

**Conceptos Esenciales en
Foresta y Agroforesta para la
República Dominicana**

Penelope Jennings Eckert, PhD

FE DE ERRATA

- Página 18**, primer párrafo, debe decir “Los bosques sí cambian, ...” en lugar de “Los ecosistemas sí cambian, ...”.
- Página 18**, primer párrafo, cuarta línea, debe decir “...que con frecuencia eliminan totalmente muchos bosques...” en lugar de “...que frecuentemente eliminan totalmente muchos ecosistemas, ...”.
- Página 18**, tercer párrafo, debe decir “La tercera escala de cambio, por lo menos perceptible en términos humanos, ...” en lugar de “La tercera escala de cambio, la menos perceptible en términos humanos, ...”.
- Página 29**, quinto párrafo, segunda línea, debe decir “Si básicamente los seres humanos no pertenecen a la tierra, entonces nada de lo que hagamos para modificar nuestro comportamiento o impacto en nuestro entorno tiene validez.” En lugar de “Si básicamente los seres humanos no pertenecen a la tierra, entonces no hay nada que hacer para modificar nuestro comportamiento e impactar los asuntos de nuestro.”
- Página 29**, quinto párrafo, sexta línea, debe decir “Podemos y hemos hecho modificaciones masivas en nuestro ambiente y hemos encontrado la forma de hacer algunas de ellas sostenibles.” en lugar de “Podemos y tenemos que hacer modificaciones masivas en nuestro ambiente y encontrar maneras de hacer algunas de esas modificaciones sostenibles.”
- Página 32**, cuarto párrafo, segunda línea, debe decir “... recientemente ha recibido atención parcial.” en lugar de “sólo recientemente ha recibido atención.”
- Página 36**, segundo párrafo, octava línea, debe decir “... de semillas de especies arbóreas.”, en lugar de “... de semillas de especies arbórea.”
- Página 36**, tercer párrafo, tercera línea, debe decir “... cobertura necesaria a ratoncitos que llevan esporas de micorrizas en su pelo y que ...” en lugar de “... cobertura necesaria a ratas que llevan esporas de micorrizas en su piel y que ...”
- Página 39**, Gráfico 1, cuadro inferior derecho, debe decir “Entierro” en lugar de “Cementerio”.
- Página 45**, 3.4.1 Bosques y Clima, segunda línea, debe decir “...-el ‘tiempo’ que sentimos en nuestra cara y palpamos con los dedos y, para nuestros sentidos, el clima nos parece más frecuentemente húmedo.” en lugar de “...-el ‘tiempo’ lo sentimos en nuestra cara y palpamos con los dedos y, para nuestros sentidos, el clima es la mayoría de las veces húmedo.”
- Página 50**, último párrafo, tercera línea, debe decir “...Su mayor utilidad es ayudar a los que manejan la parcela a determinar ...” en lugar de “...Su mayor utilidad es ayudar a los gerentes a determinar ...”
- Página 52**, último párrafo, tercera línea, cambiar la frase “...excepto la nuestra.” Por “excepto nosotros.”
- Página 78**, primer párrafo, última línea, debe decir “(Figura 6b)” en lugar de “(Figura 6 c)”.

FE DE ERRATA

- Página 18**, primer párrafo, debe decir “Los bosques sí cambian, ...” en lugar de “Los ecosistemas sí cambian, ...”.
- Página 18**, primer párrafo, cuarta línea, debe decir “...que con frecuencia eliminan totalmente muchos bosques...” en lugar de “...que frecuentemente eliminan totalmente muchos ecosistemas, ...”.
- Página 18**, tercer párrafo, debe decir “La tercera escala de cambio, por lo menos perceptible en términos humanos, ...” en lugar de “La tercera escala de cambio, la menos perceptible en términos humanos, ...”.
- Página 29**, quinto párrafo, segunda línea, debe decir “Si básicamente los seres humanos no pertenecen a la tierra, entonces nada de lo que hagamos para modificar nuestro comportamiento o impacto en nuestro entorno tiene validez.” En lugar de “Si básicamente los seres humanos no pertenecen a la tierra, entonces no hay nada que hacer para modificar nuestro comportamiento e impactar los asuntos de nuestro.”
- Página 29**, quinto párrafo, sexta línea, debe decir “Podemos y hemos hecho modificaciones masivas en nuestro ambiente y hemos encontrado la forma de hacer algunas de ellas sostenibles.” en lugar de “Podemos y tenemos que hacer modificaciones masivas en nuestro ambiente y encontrar maneras de hacer algunas de esas modificaciones sostenibles.”
- Página 32**, cuarto párrafo, segunda línea, debe decir “... recientemente ha recibido atención parcial.” en lugar de “sólo recientemente ha recibido atención.”
- Página 36**, segundo párrafo, octava línea, debe decir “... de semillas de especies arbóreas.”, en lugar de “... de semillas de especies arbórea.”
- Página 36**, tercer párrafo, tercera línea, debe decir “... cobertura necesaria a ratoncitos que llevan esporas de micorrizas en su pelo y que ...” en lugar de “... cobertura necesaria a ratas que llevan esporas de micorrizas en su piel y que ...”
- Página 39**, Gráfico 1, cuadro inferior derecho, debe decir “Entierro” en lugar de “Cementerio”.
- Página 45**, 3.4.1 Bosques y Clima, segunda línea, debe decir “...-el ‘tiempo’ que sentimos en nuestra cara y palpamos con los dedos y, para nuestros sentidos, el clima nos parece más frecuentemente húmedo.” en lugar de “...-el ‘tiempo’ lo sentimos en nuestra cara y palpamos con los dedos y, para nuestros sentidos, el clima es la mayoría de las veces húmedo.”
- Página 50**, último párrafo, tercera línea, debe decir “...Su mayor utilidad es ayudar a los que manejan la parcela a determinar ...” en lugar de “...Su mayor utilidad es ayudar a los gerentes a determinar ...”
- Página 52**, último párrafo, tercera línea, cambiar la frase “...excepto la nuestra.” Por “excepto nosotros.”
- Página 78**, primer párrafo, última línea, debe decir “(Figura 6b)” en lugar de “(Figura 6 c)”.

Conceptos Esenciales en Foresta y Agroforesta para la República Dominicana

Penelope Jennings Eckert, PhD

Documentos Recursos Naturales

Año 2005

© Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF), Santo Domingo, República Dominicana. Abril 2005. Derechos exclusivos de edición en castellano reservados para todo el mundo: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF).

Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF),

Calle José Amado Soler No. 50, Ensanche Paraíso. Apartado Postal 567-2. Santo Domingo, República Dominicana.

Teléfono (809) 544-0616 / Fax: (809) 544-4727

Sitio Web: <http://www.cedaf.org.do>

Correo Electrónico: cedaf@cedaf.org.do

El material consignado en estas páginas se puede reproducir por cualquier medio, siempre y cuando no se altere su contenido. El CEDAF agradece a los usuarios incluir el crédito institucional y del autor, correspondiente en los documentos y eventos en los que se utilice.

Las ideas y planteamientos contenidos en los artículos firmados, o en los artículos institucionales con específica mención de autores, son propias de ellos y no representan necesariamente el criterio del CEDAF.

Hecho el depósito que prevé la ley 418.

Impreso en la República Dominicana.

AGRIS: K10

Jennings Eckert, P. 2005. *Conceptos esenciales en foresta y agroforesta para la República Dominicana*. Santo Domingo, RD, CEDAF. 180 p.

Título original: Essential Concepts in Forestry and Agroforestry for the Dominican Republic.

Traducción: Jennifer Pérez-Brennan, Teófilo Surriel, José Elías González

ISBN:

Edición: Teófilo Surriel

Asesor Editorial: José Alcántara

Diagramación: Gonzalo Morales

Santo Domingo, República Dominicana, 2005

Contenido

PRESENTACIÓN	vii
1. Introducción	9
1.1 El contexto dominicano para discusión.	11
1.2 Definiciones conceptuales de foresta y agroforesta	12
1.2.1 Foresta	12
1.2.2 Agroforesta	12
1.3 Cinco conceptos esenciales	12
2. Concepto 1: Escala	15
2.1 Definiciones	17
2.2 La escala de tiempo y los cambios en el bosque	17
2.3 Escala de espacio	18
2.4 Escala de estudios y extrapolación	20
2.5 Propiedades emergentes	21
2.6 La escala en los aspectos humanos	22
3. Concepto 2: Ecosistemas	25
3.1 Ecosistemas y modelos	27
3.2 Historia del concepto de ecosistema	28
3.2.1 Superorganismos	28
3.2.2 Máquina	30
3.2.3 Clímax, equilibrio y estabilidad	30
3.2.4 Complejidad y sistemas dinámicos	31
3.3 Suelos	32
3.3.1 Introducción	32
3.3.2 La erosión del suelo.	33
3.3.2.1 <i>Los bosques y la erosión</i>	35
3.3.2.2 <i>La agroforesta y la erosión</i>	37
3.3.3 Los ciclos del carbono y del nitrógeno y los suelos.	39
3.3.3.1 <i>El ciclo del carbono</i>	39
3.3.3.2 <i>El ciclo del nitrógeno</i>	41
3.3.3.3 <i>El secuestro de carbono</i>	43
3.4 Agua	45
3.4.1 Bosques y Clima	45
3.4.2 Producción neta de agua de los bosques.	47

3.4.3 Agua y agroforesta	48
3.5 Crecimiento de las plantas y los ecosistemas	49
3.5.1 Precipitación y clasificación del bosque	49
3.5.1.1 Clasificación de los suelos	51
3.5.2 Sucesión: ¿establecimiento o dominancia?	52
3.5.3 Biodiversidad y mejoramiento genético.	53
3.5.3.1 <i>Diversidad genética y mejoramiento genético.</i>	54
3.5.4 Herbívoros, cosecha, insectos y enfermedades	55
3.6 Efectos acumulativos	57
3.6.1 Suelos—erosión y desperdicio masivo	57
3.6.2 Hábitat para animales.	58
3.6.3 Crecimiento del bosque—estrés y decadencia	58
4. Concepto 3: Utilidad social (hábitat humano)	61
4.1 Escala	63
4.2 Propiedades emergentes: pobreza.	64
4.3 Recursos, necesidades y deseos	66
4.4 Tenencia de recursos y tierra	66
4.5 Economía.	67
5. Concepto 4: Sostenibilidad	71
5.1 Un sistema de tres partes	73
5.2 Biofísicamente factible	73
5.3 Adoptable social o culturalmente.	75
5.4 Económicamente rentable	76
5.5 Alcanzando la sostenibilidad.	77
6. Concepto 5: Implementación	79
6.1 Herramientas comunes.	81
6.1.1 Inventarios	82
6.1.2 Detección de cambios y retroalimentación	84
6.1.2.1 <i>Detección de erosión</i>	86
6.1.2.2 <i>Detección de sedimentación</i>	86
6.1.2.3 <i>Sucesión o dinámica de plantas.</i>	87
6.1.3 Colaboración y educación	88
6.1.4 Acceso	90
6.1.4.1 <i>Introducción</i>	90
6.1.4.2 <i>Caminos y senderos.</i>	92

6.1.4.3 Limitando el acceso	94
6.2 Herramientas para las reservas	95
6.2.1 Fronteras	96
6.2.2 Uso y acceso	97
6.2.3 Restauración y ecología de la restauración.	97
6.3 Herramientas para la extracción de madera	100
6.3.1 Introducción	100
6.3.2 Selección de especies.	100
6.3.2.1 Tasas de crecimiento de las especies	101
6.3.2.2 Disponibilidad de mercado para los productos.	101
6.3.2.3 Otros objetivos del manejo forestal	102
6.3.2.4 Riesgo de enfermedades o ataques de insectos	102
6.3.2.5 Seguridad política de la cosecha.	103
6.3.2.6 Conclusión	103
6.3.3 Mejoramiento genético, diversidad genética, y biodiversidad	103
6.3.4 Manejo de bosques remanentes	106
6.3.4.1 Prevenir pérdidas adicionales	106
6.3.4.2 Fomentar el crecimiento en bosques residuales	107
6.3.4.3 Considerar plantación intercalada	108
6.3.4.4 Planear para un rendimiento continuo	109
6.3.5 Manejo de plantaciones	109
6.3.5.1 Plantación	109
6.3.5.2 Raleo y desyerbo	110
6.3.5.3 Fertilización y riego.	113
6.3.5.4 Riesgos de insectos, enfermedades, tempestades, incendios y vandalismo	113
6.3.6 Determinación de la productividad de madera	114
6.3.6.1 Producción actual	114
6.3.6.2 Capacidad productiva	115
6.3.7 Tecnología de cosecha	116
6.3.8 Economía forestal	122
6.4 Herramientas para productos forestales no maderables	124
6.4.1 Cosecha de productos forestales no maderables y mantenimiento del ecosistema	124
6.5 Herramientas para la Agroforestería	125
6.5.1 Introducción	125
6.5.2 Técnicas biofísicas	126
6.5.2.1 Mezclas a través del tiempo	127

6.5.2.2 Mezclas en el espacio vertical: cultivos permanentes	129
6.5.3 Mezclas en el espacio horizontal	131
6.5.3.1 Cultivo en callejones	131
6.5.3.2 Barreras vivas	132
6.5.3.3 Silvopastoril	133
6.5.4 Técnicas de diseño colaborativo	134
7. Conclusiones y recomendaciones	137
7.1 La Investigación dominicana	139
7.1.1 El manejo adaptativo	139
7.1.2 Educación ambiental	142
7.1.3 Manejo y disponibilidad de datos	143
7.1.4 Necesidades básicas de investigación	143
7.2 El conversatorio dominicano	144
Bibliografía.	145
Apéndice A.	157
El secuestro de carbono en los bosques tropicales.	157
Apéndice B.	159
Sistemas de información geográficos en la República Dominicana	159
Apéndice C.	163
Inventario general forestal	163

FIGURAS

Fig. 1 El ciclo del carbono	39
Fig. 2 Cantidad de carbono almacenado e intercambiado en la tierra	40
Fig. 3 El ciclo del nitrógeno.	42
Fig. 4 Cantidad de nitrógeno fijado y liberado globalmente	43
Fig. 5 Régimen hidrológico en cuencas forestadas y deforestadas	48
Fig. 6 Diagramas de sostenibilidad.	77
Fig. 7 Sistema simple de cables	120
Fig. 8 Sistema simple de rampa y carga	121

TABLAS

Tabla 1: Clasificación de Holdridge para tipos de bosques en la República Dominicana	50
------------------------------------------------------------------------------------------------	----

PRESENTACIÓN

La preocupación por el deterioro de los recursos naturales en el país ha ido en aumento y las acciones derivadas de esa preocupación, aunque en menor grado, han detenido en algunos casos los niveles de degradación. La deforestación, en cierta medida, ilustra cómo el pueblo dominicano ha ido avanzando en la comprensión de los complejos problemas que tienen que ver con la sostenibilidad de los recursos naturales. El incremento de las organizaciones no gubernamentales dedicadas al trabajo comunitario y de protección de los recursos naturales es impresionante, a tal nivel que sin temor a equivocarnos se puede decir que su trabajo con los pobladores de las comunidades más remotas, así como de las ciudades más importantes, en gran medida es el responsable de la educación ciudadana y en algunos casos son vías exclusivas de transmisión de los conocimientos sobre la materia.

