comparativos como de monitoreo, son de la más alta prioridad.

Literatura citada

- BRAVO L., J.R. & TORRES I., R.L. 1987. **Estudio comparativo, florístico, estructural y dasométrico de tres bosques en diferente etapa sucesional de la parroquia Santiago, cantón Loja.** Universidad Nacional de Loja. Loja.
- CONDOY, F. & IMAYCELA, V. 1997. **Producción de plantaciones de *Pinus radiata* y *P. patula* en la Sierra de Ecuador.** Versión preliminar de tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Loja.
- FAO. 1995. **Manual del extensionista forestal andino.** Tomo II. FAO-Holanda, DFPA. Quito.
- FEHSE, J., AGUIRRE, N., PALADINES, C., HOFSTEDE, R. & SEVINK, J. 1999. **La productividad de cuatro bosques secundarios en la Sierra del Ecuador.** Proyecto EcoPar - Universidad de Amsterdam. 41 pp.
- HOFSTEDE, R. 1997. **El impacto ambiental de plantaciones de *Pinus* en la sierra del Ecuador. Resultados de una investigación comparativa.** Proyecto EcoPar - Universidad de Amsterdam. Amsterdam.

- JARA, L.F. 1997. **Impacto de la forestación en la zona Andina del Ecuador. Memoria del seminario/taller.** 23 - 25 de julio de 1997, Ibarra. Proyecto EcoPar. Quito.
- LOJÁN I., L. 1995. **Dasometría I.** Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Loja. Loja
- NABUURS, G.J. & MOHREN, G.M.J. 1993. *Carbon fixation through forestation activities.* Institute for Forestry and Nature Research; IBN Research Report: 93, 4.
- TRINES, E. & DAM, P. 1994. **Growing site classification research in the Andes region of Ecuador.** FACE Foundation. Arnhem.
- VAN WINKEL, I. 1995. **El desafío de las especies nativas. Las posibilidades de algunas especies nativas para plantaciones forestales en la Sierra Andina del Ecuador.** FACE/ PROFAFOR. Breda.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En esta sección transcribimos el diálogo que se mantuvo después de las exposiciones reseñadas en las secciones anteriores. Hemos tratado de ser lo más fieles posible a la dinámica que se presentó en este interesante proceso de discusión y solamente hemos realizado una edición para que el texto fluya mejor. Sin embargo, cualquier cambio involuntario en el sentido original de las intervenciones es asumido plenamente por los editores. Al final presentamos las conclusiones generales del evento.

Discusión

JOY WOOLFSON

) En Costa Rica es el valor de conservación y fijación de carbono igual?

ONNO HEERMA VAN VOSS

En cualquier caso hay algo adicional, no importa si es conservación o fijación con tal de que haya ganancia.

LUIS FERNANDO JARA

En Costa Rica la política es que para la conservación de bosque natural hay un impuesto sobre la gasolina del 2%. Hay incentivos: se pagan 20 dólares por hectárea por año por bosque conservado. Hay 50.000 hectáreas conservadas, lo que es muy poco; se empezó con el comercio de carbono en la bolsa de Chicago.

SUSAN POATS

Hablamos de un sistema de compra; si un país no ha usado su cupo o si no posee restricciones, puede vender, es decir, ¿vender la salud natural? Quien compra difiere la necesidad de conservación, lo que implica un problema moral y ético. Es un dilema: uno puede diferir o compensar acciones, pero en el sitio donde se produce CO₂ la gente sufre contaminación.

PASCAL PODWOJEWSKI

El CO₂ no tiene efecto directo, no es contaminante; hay otros productos que son mucho más tóxicos, como el azufre.

SUSAN POATS

De todas maneras hay efectos locales porque el CO₂ es parte de una serie de contaminantes.

PASCAL PODWOJEWSKI

El CO₂ no se puede controlar, mientras que otros contaminantes sí.

LUIS FERNANDO JARA

En principio, los países industrializados tienen el compromiso de no seguir contaminando y lo pueden hacer a través de compra de cupos en otros países.

FRANCISCO CUESTA

Es una cuestión política pues no se reduce la capacidad productiva local. Yo sí veo que hay una cuestión moral implícita.

LUIS FERNANDO JARA

Hay que tomar en cuenta que hay países que no firmaron el protocolo de Kioto.

SUSANA ALBÁN

Habría que ver si es una compensación y quiénes tomaron la iniciativa en Kioto.)Cuales son los compromisos de reducción o compensación?

LUIS FERNANDO JARA

El compromiso es reducir la emisión: mejores carros, menos contaminantes y, además, pueden comprar.