Pero las ONG, y en general todas las organizaciones que trabajan en el sector, adolecen de todo tipo de limitaciones, siendo quizás el nivel de conocimiento y entendimiento de los problemas los más relevantes. Y es aquí donde radica la importancia de este libro. Sin embargo, este no es un libro sobre tecnología forestal o agroforestal o sobre sistemas. Hay muchos buenos libros sobre esos temas, como se puede apreciar en la extensa bibliografía al final del mismo. Lo que la autora ha pretendido es promover la discusión, el diálogo o, usando su término, un conversatorio sobre los principales problemas de los recursos naturales, pero partiendo de una serie de conceptos básicos o esenciales. Estos conceptos, que no requieren ser ni son todos científicos, constituyen el comienzo de cualquier discusión que busque llegar a consenso.

Una de los grandes problemas que hemos enfrentado en la corta vida de promoción de la conservación de los recursos naturales en el país es la falta de base científica de lo que hacemos y de lo que criticamos. Quizás por eso no hemos avanzado más, porque se han tomado decisiones al margen de esos criterios, dependiendo más de consideraciones del momento, a veces políticas, muchas veces económicas, otras veces por sensacionalismo, pero casi siempre sin un rigor científico que les den permanencia en el tiempo. Personas con poder de decisión y opinión entienden razonablemente bien los problemas del bosque y de los recursos naturales en general, al igual que pobladores rurales y ONG, que por su diario vivir tienen que buscar soluciones. Pero en general carecemos de una visión global o holística de los problemas y sus soluciones, al no considerar en su justa dimensión los conceptos de ecosistema, escala y sostenibilidad, como bien lo analiza la autora.

Este libro promoverá la discusión, el diálogo, el análisis y la búsqueda de la verdad a través del estudio y la observación de lo que tenemos, de nuestros bosques, nuestros suelos, nuestros ríos y nuestra gente. Es un libro dominicano, escrito por una persona que se siente tan dominicana como el que más y, sobre todo, con el conocimiento académico y profesional sobre la problemática dominicana como pocos.

Me siento muy complacido de la feliz terminación de este libro. Fue un esfuerzo de muchos años, cuya traducción y preparación para la imprenta tardó más que la elaboración por su autora, lo que no ha impedido que su enseñanza pierda vigencia. Muchas gracias Penny por tu paciencia y dedicación.

Luis B. Crouch

1. Introducción

1.1 El contexto dominicano para discusión

Las disciplinas de foresta y agroforesta, como todos los demás aspectos de la interacción del ser humano con su ambiente, requieren un conocimiento de los éxitos así como de los errores del pasado. Para ser exitosos, necesitamos entender el lado humano al igual que los aspectos biofísicos de la ecuación. Ambos aspectos son complejos, dinámicos y no muy bien entendidos. En esta presentación, abordaré cinco conceptos fundamentales para organizar la amplia variedad de información disponible, y ofrecer un marco de referencia para un conversatorio nacional sobre los bosques dominicanos y las áreas deforestadas. Dicho conversatorio puede contribuir a un mejor entendimiento de la extensión, la severidad de los problemas y la variedad de soluciones potenciales disponibles al nivel local.

Las soluciones que podrían surgir de este conversatorio no serán completas ni sencillas. Lo más que podemos esperar es un acuerdo sobre el camino que habrá que tomar para identificar soluciones. Éstas son incrementales y parciales, no respuestas comprensivas a los problemas nacionales. Lo más importante es que reconozcamos y aceptemos las características complejas y dinámicas de ambos sistemas, el natural y el humano. Nuestra mejor opción para manejar el riesgo y la incertidumbre es desarrollar una variedad de soluciones y respuestas posibles, y probar cada una con apertura. Esto se llama “manejo adaptativo” y significa que los tomadores de decisiones deben anticipar y acomodar los cambios en vez de tratar de impedirlos o controlarlos (Walters 1986). Si reconocemos la complejidad de la situación, entonces debemos esperar respuestas complejas, parciales e incrementales, y estaremos satisfechos con el simple hecho de estar caminando en la dirección correcta, en vez de estar tratando siempre de alcanzar objetivos imposibles.

Personas de opiniones y antecedentes diversos podrán usar este libro como base para los conversatorios. Espero ofrecer un marco de referencia para entender los problemas y un esquema con algunos de los elementos más importantes. No anticipo que un entendimiento generalizado en materia de foresta y agroforesta silencie el debate sobre el tema ni se llegue a acuerdos. Pero sí anticipo que el debate no será puesto a un lado por falta de un entendimiento básico de los conceptos de los procesos sociales, económicos, políticos y biofísicos que influyen en el bosque y en toda la nación, como parte de un sistema global.

1.2 Definiciones conceptuales de foresta y agroforesta

1.2.1 Foresta

Foresta es el arte, la ciencia, y la práctica de manejar los bosques para producir de ellos lo que quiere la gente. Diferentes personas quieren cosas diferentes de los bosques, y los conflictos y problemas que surgen son realmente conflictos entre personas que no están de acuerdo sobre lo que debe producir el bosque.

1.2.2 Agroforesta

La agroforesta es una integración de la foresta y la agricultura, y es el arte, la ciencia, y la práctica de combinar una mezcla de árboles y cultivos alimenticios anuales en espacio, tiempo, o ambos, para sostener a la gente y al suelo de que dependen. Foresta y agroforesta han sido parte de la condición humana por siglos, pero no siempre han sido exitosas. A veces cualquiera de las dos prácticas puede resultar en deforestación, pérdida de suelo, y el fracaso eventual de la comunidad humana que originalmente fue beneficiada por el bosque.

1.3 Cinco conceptos esenciales

El uso en este libro de un marco de referencia de cinco conceptos no es la única manera de organizar nuestra forma de pensar sobre el mundo que nos rodea. La fortaleza de este modelo reside en su integridad interna, y en la inclusión de los asuntos más críticos en las ciencias del medio ambiente y sociales hoy día. Los conceptos se elaboran de forma acumulativa: el concepto de la sostenibilidad no se puede entender sin un conocimiento claro del tema escala, del concepto de ecosistema, y de utilidad social. Las discusiones sobre implementación lógicamente se tratan después de esta base teórica.

El primer concepto es muy sencillo, pero muchas veces suele ser ignorado, porque los árboles son los organismos multicelulares de más larga vida en el planeta. La **escala** del bosque en el espacio y en el tiempo es mucho más grande de lo que piensan las personas. El tema de escala, ya sea con relación a estudios de investigación, propuestas de políticas, o la habilidad de un ecosistema forestal de reestablecerse después de alguna perturbación, es esencial para conocer los bosques.

Los bosques funcionaban antes de que la gente los ocupara, modificara, o usara y pueden seguir funcionando para renovarse a sí mismos a cierto nivel, después de muchos tipos de perturbaciones o cambios. Entender los procesos de los **ecosistemas** forestales

y los del agroecosistema, es el segundo componente esencial para entender los bosques y las áreas previamente forestadas.

Aun los que argumentan que los bosques tienen una utilidad en el planeta que es independiente de los seres humanos, basan sus argumentos en un punto de vista humano y social. La **utilidad social** sencillamente se refiere a estos recursos, bienes, servicios, y características del bosque que los seres humanos valoran, por lo que están dispuestos a correr riesgos, tomar responsabilidades o reclamar derechos para controlarlos.

Sostenibilidad es una palabra usada con frecuencia por todo el mundo en los últimos años. Pero sostenibilidad es un concepto desafiante que incorpora dimensiones tanto humanas como biofísicas. La idea de la sostenibilidad es asegurar que cualquier acción que tomemos ahora para alimentarnos, o de asegurar nuestra sobrevivencia por otras vías, no ponga en peligro la capacidad de generaciones futuras para hacer lo mismo en su provecho. La sostenibilidad sólo se puede lograr si reconocemos sus tres aspectos: social, económico y ambiental.

Finalmente, queda el difícil aspecto de qué hacer, y cómo **implementar** el manejo tan frecuentemente discutido. Tener conocimiento de las tecnologías disponibles facilita mucho la formulación de recomendaciones prácticas. La implementación es el más práctico de todos los conceptos; sin embargo, todavía requiere la consideración de los aspectos humanos del proceso, porque una tecnología puede aparentar útil, pero podría resultar demasiado costosa o muy arriesgado adoptarla.

Estos cinco conceptos —escala, procesos del ecosistema, utilidad social, sostenibilidad, e implementación— componen el marco de referencia de esta presentación. Cada uno será examinado detalladamente, en las páginas siguientes. Los presento en este orden porque conceptualmente se superponen: lo que se puede implementar de una manera sustentable debe estar basado en un entendimiento de los procesos del ecosistema en varias escalas y en un conocimiento del contexto social, político y económico en que opera la utilización del bosque.

2. Concepto 1: Escala

2.1 Definiciones

Escala es una noción humana, un concepto que hemos creado para comparar las cosas y para que nuestro entorno tenga sentido (Harvey 1969). Es útil en el sentido de que nos puede dar un lenguaje común para comparar, aunque el concepto también tiene sus dificultades. La escala, intuitivamente, es el tamaño de las cosas en el mundo real o como nosotros las representamos en nuestras mentes o sobre el papel (Meentemeyer, 1986). Cuando estas ‘cosas’ son objetos que todos estamos de acuerdo que tienen límites (rocas, por ejemplo), entonces podemos medirlas fácilmente y representarlas claramente a través de imágenes o dibujos.

Las ‘cosas’ espaciales con límites discutibles son más difíciles de medir y de llegar a consensos. ¿Qué tan lejos llega la influencia del pueblo La Leonor? ¿Qué tan grande es cierto rodal? Cuando tratamos de identificar el tamaño de estas cosas, muchas veces tratamos de definir las como lugares donde ocurren ciertos procesos.

Cuando las ‘cosas’ son procesos en vez de objetos, es aún más difícil definir su tamaño. Por ejemplo, ¿qué tan grande es el proceso de enseñar matemáticas? La respuesta sencilla es que eso depende –se pueden considerar varias escalas, desde evaluar a un estudiante individual o un programa nacional. Una vez definido el tamaño de un proceso, uno tiene inevitablemente que considerar su duración, es decir, considerar la escala temporal.

2.2 La escala de tiempo y los cambios en el bosque

Los árboles son capaces de vivir por cientos de años. Se sabe que algunos árboles tienen más de mil años de edad (Kozlowski, Pallardy et al, 1997). Los seres humanos, por otra parte, tienden a pensar en términos de días, meses, o temporadas. Algunas personas planifican en función de varios años en el futuro, pero la vida de la mayoría de las personas está llena de incertidumbre, y su escala en el contexto del tiempo es corta. Los sistemas que incorporan árboles existen y funcionan en una escala de tiempo más larga que la que normalmente considera la mayoría de la gente, y la tasa de cambios en estos sistemas suele ser tan lenta que resulta imperceptible al típico observador humano. Sin embargo, los sistemas cambian. Personas mayores que han vivido toda su vida en áreas boscosas pueden describir cómo los bosques han cambiado en el transcurso de su vida, pero la mayoría de nosotros vemos los bosques con muy poca frecuencia y creemos que no cambian.

Los ecosistemas sí cambian, y lo hacen en tiempo geológico: el que toma la evolución, el que toma la sucesión. Por tiempo geológico nos referimos a los cambios que resultan de grandes sucesos abióticos (edad de hielo, volcanes) que frecuentemente eliminan totalmente muchos ecosistemas, inician otros nuevos, o por lo menos cambian radicalmente los sistemas existentes. Estos fenómenos pueden eliminar completamente un bosque, pulverizando toda forma de vida, reduciéndola a rocas desnudas. En unos miles de años más tarde, otro bosque puede estar radicado allí, de nuevo. En los registros paleontológicos existe evidencia de cambios que ocurren a través de decenas de miles de años (Brubaker, 1991).

Otro fenómeno que cambia a los bosques a través de periodos muy largos es la evolución, un proceso guiado por variación genética y adaptación, que ocurre en escalas de miles y millones de años. La evolución ha creado la mayor diversidad de especies en los trópicos, donde han sido menos dramáticos los grandes cambios de clima (Harshorn, 1995; Lugo and Lowe, 1995). Estos tipos de cambio también ocurren a diario, pero nuestra habilidad de percibirlos y de distinguirlos de otros tipos es reducida. Sus efectos tienden a ser muy grandes en términos de escala espacial, afectando áreas de miles o millones de hectáreas.

La tercera escala de cambio, la menos perceptible en términos humanos, es la sucesión: cambios en la composición de especies y en la distribución de edad de la biota, la cual puede también ocasionar cambios microclimáticos y microedáficos. Esta última escala puede tomar muchos años para que sean perceptibles al observador casual, y es el nivel de cambio estudiado en varias especialidades de la ecología. Aquí se incluye la dinámica de crecimiento de todos los tipos de sistemas vivos, desde los bosques, lagunas, hasta las profundidades de los océanos.

2.3 Escala de espacio

La escala de espacio es un concepto esencial para entender la fuente de varios problemas del bosque. Muchos problemas que enfrentamos ahora están relacionados con procesos que ocurren a través de áreas que son mucho más grandes que las que normalmente observamos físicamente. Por ejemplo, la extensión continua de la cobertura del bosque, relativamente sin perturbar, controla el hábitat disponible para muchas especies de animales. Muchos procesos en el bosque sólo ocurren cuando éstos son bastante grandes; dos pedazos de 100 hectáreas de un bosque remanente divididos por una parcela de cultivos se comportarán diferentes a un pedazo de 200 hectáreas continuas del

mismo bosque. Algunos de esos procesos son esenciales para la supervivencia de especies de animales y algunos son necesarios para la supervivencia de las mismas plantas.

La Ecología del Paisaje es la rama de la ecología que se interesa en los procesos y las relaciones que ocurren a escalas bastante grandes (Risser, 1986). El intercambio de energía, nutrientes, fuentes de semillas y animales entre ecosistemas son las grandes preocupaciones de un ecologista del paisaje (Turner, 1986). La manera en que los materiales y los animales se trasladan de un pedazo de bosque a otro, a través de un mosaico de uso de la tierra, es una cuestión crítica para la supervivencia y la salud de dichos pedazos.

Los ecologistas del paisaje se interesan en determinar la relación entre patrones observados del paisaje y los procesos subyacentes que les dan forma y los controlan. A fin de estudiar esta relación, se ha desarrollado un marco de referencia para estudiar procesos de gran escala que incluyen los siguientes principios:

- Se deben identificar las escalas de espacio y de tiempo del proceso.
- Se debe entender como los factores dominantes varían según la escala.
- Se deben desarrollar métodos para hacer predicciones a través de las escalas.
- Se deben probar empíricamente los métodos y las predicciones (Turner, 1989).

Consecuentemente, uno de los aspectos críticos de la escala de espacio es entender los procesos de gran escala a partir de estudios y observaciones que son limitados en tamaño y en alcance; también es necesario entender los procesos que sólo funcionan en escala grande.

La escala de espacio también es importante en sentido inverso como una consecuencia política de la ubicación del poder político. Las decisiones que se toman a nivel nacional muchas veces no se aplican con el mismo éxito en todas las situaciones locales. Cuando se usa información local para generalizar a una escala más grande, el resultado puede ser una cifra que no representa bien a ningún área específica. En el campo de la política, al igual que el campo de la biología, hay procesos que se operan a varias escalas de espacio, y todos ellos pueden afectar, directa o indirectamente, a un área cualquiera de bosque.

2.4 Escala de estudios y extrapolación

Las diferencias entre la escala de espacio de los estudios de investigación y la escala en que los estudios son interpretados suelen ser una fuente de confusión y problemas. Algunos estudios se llevan a cabo estudiando o clasificando áreas grandes como si fueran homogéneas, y luego agregan estas áreas a un nivel regional, nacional, o multinacional. Es poco probable que la aplicación de los resultados de estos estudios a los problemas locales sea exitosa.

Similarmente, estudios intensivos de áreas pequeñas son a veces erróneamente generalizados para incluir áreas que no han sido estudiadas. Además, estudios de áreas pequeñas pueden ignorar procesos a escala mayor, o descartarlos al considerarlos como una fuente de variación o “ruido” en los datos. La mayoría de los artículos publicados en *Ecology*, *Journal of Ecology*, *Oikos*, etc., están basados en investigaciones llevadas a cabo en períodos relativamente cortos, en áreas bastantes limitadas, y sólo enfocados en un segmento de un proceso, o la relación entre sólo dos o tres especies. El problema más grande y persistente de la Ecología es que la necesidad de estudiar sistemas grandes y complejos no va a la par con las limitadas opciones de financiamiento para proyectos de investigación.

Como es este el tipo de investigación disponible, frecuentemente sustituimos espacio por tiempo. Por ejemplo, estudiamos diferentes edades de rodales forestales en distintos lugares, y esperamos que representen etapas en una escala temporal; es decir, se espera que el rodal más joven se parezca a uno de los más viejos con el tiempo. Esto exige que los resultados se extrapolen mucho más allá de los supuestos y condiciones del experimento original, y se proyecten los resultados a grandes áreas cuando la intención inicial era aplicarlos sólo a áreas muy pequeñas.

La mayoría de las investigaciones en agroforesta se llevan a cabo al nivel de campo o finca, y raras veces se consideran escalas más grandes, excepto donde los agricultores tienen una tradición en el uso de tierra comunera. Aunque los resultados de una investigación se reportan por finca o por campo, las políticas para agricultura y agroforesta se determinan a nivel nacional o, en el mejor de los casos, a nivel regional. Debido a que los procesos sociales operan a diferentes escalas, la adopción de políticas al más alto nivel no puede hacer, o por lo menos no ha hecho, un uso eficaz de las investigaciones a nivel de las fincas.

De esta forma, las escalas de tiempo de los estudios, al igual que las escalas políticas de decisiones y las escalas biológicas de los procesos, tienen todas un impacto sobre la

concepción de nuestro medio ambiente y nuestra habilidad de cambiarlo o mejorarlo. Como los problemas institucionales de financiamiento y control de la investigación probablemente no se disiparán en el futuro próximo, aquéllos que deseen usar los resultados de las investigaciones deben tener cuidado en su aplicación fuera de su propia escala espacial o temporal.

2.5 Propiedades emergentes

Un tablero de jugar ajedrez con cuadros amarillos y azules se ve verde desde lejos. El hecho de “parecer verde” es una propiedad emergente del tablero de ajedrez. Es una característica que no se nota a una escala muy de cerca, sino a una distancia considerable. Las propiedades emergentes dependen de las interacciones de componentes más pequeños que ocurren a escalas más grandes (Waldrop, 1992).

Las propiedades emergentes suceden de manera agregada: un incidente o evento en una área aislada puede que no tenga un efecto notable, pero colectivamente, un grupo de tales eventos puede producir un efecto sobre una área grande. Por lo tanto, las propiedades emergentes son dependientes de la escala. Es decir, “emergen” como propiedades observables solamente a escalas muy grandes, aunque pasan inadvertidas a pequeña escala.

Las propiedades emergentes no se detectan a pequeñas escalas, en parte porque parecen “ruidos” o eventos al azar en períodos cortos de tiempo o en áreas pequeñas. El calentamiento global es una propiedad emergente del planeta como un todo, al igual que las distintas edades de hielo. Los cambios en el clima que causaron las edades de hielo probablemente en sus inicios parecieron inviernos “inusualmente fríos” y sólo se reconocieron como edades de hielo o períodos fríos mucho después de su establecimiento. Ése fue el caso de la “pequeña edad de hielo” desde el inicio del siglo XVI hasta el XIX, cuando algunos de los poblados más al norte de Europa fueron abandonados después de muchos inviernos fríos y veranos improductivos consecutivos. Sólo observando desde una escala de cientos o miles de años es que se puede notar claramente los cambios graduales de temperatura y su impacto en la vegetación.

Otra razón por la cual las propiedades emergentes no se ven con facilidad es porque pueden ser propiedades de procesos que funcionan a escalas espaciales mucho mayores que las que normalmente observamos. Si tenemos el hábito de pensar en las acciones humanas a nivel de campo o de finca, es difícil cambiar de perspectiva y pensar en el impacto colectivo de todas esas acciones sobre una gran cuenca hidrográfica.

Finalmente, las propiedades emergentes pueden ser las que provienen de la confluencia o reunión de varios procesos considerados independientes. La disminución repentina de una especie en particular se puede atribuir a una serie de alteraciones en varios lugares y épocas que todos juntos impactan a la especie de manera negativa, aunque individualmente parecieran ser procesos menores e independientes.

2.6 La escala en los aspectos humanos

Cuando discutimos sobre sistemas sociales, gobierno, y tenencia de la tierra, es fácil perder de vista los aspectos humanos en la conversación. Es más fácil condenar a todos los burócratas que reprochar al vecino, dedicado trabajador que lucha para mantener a su familia con un sueldo de servidor público y que tiene que trabajar en otro lugar los fines de semana. Es más fácil criticar a todos los campesinos que atacar a una familia conocida —los primos, quizás— que apenas puede alimentar a sus niños y que no puede pagar los costos de transporte para mandar a su hijo mayor a la escuela secundaria en el pueblo vecino. Aunque sea importante “escalar” varios procesos, por lo menos al nivel nacional, donde se tiene la posibilidad de encontrar solución, es igualmente importante considerar el impacto que tiene la legislación nacional en las familias individuales.

Normalmente, la unidad más pequeña y efectiva en los asuntos humanos es la familia o la familia extendida. Aunque es fácil distinguir los miembros de una familia, no es tan sencillo determinar los miembros de una comunidad. Los límites de una comunidad no son claros, especialmente cuando hay personas que trabajan fuera de la comunidad. Hay límites que son políticamente útiles, como las provincias y los municipios, y existe la frontera gubernamental de la nación. Aunque las personas pueden ser, y a menudo son, agrupadas y consideradas espacialmente en esta forma, frecuentemente tienen muy poco en común. Tratar de generalizar sobre personas en una ciudad o provincia, tomando algún indicador estadístico, como ingreso promedio, no ha producido políticas nacionales exitosas en ninguna parte del mundo, aunque se intenta con mucha frecuencia.

Una manera más eficaz de observar relaciones humanas es la de observar procesos. Algunos procesos ocurren en lugares particulares, como en la finca, en el corte de árboles en las montañas y en agricultura intensiva en tierras bajas irrigadas. Algunos procesos tienen consecuencias espaciales, como las reglas para la distribución de tierra y su tenencia. Pero muchos procesos, como los impuestos o una estructura de tarifa para el uso de recursos, la influencia del mercado y la distribución de oportunidades de trabajo fuera de la finca, no están necesariamente basados en un lugar, sino que operan a una escala na-

cional o aún global. Hay que examinar ambos tipos de procesos para entender por qué las personas reaccionan como lo hacen ante los cambios en su ambiente social.

Por ejemplo, el poblado rural de Villa Fundación ha progresado mucho en cuanto al mejoramiento de la calidad de vida de sus residentes. Esto se ha logrado bajo control local—pero utilizando excedente de fuerza laboral extraído a solicitud de ex-residentes que viven y trabajan actualmente en áreas urbanas y fuera del país. La tierra y sus recursos actualmente poseídos y controlados por las personas que viven en el pueblo nunca habrían aportado los excedentes necesarios. Villa Fundación se aprovechó de la gran escala y del valor diferencial del mercado de mano de obra y del alto sentido de vínculo con la comunidad a fin de extraer un excedente para el mejoramiento de la comunidad (Castillo, 1991).

Antes de asumir que un proceso específico para un lugar, como la erosión por la siembra de conucos, es un problema creado únicamente allí y que por lo tanto se resuelve sólo con modificar el comportamiento en ese lugar, es indispensable evaluar los procesos históricos y actuales a varias escalas, incluyendo los procesos nacionales de acumulación de riqueza y concentración de beneficios. ¿Por qué debemos preocuparnos en seguir un análisis tan complicado y aparentemente irrelevante? Porque simplemente, todos los años de represión militar, violación de los derechos humanos básicos, intentos por educar a los campesinos y millones de dólares de ayuda externa han logrado muy poco en resolver el problema de base. Como los programas, que consideran al campesino de las montañas como el culpable y el responsable de producir los cambios, han fracasado, debemos buscar otras soluciones y otros enfoques.

Pueden existir algunas posibilidades prometedoras aparte de aquéllas que se ofrecen con frecuencia: el pueblo de Villa Fundación es un ejemplo de control local de recursos de origen distante (Castillo, 1991). Quizás las comunidades campesinas pueden adquirir medios estables para el sustento de vida en formas novedosas. Lo que está claro es que los múltiples intentos de desarrollo rural ejecutados de arriba hacia abajo no han funcionado bien, ya que es desde las mismas comunidades que el desarrollo debe surgir. Al igual que la restauración ambiental mencionada en la sección 6.2.3, el establecimiento de un sistema social rural funcional también requiere el conocimiento y el manejo de procesos en diversas escalas. Ni los miembros de una comunidad ni los empleados de desarrollo comunitario externos podrán ser exitosos por sí mismos, pero como equipo, podrán ser capaces de manipular procesos a los diferentes niveles de poder, de influencia y de entendimiento.