SUSAN POATS

)Cuál es el análisis de costos para las industrias?)Es más barato reducir o comprar?

CHARLES CRISSMAN

Es un intento para crear un mercado de un bien público no mercadeable. Es mejor que nada, aunque no es ético.

PASCAL PODWOJEWSKI

Son cuestiones macroeconómicas: el cliente final es el que hace la diferencia; ellos no quieren pagar más, el proceso es a largo plazo.

GALO MEDINA

)Si yo tengo una zona de páramo en Carchi, PROFAFOR financiaría el mantener mi páramo intocado o la forestación con especies nativas?

LUIS FERNANDO JARA

Estamos estudiando esa alternativa; hubo un intento de compensación con dinero, pero se lo descartó debido a que esto debería estar a cargo del Estado y los usuarios. No debería pagarse la conservación por la conservación, sino por el aumento de productividad.

JOY WOOLFSON

)Se utilizan especies de árboles para obtener resinas u otros productos?

LUIS FERNANDO JARA

En principio no porque no son sostenibles. Son plantaciones clonales y esto no entra en la misión de PROFAFOR.

JOY WOOLFSON

)Ustedes hacen estudios de impactos ambientales?

LUIS FERNANDO JARA

Esto esta a cargo de EcoPar; ellos tienen algunos estudios generales, pero no se han hecho estudios en cada caso porque es demasiado caro. De esto se desprende una tendencia general de no plantar pinos.

MARCELINO PITA

En las plantaciones de PROFAFOR no se permiten sistemas agrosilvopastoriles ni la utilización de leña; sin embargo, en el campo el INEFAN y las comunidades ven en ellos alternativas para no seguir subiendo al páramo.)Cómo entonces puede ser su propuesta compatible con esta realidad?

LUIS FERNANDO JARA

Lo que tratamos es de establecer las plantaciones en suelos con limitaciones para la agricultura, es decir, dar uso a tierras ya

degradadas. Por principio no podemos financiar plantaciones energéticas.

JAKOB GEARHEARD

)Cuál es el beneficio económico para las comunidades de sembrar *Polylepis* si es que no pueden ser utilizados para leña?

LUIS FERNANDO JARA

Hay que ver el asunto más integralmente: estamos utilizando suelos con aptitud forestal degradados sin bosque natural. El beneficio va más allá que solamente la madera pues se trata de conservar biodiversidad y agua. En la mayoría de nuestros contratos la madera se utiliza para postes y aserríos; sin embargo, no descartamos la posibilidad de que una pequeña parte de la biomasa sea utilizada con fines energéticos.

XIOMARA IZURIETA

Pensando integralmente, la iniciativa de FACE es interesante, pero hay que plantear el problema del consumo de energía: el petróleo se acabará.)Hasta qué punto es coherente establecer estándares sobre el uso de leña si es que después de poco no habrá otra fuente de energía? La posibilidad de que la gente pobre acceda a otras fuentes de energía es irreal.

PASCAL PODWOJEWSKI

Hay otro tipo de contradicción: un mal manejo del suelo provoca más problemas. En Carchi se cortan árboles en pendientes de 100%. Primero hay que proteger lo que podemos proteger.

ONNO HEERMA VAN VOSS

Los proyectos de PROFAFOR tratan de que exista una fijación adicional. Con respecto a los combustibles, esto es algo más técnico: hay combustible fósil por 100 años más.

FAUSTO MALDONADO

No es solo cuestión de que se acaban los combustibles si no de que el costo será cada vez mayor.)De que modo se están estableciendo políticas al respecto en el Ecuador?

SERGIO LASSO

No sé si existen políticas al respecto.

GALO MEDINA

No existen estas políticas.

FAUSTO MALDONADO

El GTP debería ser el espacio donde se discutan temas como éstos.

LUIS FERNANDO JARA

Volviendo a la pregunta de Xiomara, es importante tener en cuenta el concepto de adicionalidad: al capturar carbono queremos mitigar el efecto invernadero. Existen otras instituciones con otros objetivos que apoyan otras iniciativas.

XIMENA BUITRÓN

Luis Fernando ha dicho que existen tendencias a plantar menos pino.)Qué acciones específicas e incentivos económicos para plantar especies nativas existen?

LUIS FERNANDO JARA

Hay un par de acciones concretas: convenios de investigación con EcoPar e INEFAN sobre manejo y mejoramiento de especies nativas. Ya hay resultados: 2.000 a 3.000 ha con *Polylepis*, quishuar, sachacapulí y aliso. En PROFAFOR queremos un cambio drástico, por esto nos vamos a la costa, donde trabajaremos con especies nativas y teca, una madera fina de gran atractivo económico.