3. Concepto 2: Ecosistemas

3.1 Ecosistemas y modelos

El mundo natural es un lugar complejo y enigmático. Para que todo tenga sentido, los seres humanos simplificamos toda la variabilidad que observamos utilizando modelos mentales y verbales de lo que nos parecen importantes procesos y productos. El uso de estos medios para que el mundo que nos rodea tenga sentido es una práctica muy antigua y generalizada (Pyne, 1982; White, 1990; Turnbull, 1993).

Un modelo muy útil del mundo es el concepto de ecosistema. 'Ecosistema' es una palabra que usamos para modelar las relaciones y los objetos en el mundo natural. Es similar, pero en cuatro dimensiones, a la representación que hace un mapa en dos dimensiones de una parte de la superficie del mundo. Así como no se puede viajar en un mapa sino en una carretera, tampoco se puede "ir" al 'ecosistema', porque es un modelo de un lugar, no el lugar mismo.

Para los fines de este libro y para entender el mundo que nos rodea, se definirá un 'ecosistema' como un modelo abierto de una sección del planeta. Éste incluye procesos, al igual que formas de vida, componentes abióticos y bióticos, y posee relaciones identificables con otros ecosistemas contiguos.

El concepto de ecosistema se puede criticar porque las personas suelen pensar en ecosistemas desde diferentes escalas de espacio y tiempo. Tales críticas equivalen a descartar todo el concepto de mapeo, porque a veces la gente prefiere un mapa de las exhibiciones de un museo que un mapa general de un país que muestra al museo sólo como un punto, aunque a ambos les llamen mapas. Así como no hay nada malo (por el contrario, muy útil) en mapear el mundo en diferentes escalas, tampoco es malo mapear los complejos procesos y relaciones del mundo vivo en cualquier escala que sea conveniente.

El concepto de ecosistema fue desarrollado para ayudar a la mente humana a fijar y comprender la complejidad enorme del mundo que nos rodea, y para estudiar y entender nuestra influencia sobre éste. A veces, necesitamos pensar en procesos globales, como el movimiento de la humedad atmosférica o la contaminación, y entonces pensamos en un ecosistema global. En otros momentos podríamos concentrarnos en los procesos del suelo debajo de los árboles en un bosque.

En su extremo global, nuestro ecosistema es abierto a ganancia de energía (del sol) y a su pérdida (como calor radiado), al igual que a algunos intercambios de materiales (pérdida de gases atmosféricos o ingreso de meteoritos, por ejemplo). A escalas más peque-

ñas, necesitamos considerar no sólo la energía e intercambios de material abiótico, sino los intercambios de material biótico (la migración de animales, dispersión de semillas de plantas, la llegada de esporas con enfermedades e insectos, etc.), de agua, y de nutrientes.

El concepto de ecosistema es útil porque nos obliga a considerar procesos (ciclos del agua y de nutrientes, por ejemplo), las interrelaciones entre organismos (micorrizas y árboles, insectos y cultivos, hongos descomponedores y roedores), y largas escalas de tiempo (generaciones de individuos en vez de sólo una parte de una vida). De igual importancia, el concepto nos permite generalizar y simplificar el mundo complejo que nos rodea a varias escalas sin perder de vista la importancia de las interconexiones de los varios niveles en que funcionan los procesos.

3.2 Historia del concepto de ecosistema

El concepto de ecosistema nos ayuda a organizar y a entender los procesos abióticos y bióticos a través del tiempo en un área. Los ecosistemas pueden tener límites, de la misma manera que los mapas tienen bordes, pero se sabe que los procesos se cruzan, entrando y saliendo de áreas modeladas como ecosistemas, al igual que se entiende que las carreteras siguen más allá del borde de un mapa. Los ecosistemas eran conceptos tan útiles que algunos científicos empezaron a creer que se les podría ver realmente en la vida real (Odum, 1971; Golley, 1998). Postularon que el ecosistema era un proceso natural de organización, de la misma forma que una célula o un organismo es algo distintivo con bordes generalmente reconocidos (Botkin, 1990).

3.2.1 Superorganismos

Los organismos, especialmente los complejos, son fáciles de distinguir entre sí y de su ambiente. Sin embargo, ninguna otra forma principal de agrupación usada para clasificar a los organismos, ya sea población, comunidad, bioma, zona de vida, o ecosistema, es tan fácilmente distinguible. Ninguna de esas clasificaciones tiene un tamaño específico, extensión o un conjunto de componentes definidos. De todas maneras, existe un fuerte movimiento entre los ambientalistas para reconocer los ecosistemas, y a veces el planeta entero, como un superorganismo —un agregado natural de elementos bióticos y abióticos que todos juntos forman un sistema vivo.

Como discusión filosófica, el concepto “superorganismo” puede ser útil. Requiere que el lector considere tanto la estructura y función de grandes sistemas, al igual que el flujo de materiales y de energía dentro y entre ellos. La analogía es más débil en sus már-

genes, porque es imposible identificar el borde o el límite exacto de un ecosistema. Su otra debilidad fundamental es que los ecosistemas no tienen una forma preferida o ideal. No siguen una ruta conocida, como hacen los organismos en su crecimiento; y muchas veces se forman o reforman después de un cambio significativo en sistemas muy diferentes, aunque aparentemente siguen siendo funcionales.

El concepto de “superorganismo” también es útil en el sentido de que ayuda a reconocer que un daño a una parte del sistema (el suelo, por ejemplo) probablemente tendrá consecuencias importantes y dañará otras partes del mismo sistema y quizás también a sistemas adyacentes (la pérdida en la diversidad de plantas, aumento en la carga de sedimento en el fondo de un sistema contiguo de corriente de agua, por ejemplo).

En 1979, James Lovelock publicó un libro titulado *Gaia: A New Look at Life on Earth* (*Gaia: Una nueva mirada a la vida en la tierra*). Su tesis era que la vida misma regula los gases atmosféricos y la temperatura, y por lo tanto la hospitalidad del planeta a esa vida. De igual forma, la tesis propone que tal vez los seres humanos se extinguirán de la tierra, pero no podrán controlarla. Lovelock considera que los seres humanos son una especie como cualquier otra, pero que tenemos cierto control sobre nuestro comportamiento colectivo.

Muchas personas han llevado la premisa inicial de Lovelock un paso hacia adelante, proponiendo que ya hay demasiada gente en el planeta (Ehrlich, 1968; Kellert and Wilson, 1998) y que los seres humanos parecemos más a una plaga que a otra especie. En contraste, otros autores argumentan que es la distribución desigual de los recursos lo que crea los problemas globales, en vez de simplemente una sobrepoblación global, por ejemplo (Merchant, 1992)).

El problema con las interpretaciones más extremas de la hipótesis de Gaia es la actitud fatalista que pueden engendrar. Si básicamente los seres humanos no pertenecen a la tierra, entonces no hay nada que hacer para modificar nuestro comportamiento e impactar los asuntos de nuestro entorno. De hecho, y desde un punto de vista práctico, que los seres humanos pertenezcan a la tierra es menos importante que considerar realísticamente nuestro impacto aquí, ahora. Podemos y tenemos que hacer modificaciones masivas en nuestro ambiente y encontrar maneras de hacer algunas de esas modificaciones sostenibles. Si esas modificaciones no son sostenibles, debemos buscar la forma de hacerlas, en vez de planear la remoción de los seres humanos del planeta.

3.2.2 Máquina

Otra analogía que en ecología ha sido popular en el pasado es la de una máquina –por supuesto una máquina muy compleja, pero que llegaría a un equilibrio o balance en todos los procesos, tendiendo a retornar a un punto de equilibrio después de todas, menos las más drásticas, perturbaciones.

Clements, un botánico de comienzos del siglo pasado, originario de los Estados Unidos de América, codificó para la posteridad una fuerte y convincente creencia de que la naturaleza era, en esencia, una máquina divinamente inspirada, que buscaría y mantendría un equilibrio o balance (Clements, 1916). Clements también postuló que varias perturbaciones diferentes podrían inducir cambios diferentes en el sistema, pero que la naturaleza convergería en un solo complejo de vegetación, llamado vegetación “clímax” para un grupo dado de condiciones abióticas. Esta condición de “clímax” se mantendría para siempre en ausencia de perturbación (Botkin, 1990).

Aunque interrogantes importantes sobre la validez de esta teoría fueron planteadas tan temprano como los años de 1950, el enfoque clementsiano persistió en los de 1970 entre los ecologistas. Los vestigios del concepto todavía continúan latentes en la mente de muchos, según se evidencia en la necesidad, aún en 1998, de insistir en la introducción de algunos artículos de revistas científicas que el uso del término 'perturbación' o 'balance' no se refería al pensamiento de Clements. Para los años de 1980 se hizo muy claro que este punto de vista de la naturaleza, especialmente de la vegetación, estaba innegablemente equivocado (Forman, 1986; Meentemeyer, 1986; Risser, 1986; Turner, 1986; Botkin, 1990; Turner and Dale, 1991). Pero ha sido muy difícil erradicarlo de nuestro pensamiento, en parte porque nos gusta la idea de balance y estabilidad como algo noble (Kuhn, 1996).

3.2.3 Clímax, equilibrio y estabilidad

¿Qué hay de malo en los conceptos: balance, equilibrio y vegetación “clímax”? En esencia, hemos encontrado que tal estabilidad no existe, y que es más bien el cambio continuo el que está siempre presente. Entonces, el asunto se convierte en identificar tasas de cambio y escalas (de tiempo y espacio) en que ocurre ese cambio. Un bosque cuya capa dominante de follaje haya llegado a su altura madura puede que no muestre pequeños cambios en la composición de sus árboles a través de un período de varias vidas humanas, aunque, a una escala mayor el bosque puede estar rodeado por áreas boscosas de diferentes estructuras, y ser en sí mismo un elemento de diversidad en vez de constancia.

3.2.4 Complejidad y sistemas dinámicos

Un problema grave con el concepto de clímax como balance ideal en la naturaleza es que implica que el cambio o 'perturbación' es malo y debe ser evitado o prevenido. Los trabajos recientes acerca de la teoría del caos están demostrando que es más productivo considerar a los ecosistemas en términos de cambio y de organización que buscar el iluso estado de 'clímax' en un ecosistema (Prigogine and Stengers, 1984; Mann, 1990; Waldrop, 1992)¹.

El problema principal con las teorías de 'equilibrio' es que la investigación cuidadosa en el mundo real no las apoya. Al contrario, en el mundo real, los sistemas se forman y colapsan, crecen, disminuyen, o cambian a otro sistema diferente. Este es el caso con sistemas naturales (ecosistemas), al igual que con sistemas humanos (sistemas económicos), (Waldrop, 1992). Esto no quiere decir que parte de un sistema no muestre estabilidad por un período de tiempo, sino más bien que la estabilidad es dependiente de la escala de tiempo del observador y es solamente una condición temporal en una estructura que es fundamentalmente dinámica.

Muchos científicos consideran este concepto inquietante y continúan estudiando los fenómenos que aparentan estables o en balance bajo los limitantes supuestos de la investigación. Sin embargo, las nuevas investigaciones realmente excitantes están confrontando el problema de la complejidad y dinamismo de los sistemas, sin excluir cualquier variabilidad o limitar el estudio a lo conocido. Hay unos cuantos ecologistas dispuestos a tomar ecosistemas a escala de paisaje, incluso incorporando a los seres humanos quienes influyen y son influenciados por los ecosistemas (Walker, 1987; Pedroli and Berger, 1990; Benda, 1994; Griffiths, 1995; Medley, 1995).

El concepto de ecosistema ha sobrevivido todos los debates sobre su significado y continua siendo un modelo robusto que ayuda a las personas a pensar acerca de la estructura y la función de una parte de la naturaleza. Cuando las lecciones de investigaciones complejas se suman al modelo de ecosistema original, aunque más bien estático, éste representa los patrones observados en la tierra aún mejor. En el caso de ecosistemas terrestres, incluyendo a los bosques y a los agroecosistemas, el **suelo** es un componente esencial, uno que no se ha estudiado tanto como los componentes que están encima de la superficie.

1 La teoría del caos examina el comportamiento de sistemas que parecen "fuera de control" o con un comportamiento al azar. Se refiere al estudio de cómo y por qué los sistemas cambian y como son organizados y reorganizados después de un cambio (Glick, 1987; Prigogine, 1984; Prigogine, 1980). Algunas de las implicaciones más excitantes del trabajo científico de la teoría del caos y la complejidad, originalmente trabajado en física, están en ecología y otras partes de las ciencias de la vida. En la teoría de la complejidad un organismo vivo se define como "objeto lejos de equilibrio" y todos los sistemas vivos se consideran que constantemente modifican su comportamiento para acomodarse a un cambio ambiental. En vez de buscar por estabilidad, constancia o balance, los teóricos de la complejidad buscan patrones y sistemas autorregulados que son capaces de ajustarse y sobrevivir ante un cambio. Este cambio subyacente de perspectiva del mundo, desde una búsqueda por lo estable a un entendimiento de la dinámica, ha dado enormes oportunidades a los ecologistas, lo cual se ha ido logrando gradualmente.

3.3 Suelos

3.3.1 Introducción

En realidad, lo que ocurre debajo de la superficie del suelo es, por lo menos, tan importante como los procesos más visibles al ojo humano. La estructura y función del suelo son tan dinámicas y complejas como el más espectacular bosque húmedo que se ve en su superficie, aunque el primero es menos dramático y mucho más difícil de estudiar. Nuestro breve examen de la relación esencial del bosque y la agroforesta con la estructura y función de los suelos es explicada en mucho más detalle por Rattan Lal en sus compilaciones de recientes investigaciones de suelos (Lal, 1990; Lal, 1994; Lal, Kimble et al, 1995; Lal, 1998), las cuales provienen de docenas de científicos.

Los científicos del suelo consideran los aspectos abióticos y bióticos de los suelos cuando evalúan la pedósfera o colección de ecosistemas de suelos a través del mundo. Entre las características abióticas más importantes de los suelos están su textura, estructura, y su permeabilidad al agua y a las raíces de las plantas. (Foth, 1984). La erosión y la compactación son dos procesos que afectan negativamente a la productividad del suelo para el crecimiento de plantas, y por lo tanto afectan a la agricultura, la agroforesta y el bosque. Un tercer proceso, que es un aspecto importante en la selección de cultivos, es la relación de plantas, suelos y la absorción y liberación de agua (ver la próxima sección para una revisión más amplia de las relaciones entre suelo y agua).

Los aspectos bióticos de los suelos están entre los menos conocidos de todos los seres vivos, debido en parte a que desbaratamos violentamente su ambiente con el fin de estudiarlos. Aunque la química de la capacidad de intercambio iónico ha sido relativamente bien estudiada, el papel que juegan los microorganismos del suelo al hacer disponible inicialmente los nutrientes, ha sido explorado en su complejidad solo recientemente.

El papel de la materia orgánica del suelo en el ciclo del carbono y su importancia en el balance global del mismo, sólo recientemente ha recibido atención. Pero la materia orgánica del suelo también es importante como depósito renovable y a largo plazo de múltiples nutrientes para los cultivos, así como fuente de mejoramiento de la textura del suelo. Hace cincuenta años, la ciencia de la química del suelo condujo al uso generalizado de fertilizantes químicos cuyo uso mejoró dramáticamente la productividad de los cultivos. Más recientemente el impacto adverso que tienen los fertilizantes inorgánicos en los microorganismos del suelo y en la capacidad de los suelos para sustentar la vida vegetal ha

conducido de alguna manera a una reducción en el uso de tales fertilizantes y a un mayor énfasis en el reciclaje de la materia orgánica.

En esta sección nos concentraremos en las investigaciones recientes sobre la erosión y el control de la erosión, y en la relación que tienen los ciclos del carbono y del nitrógeno en el secuestro del carbono. Aunque existen muchos otros aspectos de la ciencia de los suelos relevantes para la agricultura y el bosque, estos dos temas han recibido mucha atención en los medios de difusión, y juntos forman la base científica para lograr un mayor apoyo político para la agroforesta y la foresta.

3.3.2 La erosión del suelo

La pérdida de suelo a través de la erosión es una de las grandes preocupaciones ambientales mundialmente en regiones montañosas. La República Dominicana no es la excepción. La erosión del suelo es un proceso natural que tiende a acumular los suelos en los valles y dejar las áreas montañosas con menos suelo (Foth, 1984; Lal, 1990). Los seres humanos han acelerado el proceso de erosión, al remover la vegetación a través de corte, desmonte, quema, y al cultivar posteriormente en el suelo descubierto. El suelo puede ser movido por medios mecánicos, por el agua, y por el viento. Al intentar cuantificar la pérdida de suelo de un área dada, se usa con frecuencia una versión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation, USLE), (Wischmeier and Smith, 1958):

$$A=RxKxLxSxCxP$$

Donde A = promedio anual de pérdida de suelo

R = erosividad de la lluvia

K = erosionabilidad del suelo

L = longitud de la pendiente

S = gradiente de la pendiente

C = manejo del cultivo

P = práctica de conservación

Esta ecuación, que con los años ha sido tan editada y revisada (Lal, 1994), se diseñó originalmente para las praderas intensivamente cultivadas del Medio Oeste de los Estados Unidos. Se derivó de experimentos con miles de bloques y de observaciones, y es puramente empírica. Cientos de trabajos han sido publicados, para tratar de cuantificar estas variables, pero aún así queda mucha variabilidad observada sin explicar. “La USLE ya no es universal, aún dentro de los límites ecológicos de la región para la cual fue desarrollada...la USLE es una regresión empírica que carece de una base conceptual (Lal, 1990).”

“Está claro, sin embargo, que sin importar que tan bien definida sea erosionabilidad del suelo, ésta siempre variará para un suelo particular en respuesta a variaciones en el manejo, en respuesta a cambios del clima, de la actividad biológica y de las interacciones entre estos factores (Rose, 1994).” Los intentos para hacer de la erosión de suelos una función lineal o lineal-logarítmica de los factores discretos e independientes que intervienen, han fracasado una y otra vez. En otras palabras, la erosión del suelo es un ejemplo, entre muchos, de un campo que suplica la aplicación de conceptos aprendidos de investigaciones de complejos sistemas no lineales (Waldrop, 1992). Se trata de un tópico muy desordenado, contingente de factores que no son independientes entre sí y que varían en el tiempo y en el espacio.

Además, la USLE sólo trata de predecir uno de los tipos de erosión más básico (entre surcos), agrupando junta la erosión en surcos y entre surcos; “no considera la erosión de cárcavas, la de riberas, ni la erosión en terrenos empinados con más de 20 por ciento de pendiente” (Lal, 1990). Consecuentemente, la USLE sólo predice erosión, no el transporte, ni el depósito, dos factores que son críticos en el cálculo de los efectos secundarios de la erosión de suelos.

Los efectos primarios de la erosión de suelos se encuentran en el mismo sitio en que ocurre la pérdida de suelos, mientras que los efectos secundarios más comunes son la sedimentación de los ríos y los cambios en el hábitat de los peces, y la acumulación de sedimentos en las presas construidas para la generación de electricidad, para el control de inundaciones o irrigación, reduciendo su capacidad de retención y su vida útil. En el sitio, los efectos primarios de la erosión son: una reducción en la capacidad de retención de humedad, de nutrientes y de medio para el enraizamiento de las plantas.

La erosión, o el desprendimiento de las partículas del suelo, es sólo una parte del movimiento y de la formación del suelo. El resto del proceso completo de movimiento de suelo consiste en el transporte de estas partículas desde su localidad original y su posterior depósito o sedimentación en cualquier otro lugar. La USLE sólo trata de predecir el desprendimiento de las partículas de suelo bajo limitadas circunstancias. Es mucho más complejo predecir la distancia, el tiempo y la capacidad de carga de los mecanismos de transporte y depósito del suelo. Que una partícula de suelo se desprenda en un terreno agrícola, no implica o requiere que se transporte más allá del campo. Y aunque una partícula de suelo rueda cierta distancia por una pendiente, no garantiza que llegará al arroyo cercano dentro de una década. Frecuentemente, el suelo se redeposita donde la vegetación o barreras mecánicas impiden su transporte.

Esta distinción es importante porque se requiere mucho más de la erosión de un campo agrícola para crear sedimentación en un arroyo o en el reservorio de una presa. Todas las condiciones deben ser cumplidas antes de que ocurra la sedimentación. Aunque continúan las investigaciones sobre la relación entre la cobertura vegetal y el transporte del suelo, todavía no existe un modelo sencillo para predecir la sedimentación basado únicamente en la erosión [Achet, 1997].

Sin embargo, sabemos que amplias bandas de saludable vegetación a lo largo de corrientes de agua ayudan a atrapar sedimentos e impiden que lleguen a la corriente de agua, aunque los campos más allá de las bandas se estén erosionando. Sabemos que el sembrar árboles para barreras rompevientos reduce la erosión eólica, y que la construcción de trampas de suelos, como terrazas, ayudan a mantener el suelo en el sitio. Por eso y como las matemáticas no son todavía fáciles, el uso del sentido común en la erosión, en el transporte y en la sedimentación de los suelos ha sido y seguirá siendo exitoso en la conservación de los mismos y en la minimización de su pérdida.

3.3.2.1 Los bosques y la erosión

El historial de erosión de suelos es uno de los factores determinantes de la calidad del sitio y la capacidad neta de productividad primaria de un ecosistema boscoso: en áreas de suelos superficiales e infértiles crecen bosques pobres. Debido a que la capa superficial es la más susceptible a la erosión, así como el área más activa de la rizosfera del suelo (la parte del suelo ocupada por el sistema radicular) y de la acción microbiana, la erosión de los suelos puede representar no solamente la pérdida actual de la disponibilidad de nutrientes, sino de la capacidad futura de procesamiento y liberación de nutrientes.

Las condiciones actuales de un rodal forestal particular son entonces productos de erosiones anteriores (o su ausencia) y de la disponibilidad anterior de nutrientes. Estimar la futura diversidad de especies y el crecimiento de un bosque basado en su pasado estado de nutrientes es sólo razonable si las acciones humanas no cambian ese estatus. Aun más, la cosecha de un bosque, sin importar la técnica empleada, deja parte del suelo expuesto y cambia ciertos patrones de drenaje. La construcción de caminos de acceso para facilitar la cosecha es la fuente individual más importante de erosión (y de sedimentación, aunque no siempre fuera del sitio) en un sistema de aprovechamiento de bosques (Elliot, Foltz et al, 1997) (Santos, 1992). Por lo tanto, predecir el crecimiento futuro basado en condiciones pasadas en lo que intervienen uno o más eventos de erosión de los suelos, es problemático.

Esto no significa que es inútil predecir el crecimiento. En cambio, utilizando los principios de manejo adaptativo podemos hacer un estimado conservador del crecimiento y luego monitorear cuidadosamente los primeros resultados. Si el crecimiento no cumple con las predicciones, entonces habrá que examinar las condiciones subyacentes climáticas y del suelo y los resultados basados en las expectativas futuras de crecimiento bajo circunstancias similares.

Los ecosistemas de bosques son dinámicos y responden a perturbaciones con una variedad de mecanismos que reducen el impacto de la erosión. Por ejemplo, las especies de plantas colonizadoras o pioneras suelen cubrir rápidamente los suelos expuestos. En la República Dominicana, las gramíneas, guayabas, y pinos jóvenes colonizan rápidamente las áreas quemadas de un bosque de pino no cultivado de inmediato. Los bosques de *Pinus occidentalis* en la República Dominicana responden a los incendios no sólo con la colonización de herbáceas y baja vegetación arbórea, sino también con la rápida germinación de semillas de especies arbórea. Pero, para su sobrevivencia y crecimiento, los pinos dependen de un hongo micorriza que normalmente se destruye durante un incendio. Nadie ha examinado la colonización de micorriza específica de un área quemada en la República Dominicana. No obstante, los pinos en el mundo entero dependen todos de las micorrizas.

En el Noroeste de los Estados Unidos se ha estudiado el proceso de colonización post-quema en los bosques de “Douglas-fir”. En estos casos, los árboles y la madera caídos que quedaron después de un incendio brindaron cobertura necesaria a ratas que llevan esporas de micorrizas en su piel y que sirven de agentes de dispersión, permitiendo así que las semillas recientes de abetos germinaran (Maser and Trappe, 1984; Agee, 1991). Se sabe que los pinos también dependen de las micorrizas y deben tener un mecanismo similar complejo para la reproducción, no solamente de especies de árboles sino para la relación hongos-árboles.

Las tasas de erosión en los bosques pueden bajar si se protege la capa superficial de los suelos de los impactos directos de la lluvia y del viento, si se incrementa la capacidad de absorción de agua del sistema suelo-vegetación durante la caída de lluvias, y si se reduce el impacto de las gotas de lluvia al detener su energía al nivel de la copa de los árboles (Kittredge, 1948). Sin embargo, no todos los bosques pueden aplicar estas medidas de control de erosión en igual magnitud. Es posible que los bosques con un solo nivel denso de copa y sin vegetación en los estratos inferiores (como es el caso de muchas plantaciones de monocultivos), muestren tasas muy elevadas de erosión. Aún bosques con múltiples copas y con estratos inferiores pueden tener tasas de erosión significativas con una perturbación parcial (de raleo, por ejemplo), (Lal, 1990).

3.3.2.2 La agroforesta y la erosión

Aunque muchos sistemas agroforestales diseñados por no-agricultores fueron inventados precisamente para reducir o parar la erosión, es raro encontrar buenas investigaciones de largo plazo sobre el cambio real en las tasas de erosión. Los resultados de investigaciones a corto plazo o de una sola vez indican que algunas técnicas agroforestales a veces reducen ciertos tipos de erosión, pero que ningún sistema agroforestal garantiza producir menos erosión que las prácticas agrícolas estándares imperantes en una región dada, ya que su aplicación y su uso actual no son controlables como en los experimentos. “Tanto el control de erosión como la sostenibilidad dependen de cómo el sistema y el suelo sean manejados (Lal, 1990)”.