JOY WOOLFSON

)Hay investigación en comercialización y uso de especies nativas?

LUIS FERNANDO JARA

Aún no, primero que crezcan y luego habrá que ver cómo está la situación del mercado en el futuro.

JOY WOOLFSON

Nikolay no dio datos sobre humedad; en Loja debe ser más seco.

NIKOLAY AGUIRRE

Los bosque de Loja son bosques montanos muy húmedos en la parte oriental; la diferencia en biomasa se debe más bien al tipo de uso anterior.

JOY WOOLFSON

Pero siempre hay que tener en cuenta que una parte importante de la ecología es el clima.

ROBERT HOFSTEDE

La inquietud de la comercialización de especies nativas surgió ya anteriormente y deberíamos incluirla en nuestra agenda de trabajo. La preocupación del forestador es cómo planto aquí y ahora, mientras que para el campesino la preocupación es qué hacer después; podemos combinar estas ideas.

JAKOB GEARHEARD

PROFAFOR financia directamente el 80% del costo total; después esas personas no pueden vender el CO₂ fijado en el mercado. Entonces se debe buscar otros usos económicos sustentables: en el caso del yagual se puede pensar en turismo.

LUIS FERNANDO JARA

En los contratos, FACE tiene exclusividad sobre los derechos de carbono fijado. A corto plazo, si la persona decide no seguir, tiene que entregar el 30% de las ventas de madera a PROFAFOR. En cuanto al uso, mejor no planificar debido a las contingencias del mercado.

ROBERT HOFSTEDE

Un propietario de terreno quiere saber cuáles son sus beneficios al plantar especies nativas. Hay que crear la expectativa y plantear incentivos reales.

XIMENA BUITRÓN

Hay que pensar en otros usos alternativos (como el medicinal) y fomentar estudios paralelos que complementen lo silvicultural.

JOY WOOLFSON

PROFAFOR cubre los costos de los tres primeros años, pero luego ¿cómo se cubren los costos a largo plazo?

LUIS FERNANDO JARA

El 80 % del costo total está en los tres primeros años y a partir del cuarto los costos son mínimos. Con las comunidades se trata de hacer la reforestación paulatina para que haya una fuente de dinero permanente.

JOY WOOLFSON

Pero para un campesino pobre, de todas maneras el 20% es mucho...

LUIS FERNANDO JARA

Con las comunidades se hacen trabajos paulatinos que generan empleo; recién a los cinco años se puede realizar el raleo que genera ingresos.

VERÓNICA VIDAL

Introduzco la idea de que el aprovechamiento final es importante pero hay otros usos paralelos.

SUSAN POATS

En cuanto a viveros, ¿se financian actividades para especies nativas?

LUIS FERNANDO JARA

Sí, claro.

SUSAN POATS

Conozco el caso en que una comunidad tuvo éxito en el manejo de viveros de pino; esto es compatible con comunidades de páramo ¿Puede haber compensación con árboles y no con áreas?

LUIS FERNANDO JARA

Existe esa posibilidad. Pero ahora quisiera referirme a cómo mejorar la plantación de pino sin dañar el suelo. Las cifras de Robert Hofstede son interesantes pero sesgadas pues no podemos comparar dos ecosistemas como el bosque y las plantaciones: los pinos fueron establecidos en terrenos limpios y compactados. De hecho, el pino empezó mal y es mal manejado.

ROBERT HOFSTEDE

Los datos son comparables, pues los suelos con o sin pinos son iguales.

LUIS FERNANDO JARA

Entonces quiere decir que el páramo no se ha recuperado.

ROBERT HOFSTEDE

En El Ángel, cada cinco a diez años se quema el páramo y hay vacas. Hace 20 años sembraron pinos y lo de afuera sigue igual. No puede haber recuperación.

LUIS FERNANDO JARA

El suelo con árboles tiene más CO₂ por los árboles...

PASCAL PODWOJEWSKI

A largo plazo no es así.

LUIS FERNANDO JARA

Las plantaciones, si hubieran sido bien manejadas, habrían dado mayor resultado en descomposición de acículas. Hay que mejorar el manejo. Pero a esas altitudes de todas maneras la descomposición es muy baja. Otra forma es usar material genético bueno. En el Ecuador generalmente éste es malo o muy malo por barato. También hay otras coníferas mejores que *Pinus radiata*.

GALO MEDINA

)Quién importa estas semillas malas?

LUIS FERNANDO JARA

Todos.

XIMENA BUITRÓN

Creo que sí se han talado varios bosques nativos para plantar especies exóticas. Nuestra legislación no solo que no ayuda si no que favorece la plantación de especies exóticas. No hay seguimiento ni fiscalización.