Existen cinco clases de técnicas que, empleadas apropiadamente, pueden reducir la erosión de los suelos de manera significativa. Las tres primeras son explícitamente agroforestales, mientras que las dos últimas son buenas medidas de conservación de suelos aplicables a la agricultura común al igual que en agroforesta. Ellas son:

1. El uso de cultivos permanentes (café, té, jojoba, palma aceitera, bambú).
2. El uso de leguminosas y otras especies para mejorar explícitamente la cobertura del suelo con la vegetación cortada.
3. El intercalamiento en tiempo o espacio de árboles y cultivos alimenticios;
4. Limitando la cantidad y frecuencia de los cultivos.
5. Control mecánico de la erosión a través de la construcción de terrazas y cercas vivas (Rocheleau, Weber et al, 1988; Lal, 1990; Sfeir-Younis and Dragun, 1993).

Aunque ninguna de estas acciones garantiza el control de la erosión, todas pueden hacer contribuciones importantes.

Los cultivos perennes reducen la erosión al disminuir las labores culturales, por el aumento significativo de la cobertura del suelo por las raíces y por la contribución en la acumulación anual de materia orgánica en los suelos. Cuando se dejan crecer en una parcela continuamente y relativamente sin perturbación, su contribución al control de erosión es grande. Sin embargo, la poda y la remoción de desechos (dos de los cinco pasos del sistema de control integrado de la Roya del café, por ejemplo) puede incrementar la erosión por el aumento en frecuencia y energía del contacto directo de las gotas de lluvia con el suelo descubierto.

Cultivando leguminosas, que a menudo son plantas leñosas, para proveer mulch o cobertura de suelos, puede ayudar a controlar la erosión, pero la aplicación de materia orgánica a la capa superficial del suelo debe ser suficiente y frecuente para mantener un nivel grueso de mulch como protección en contra de las lluvias. Cuando la erosión laminar y en forma de cárcava es común, y en suelos con mucha pendiente, el mulch puede ser arrastrado por las lluvias.

Los cultivos en callejones, una de las varias técnicas de intercalado de árboles con cultivos anuales, han sido más estudiados para el control de la erosión que otras formas agroforestales (Lal, 1990). Los resultados de los estudios varían mucho dependiendo de múltiples factores, incluyendo el tipo de vegetación maderable utilizada, el ancho de los callejones, la cantidad de cultivos en los callejones, y el gradiente de pendiente original. También se ha estudiado el sistema Taungya, o la utilización temporal de un área desmontada para cultivos anuales hasta que el bosque crezca de nuevo. La erosión es menor con períodos largos de cobertura del bosque, períodos más cortos de cultivo, y siembras menos intensivas (Lal, 1990).

El control mecanizado de la erosión a través de la construcción de terrazas o cercas vivas realmente no controla la erosión (remoción de partículas del suelo), sino que limita la sedimentación resultante (el depósito de partículas del suelo) al mismo sitio (Sfeir-Younis and Dragun, 1993). Aunque mantiene el suelo en la parcela, frecuentemente hay pérdidas de fertilidad y de estructura del suelo al movilizarse los nutrientes en el agua de escorrentía y se pierden las finas partículas de suelo del área cultivada, acumulándolas cerca o en las paredes de las terrazas o cercas vivas.

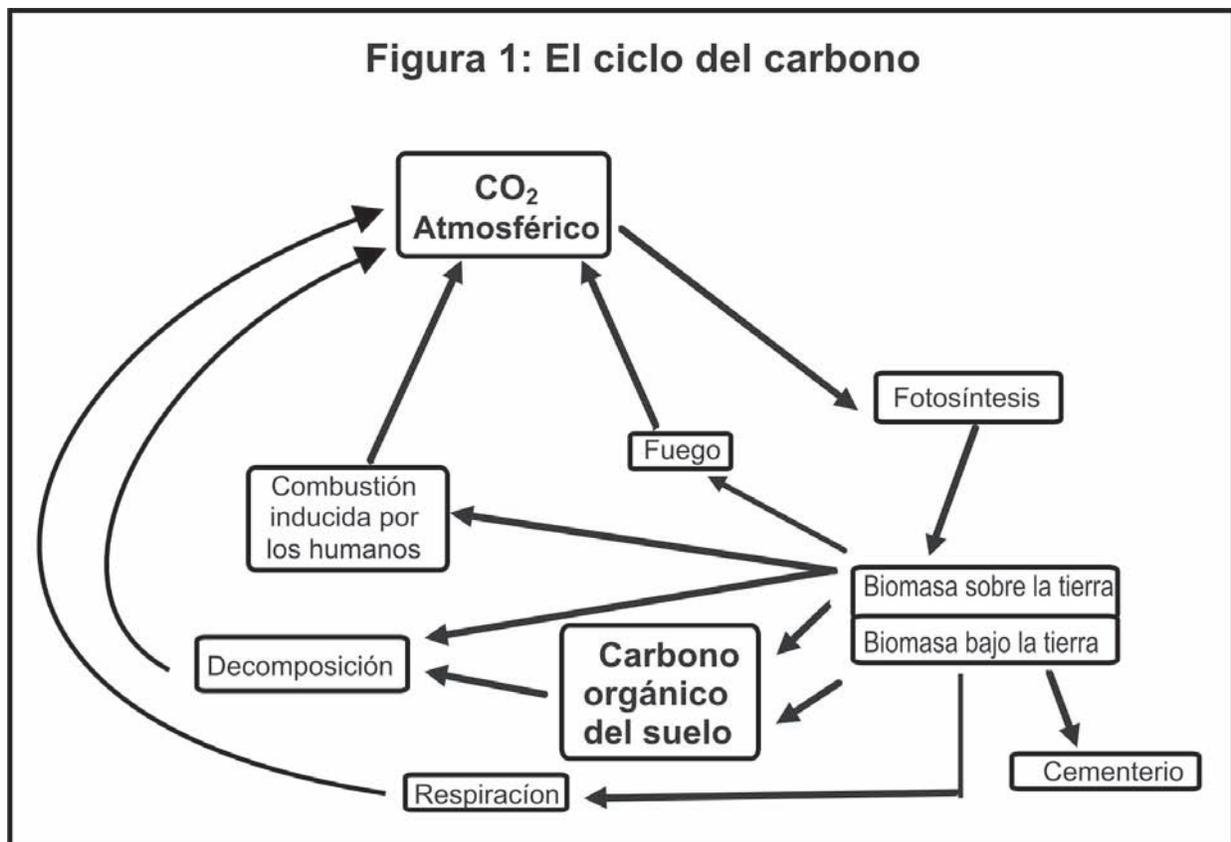
La agroforesta y sus técnicas asociadas de conservación de suelos pueden controlar la erosión, pero necesitan ser manejadas cuidadosamente para producir los efectos deseados. Los medios mecánicos de control de erosión o de sedimentación son menos satisfactorios que los medios biológicos, ya que estos últimos en realidad previenen que ocurra la erosión. Más discusión de la agroforesta desde los puntos de vista de sostenibilidad e implementación práctica se presentan en las secciones 5.5 y 6.5, respectivamente.

3.3.3 Los ciclos del carbono y del nitrógeno y los suelos

3.3.3.1 El ciclo del carbono

Además de la pérdida de suelo a través de la erosión, existen varios otros procesos críticos del suelo o relacionado con el mismo. Entre ellos se encuentra la bioquímica y la ecología del ciclo del carbono en los suelos. Es el centro de atención ahora como resultado de la preocupación internacional sobre el posible calentamiento global causado por incrementos significativos de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. Con el propósito de entender los aspectos relativos al carbono, debemos revisar el ciclo de carbono a la luz de la nueva información con respecto a cantidades relativas de carbono y su distribución en tiempo y espacio (ver Figura 1).

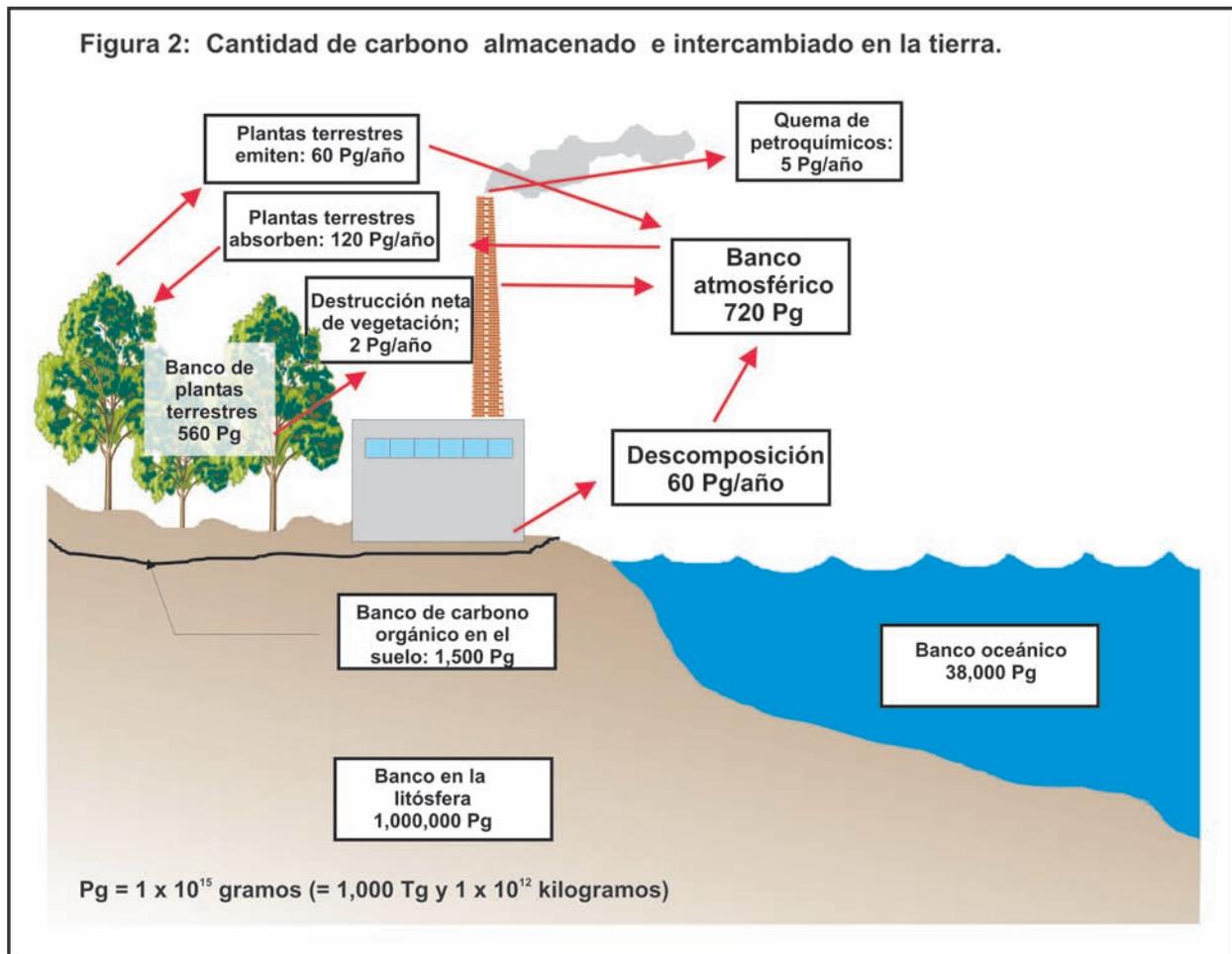
Los microorganismos del suelo, especialmente los hongos micorrizas, regulan la disponibilidad de agua y de nutrientes de la mayoría, sino de todos, los árboles (Benckiser, 1997) (Foth, 1984) (Maser and Trappe, 1984)). Los ciclos de nutrientes, incluyendo los de carbono y nitrógeno, completan la mayoría de sus procesos debajo de la superficie del suelo (Foth, 1984; Lugo and Brown, 1993; Lal, Kimble et al, 1995). La simplificación de los complejos procesos de los suelos a sólo nutrientes, presumiblemente reemplazados por



fertilizantes, ha conducido a una gran disminución del carbono orgánico de los suelos en los sistemas intensivamente cultivados en el mundo (Blaikie, 1985; Young, 1989; Lal, 1990; Sfeir-Younis and Dragun, 1993).

Los nutrientes dentro del suelo dependen, para su reciclaje y disponibilidad, de los microorganismos y del componente orgánico inerte de los suelos. En los ciclos del carbono y del nitrógeno hay una gran reserva de elementos inertes o no-reactivos, una serie de mecanismos que movilizan e intercambian el elemento, y una dependencia fuerte en el funcionamiento apropiado de los ecosistemas del suelo.

El ciclo de carbono ocurre en el contexto de cuatro grandes depósitos de carbono: las capas sedimentarias en la litósfera (roca madre), la atmósfera, los océanos, y el carbono orgánico e inorgánico del suelo (Lal, J.Kimble et al, 1997) (ver Figura 2). Los depósitos de plantas vivas son fuentes menos significativas de carbono. La litósfera almacena cerca de un millón de Pg (donde $\text{Pg} = 10^{15}$ gramos), el depósito oceánico es de 38,000 Pg, los depósitos del suelo llegan a aproximadamente 1,500 Pg, mientras que el contenido car-



bónico en la atmósfera es de 720 Pg (Konyushkov, 1997). Las plantas vivas poseen cerca de 560 Pg. Lo que es importante para el calentamiento global y los gases invernaderos es la fracción de carbono activamente intercambiable.

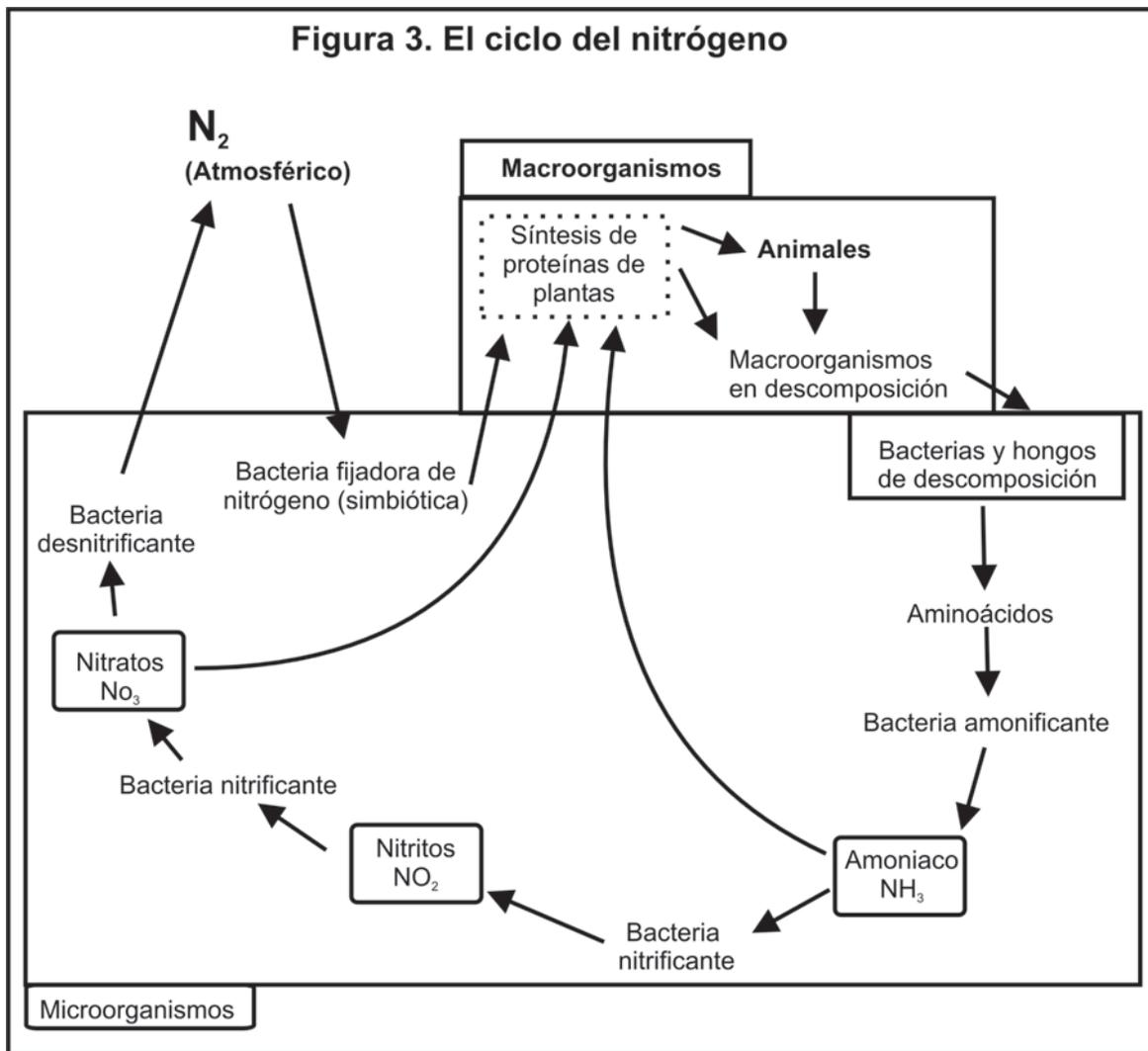
La quema de productos petroquímicos emite cerca de 5 Pg/año a la atmósfera, mientras que las plantas en crecimiento absorben cerca de 120 Pg/año a través de la fotosíntesis y emiten 60 Pg/año. El suelo emana aproximadamente 60 Pg/año por la descomposición, y la destrucción neta de vegetación es responsable por otros 2 Pg/año emitidos a la atmósfera (Lal, J.Kimble et al, 1997). Esto significa, básicamente, que la quema de productos petroquímicos y la extracción de vegetación sin reemplazarla (por ejemplo, la urbanización) contribuyen 7 Pg más a la atmósfera por año que lo que las plantas absorben.

Los ciclos del carbono y del nitrógeno están vinculados a través de la tasa de fotosíntesis y de crecimiento de las plantas (Odum, 1971). Debido a que el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera es ilimitado con respecto a la habilidad de las plantas de usarlo, otros factores tales como la disponibilidad de agua y de nitrógeno, limitan el crecimiento de las plantas y controlan la acumulación de biomasa total.

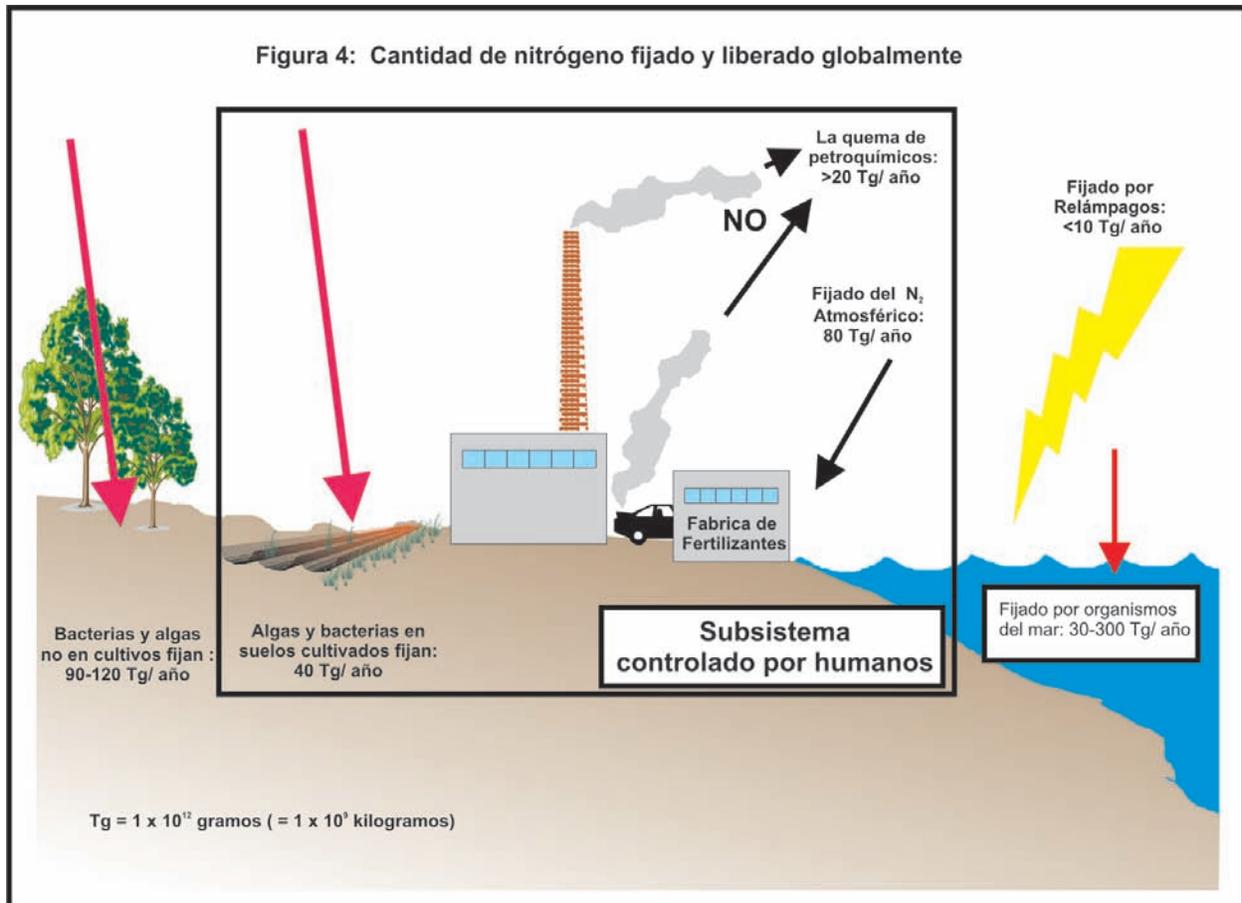
3.3.3.2 El ciclo del nitrógeno

A diferencia del carbono, que tiene grandes reservas en la litósfera, en el océano, y en los suelos, la reserva de nitrógeno la constituye la gran cantidad de nitrógeno no reactivo en forma de gas que compone la mayor parte de nuestra atmósfera. Para que el nitrógeno esté disponible a los seres vivos, debe ser convertido de N_2 no-reactivo a iones de nitrato, nitrato, o de amonio. Aunque las descargas eléctricas durante las tormentas convierten cantidades pequeñas de N_2 a formas más disponibles, todas las demás conversiones (aparte de la fabricación de fertilizantes) son por vía biológica, dependiendo de minúsculos organismos, principalmente bacterias y algas (Figura 3).

Durante siglos hemos sabido que la producción de cultivos está limitada por la disponibilidad de nitrógeno. La mayoría de las culturas agrícolas han reconocido los beneficios de cultivos, como las leguminosas, mucho antes de saber que bacterias simbióticas en los nódulos de las raíces eran responsables de la fijación de nitrógeno que mejoran la calidad del suelo. El ciclo de nitrógeno es crítico para los bosques porque, como es el caso para el crecimiento de cualquier planta, la disponibilidad del nitrógeno limitará la productividad total. Aunque otros nutrientes, principalmente el fósforo y el potasio, pueden limitar también el crecimiento de las plantas, es el nitrógeno el más importante, el más móvil y el más influenciado por las actividades humanas.



Los seres humanos han contribuido mucho a la disponibilidad global de nitrógeno a través de la selección de cultivos, aumentando las bacterias simbióticas, pero especialmente a través de la fabricación de fertilizantes. El proceso de producción del fertilizante químico de anhídrido de amonía extrae nitrógeno gaseoso del aire y, con ayuda de catalizadores y energía, lo hace reactivo. Por un lado, el uso de fertilizantes químicos ha hecho aumentar mucho la producción agrícola en ciertas partes del mundo. Por el otro lado, al aumentar la disponibilidad de nitrógeno mundialmente, los seres humanos son responsables de varios impactos adversos, especialmente en lagos, ríos y arroyos, alterando el ecosistema completo y muchas veces eliminando especies o poniéndolas en peligro (Figura 4). La influencia humana sobre el ciclo del nitrógeno no sólo ha duplicado la disponibilidad del nitrógeno en los sistemas biológicos, sino que también ha aumentado el potencial para la acumulación de la biomasa al aumentar la tasa de crecimiento de las plantas [Vitousek, 1977].



3.3.3.3 El secuestro de carbono

El secuestro de carbono se refiere al movimiento de carbono hacia formas no atmosféricas, especialmente de vegetación. Además de las enormes reservas de carbono, mayormente inertes en la roca madre y en el océano (litósfera e hidrósfera) que vimos en la sección 3.3., los suelos, con 1,500 Pg y las plantas vivas con 560 Pg, respectivamente, intercambian activamente carbono con la atmósfera. La tasa de intercambio y el tiempo que dura el carbono en la forma no atmosférica son las preocupaciones principales en cuanto al secuestro de carbono. Productos petroquímicos como el carbón, el petróleo y el gas natural, tanto como áreas con bajas tasas de descomposición, como los pantanos y ciénagas, representan grandes almacenes de carbono. Sin embargo, no son permanentes, aunque así lo parezcan en términos de una vida humana. Los cambios de clima o del cauce de un río pueden liberar carbono almacenado en los pantanos, como también lo puede producir la agricultura. La quema y la combustión comercial liberan carbono almacenado en productos petroquímicos, así como en biomasa viviente.

De hecho, la gran atención que se presta a los bosques hoy día tiene su fundamento en las tasas espectaculares de quema de combustibles fósiles, mayormente en Japón, los Estados Unidos, y Europa, en la producción de electricidad y uso en vehículos, desde aviones hasta submarinos (Emanuel, Killough et al, 1984; Vitousek, 1992). Tal conversión masiva de carbono previamente almacenado ha agregado CO₂ 'nuevo' a la atmósfera, y ha surgido la gran preocupación de que este “gas invernadero” pueda causar un calentamiento global catastrófico (Corona, Ferrara et al, 1997; Ringold and Groffman, 1997; Lal, 1998). Ahora hay un gran interés en la preservación y restablecimiento de los bosques para ayudar a compensar el aumento del CO₂ atmosférico, a través de un incremento de su almacenamiento en árboles y suelos.

El balance atmosférico actual entre los compuestos que contienen carbono (CO₂ principalmente) y otros gases, depende de la tasa de liberación del carbono almacenado por largo tiempo y del proveniente de organismos vivos. También depende de la tasa de almacenamiento de carbono. El dispositivo de almacenamiento de carbono más maravilloso sobre la tierra es el árbol, debido a su gran tamaño, su composición maderable y su larga vida.