LUIS FERNANDO JARA

Nosotros no financiamos cambios de uso.

ROBERT HOFSTEDE

Ximena, ¿tienes ejemplos específicos sobre tala de bosques de especies nativas para plantación de exóticas?

XIMENA BUITRÓN

No dispongo de ellos en este momento.

FRANCISCO CUESTA

La función de la DINICE es hacer investigación, pero no funciona. ¿Cómo ve Sergio Lasso la actividad del INEFAN con respecto a este particular?

SERGIO LASSO

Ahora se van a hacer investigaciones por medio de convenios con la sociedad civil pues la DINICE no tiene la capacidad de hacer investigación; el Ministerio de Medio Ambiente coordinará estas acciones.

XIOMARA IZURIETA

Existe una vinculación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). ¿No hay la posibilidad de que estos proyectos financien el manejo de áreas protegidas que contengan fuentes semilleras?

SERGIO LASSO

Una de las razones por las que se creó el SNAP es que constituya un banco genético; solo es cuestión de hallar proyectos específicos como el de Fundación Natura en Pasochoa. Esto agrega mucho valor a la conservación del sitio.

LUIS FERNANDO JARA

No conozco bien el SNAP del Ecuador; debe haber sitios muy buenos con este propósito. Sin embargo, logísticamente pueden ser muy remotos. En otros países ha funcionado a través de compra de semillas de bosquetes (conservar por conservar no funciona). El dueño del bosque no saca nada si solo saca semillas; entonces, lo mejor es pagarle para que las conserve y las procese. Otra forma es comprar árboles, para lo cual tenemos fondos.

SERGIO LASSO

La logística no es necesariamente complicada en las áreas protegidas del país.

Conclusiones

A continuación tratamos de resumir las conclusiones a las que se llegó.

Es obvio que el tema es muy complejo e incluye aspectos conflictivos como el de especies nativas vs. exóticas, la relación entre países pobres y ricos, la necesidad de establecer políticas *ad hoc*, las tendencias energéticas futuras, el manejo adecuado de los bosques, el papel del Estado y las ONGs, etc. Además, el tema trasciende la relación con el páramo y de hecho se refiere a cualquier ecosistema.

Por esto, tal vez más que conclusiones, lo que ha generado esta reunión son ideas y recomendaciones que deberán ir madurando. Han aparecido interrogantes y dudas de variada índole que servirán para discusiones futuras y que se pueden resumir así:

Parece evidente que el páramo es un buen sitio para capturar carbono: este ecosistema, si se considera el suelo, puede almacenar más carbono que un bosque húmedo tropical. Pero surgen preguntas claves:)cómo hacerlo de la manera más eficiente?,)dónde hacerlo específicamente? y)con quién hacerlo para que resulte un proceso equitativo?

Estas interrogantes deberán seguir un proceso, ojalá no demasiado largo, de discusión y maduración. Lo que es evidente de antemano es que se debe evitar que estas iniciativas afecten de manera negativa los múltiples beneficios ecológicos, humanos y económicos del páramo ni la realidad social, cultural y ambiental de este ecosistema. Dentro de este contexto, la participación activa y real de las comunidades que viven y trabajan en los páramos es una condición *sine qua non*.

Otro punto importante es el relacionado con la promoción en el mercado de especies nativas. Todo el mundo parece estar de acuerdo en que se debe fomentar el uso de ellas, pero habrá que generar mayor

información para que puedan competir con las bien conocidas especies exóticas.

También habrá que considerar las consecuencias a largo plazo del uso de las especies exóticas sobre el suelo paramero. Los estudios llevados a cabo por EcoPar y otras instituciones afines seguramente ayudan y seguirán ayudando a llenar este vacío.

Es preocupante que los instrumentos legales vigentes no incluyan regulaciones con respecto a un tema que es actualmente de importancia planetaria. A través de esta reunión, este grupo de trabajo hace un llamado al Ministerio de Medio Ambiente para que el tema de la fijación de carbono atmosférico en ecosistemas naturales sea incluido entre las prioridades ambientales a escala nacional y así se provea de un marco coherente a todas las iniciativas que existen y que seguirán apareciendo dentro de este ámbito.

El principal reto que resulta de esta reunión es incluir las recomendaciones o las ideas presentadas y discutidas aquí, dentro de los proyectos de las organizaciones que forman parte del GTP. Cada una de ellas tiene su misión y su visión específicas, pero las ideas generadas y los contactos establecidos permiten considerar la existencia de un interés fundamental común que podrá producir, en un futuro cercano, acciones y proyectos concretos.