Todas las plantas almacenan carbono, pero la mayoría libera ese carbono a través de sus ciclos anuales de vida y de muerte. La vegetación maderable, con los árboles como ejemplo extremo, almacena más carbono en su madera por largos períodos de tiempo que lo que requieren sus procesos metabólicos. Aún más, si las personas cortan los árboles y luego utilizan la madera de forma tal que se preserve su vida utilitaria, entonces el carbono puede almacenarse por un tiempo aún mayor (Emanuel, Killough et al, 1984; Huntington, 1995; Parks and Hardie, 1995; Jepma, 1997; Ley, 1997; Winjum, Dixon et al, 1997).

Es un proceso relativamente sencillo calcular el almacenamiento de carbono por árboles individuales (ver Apéndice A para los cálculos y un ejemplo). Se puede estimar la cantidad anual de carbono almacenado por un árbol basado en la tasa de fotosíntesis y en la asignación típica de fotosintatos a la madera en vez de, por ejemplo, a las hojas o frutas. Para calcular el almacenamiento a largo plazo y el almacenamiento a nivel regional o aún global, se necesita predecir la ruta de vida de los árboles a través del tiempo y del espacio. El mayor secuestro **activo** de carbono, (es decir, la remoción activa de CO₂ de la atmósfera de hoy) se obtiene del crecimiento vigoroso de árboles jóvenes –aunque el almacenamiento **total** por área no es grande, la tasa de almacenamiento es alta. El almacenamiento **pasivo** más grande de carbono se obtiene de los bosques que tienen una proporción alta de árboles grandes y en las áreas (el Oeste de Canadá, por ejemplo) donde las tasas de descomposición son bajas.

La tasa de secuestro de carbono está relacionada con la tasa fotosintética total y la asignación de fotosintatos a la madera. La fotosíntesis y el crecimiento de plantas, en cambio, se ven limitados con frecuencia por la disponibilidad de nitrógeno. El ciclo de nitrógeno, al igual que el ciclo de carbono, han sido alterados de manera significativa por las acciones humanas.

Una última consideración en cuanto al ciclo completo es que la tasa de descomposición de carbono almacenado en la madera está directamente relacionada con la relación C-N de la materia, y la disponibilidad del nitrógeno es el mayor factor limitante para las bacterias que inducen la descomposición. Tal vez, al aumentar el N disponible hemos acelerado la velocidad de la descomposición, **umentando** de ese modo la liberación de carbono a la atmósfera. Sin embargo, el aumento en el crecimiento vegetativo mundialmente sobrepasa significativamente el aumento en la descomposición (Vitousek, Aber et al, 1997). El problema común ha sido que el incremento en biomasa de los residuos de cultivos no tiende a quedarse en el mismo sitio, sino que los transportamos a otros sistemas, ya sea a través de la quema o por la remoción física, y en consecuencia, el suelo se empobrece.

3.4 Agua

Los bosques no causan las lluvias en una isla como la Hispaniola y la falta de bosques no implica una inminente falta de lluvia².

¿Por qué, entonces, la gente insiste que aquí llovía más cuando había más bosques?

3.4.1 Bosques y Clima

La presencia de muchos tipos de bosques altera dramáticamente el microclima —el 'tiempo' lo sentimos en nuestra cara y palpamos con los dedos y, para nuestros sentidos, el clima es la mayoría de las veces húmedo. Los bosques alteran el microclima al interactuar con el ciclo del agua en varias maneras: interrumpiendo la caída directa de las lluvias en la tierra, alterando el tiempo y la velocidad que toma la humedad para llegar al suelo, alterando la evaporación del suelo, cambiando la permeabilidad del suelo, cambiando la capacidad de retención de la humedad del suelo y cambiando las pérdidas por transpiración del suelo. En las regiones de neblina y nubes bajas, los bosques ofrecen la superficie necesaria para la condensación de la neblina y su precipitación. Todas estas interaccio-

2 Las lluvias aquí están determinadas por eventos de tormentas en el océano de una magnitud muy superior a la de la isla en sí, y por la presencia de montañas altas. Sólo en bosques en medio de un continente, como es el caso de la amazonía peruana, existe alguna evidencia de una relación entre el bosque y la precipitación.

nes cambian la forma en que el aire y el suelo nos parecen a la vista y al tacto, y como consecuencia hacen cambiar nuestra percepción del clima. Sin embargo, la creencia común de que los bosques inducen a las lluvias no tiene fundamento en una isla. La precipitación depende de grandes sistemas marinos de circulación de aire y de los levantamientos orográficos (la influencia de las montañas), no de la presencia o ausencia de bosques. Aunque existe alguna evidencia de que la presencia de grandes masas de bosque en el interior de los continentes mayores (Sudamérica, África) pueda influir ligeramente en la precipitación continental, aún allí la influencia no es grande (Kittredge, 1948; Vitousek, 1992). Es el control que ejerce el bosque sobre el microclima y la humedad del suelo, no la precipitación actual, que es esencial para la retención de la humedad.

La capacidad del suelo de retener la humedad es crucial para la sobrevivencia de todas las plantas, no solamente para los árboles. Los suelos que se han desarrollado debajo de los bosques pueden contener un nivel alto de materia orgánica, pero la pierden toda después de unos pocos años cultivando intensivamente rubros alimenticios. Asumiendo que todavía queda suficiente capacidad de retención de humedad para que los bosques se puedan establecer de nuevo por sí mismos, el área puede ser dejada a merced de los procesos típicos del bosque por un período de años o décadas. Eventualmente el bosque restaurará la capacidad original del suelo de retener la humedad a través del nuevo desarrollo de materia orgánica, de la porosidad del suelo, y de las capas protectoras de desechos y humus (hojas y ramitas recién caídas y en descomposición).

La condición actual de los bosques secos a lo largo de gran parte de la República Dominicana demuestra lo crítica que es la relación entre el bosque y la humedad del suelo. La caoba fue una vez un árbol importante en el bosque seco, pero si hoy día uno quisiera plantarla en una sección típica de bosque seco, probablemente no sobreviviría (Sauer, 1966). Casi no hay materia orgánica en los suelos, la mayor parte de los suelos están compactados por el exceso de pastoreo, y la cobertura de árboles es escasa. Aunque la precipitación total en esas áreas no se ha reducido con la deforestación y el sobrepastoreo, la calidad del suelo, especialmente la retención de humedad, se ha reducido tanto que iniciativas de reforestación directas con especies que una vez fueron importantes, no han tenido éxito. Ciertas técnicas para el mejoramiento de la calidad del suelo, incluyendo cultivos de cobertura, se tendrán que usar para asegurar el éxito futuro de programas de reforestación.

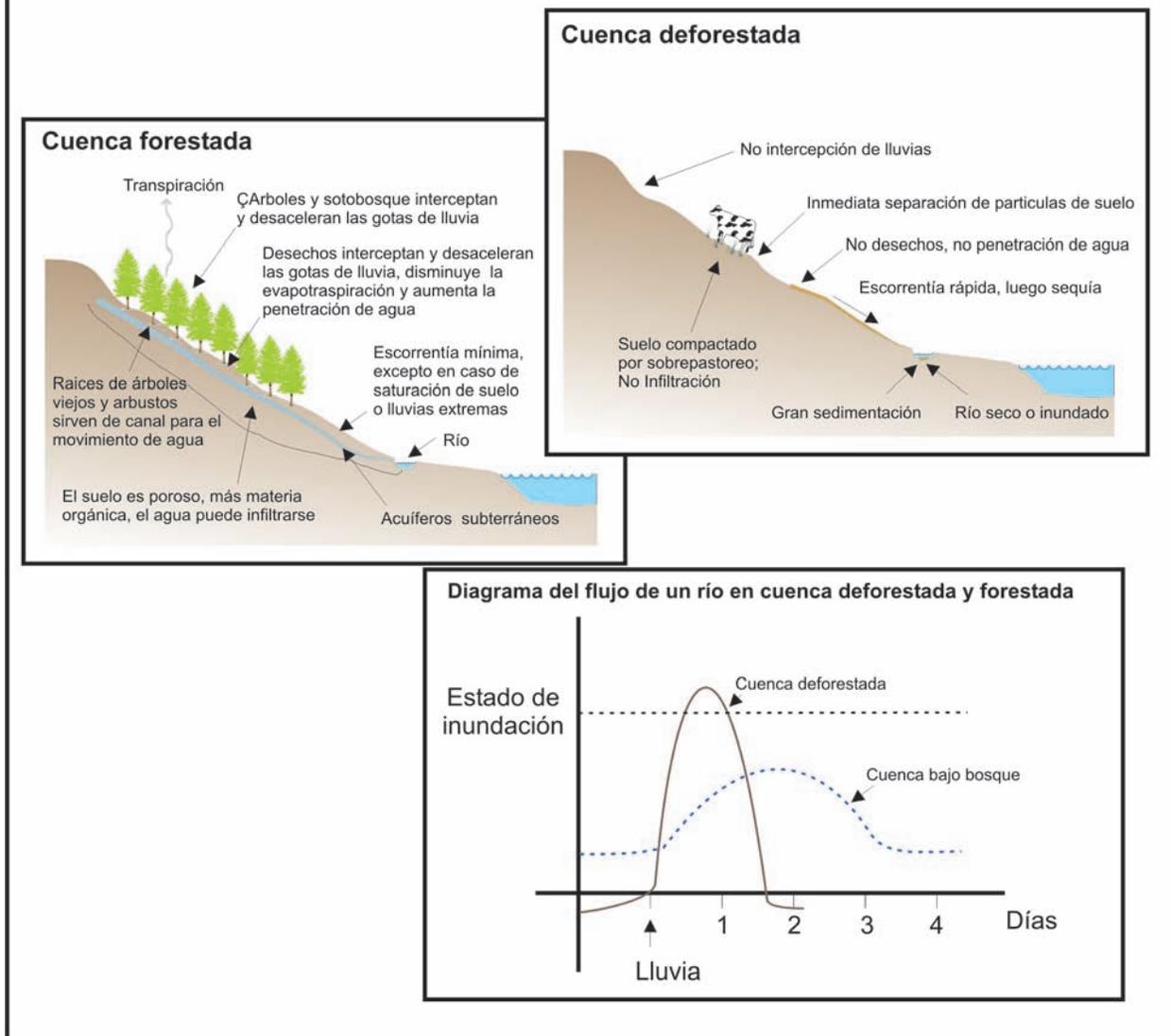
3.4.2 Producción neta de agua de los bosques

La relación de los bosques y el clima es muy sutil y requiere un conocimiento pleno de la interacción de los árboles, el suelo, y los microorganismos del suelo. Aún más dramática es la relación entre el bosque y la producción de agua en una cuenca hidrográfica. Por lo general, una cuenca reforestada produce agua de manera más estable, con menos inundaciones y sequías, y con menos sedimento, que cuencas desforestadas (Kittredge, 1948). Pero el bosque cobra un precio por este servicio; los árboles que protegen las cuencas consumen agua para sus procesos de vida, y transpiran diariamente muchos litros de agua cada uno diariamente, una vez que llegan a la madurez. Por eso, la cantidad total de agua es menor bajo un bosque, pero la cantidad de agua **utilizable** es superior. ¿Cómo pueden los ecosistemas boscosos lograr eso?

Al aumentar la cantidad de agua que se absorbe en el suelo, los bosques desvían la mayor parte de la lluvia hacia acuíferos subterráneos y muy poca agua corre directamente a través de la superficie hacia arroyos y ríos. En cambio, cuando el agua del acuífero subterráneo llega a una corriente de agua o sistema de drenaje natural (que puede ser horas o días después de una lluvia) los niveles de agua crecen gradualmente en el arroyo o río y luego se retiran gradualmente de nuevo (ver diagrama, Figura 5). La estructura esquemática de la figura es similar para diferentes tamaños de cuenca y precipitación, aunque el valor numérico de los ejes puede variar.

En algunas grandes cuencas hidrográficas bajo bosque, donde hay una marcada temporada seca, deberán ocurrir varios eventos de precipitación antes de presenciar un aumento en el volumen de los ríos, porque los suelos bajo bosque lentamente se llenan de agua y eventualmente la pasan a los acuíferos subterráneos. En el caso de pequeñas cuencas hidrográficas, la reacción a la precipitación es más inmediata y la retención de agua a largo plazo es menor. Si todo el perfil de suelo es saturado, como ocurre después de una serie de lluvias o un huracán, entonces aumenta la escorrentía superficial, aún en bosques, y pueden ocurrir inundaciones y erosión. Pero la severidad, frecuencia y duración de estos eventos son mucho menores que en el caso de cuencas deforestadas. La experiencia que tuvieron los residentes de Tamayo y de Jaquimeye en las provincias de Bahoruco y Barahona con inundaciones y sedimentación severas es, en parte, el resultado de prolongada y continua deforestación, y también del pobre mantenimiento de las carreteras, lo que ha contribuido a las concentraciones de agua y a las altas tasas de erosión.

Figura. 5 Régimen hidrológico de cuencas forestada y deforestadas.



3.4.3 Agua y agroforesta

A menudo se propone la agroforesta como medio para controlar la pérdida de productividad de limitadas áreas agrícolas, o como medio para explotar terrenos marginales. Bajo las prácticas actuales de cultivos alimenticios, la diferencia que puede aportar la agroforesta al régimen de agua de una cuenca hidrográfica dada probablemente es bastante limitada (Young, 1989; Baumer, 1990). A fin de recibir los beneficios que un área boscosa ofrece a una cuenca hidrográfica, el componente de cultivos permanentes en el sistema agroforestal debe ser alto. Con sistemas agroforestales, como café bajo sombra, la similitud de cobertura con bosque nativo puede ser alta. Donde sistemas Taungya al-

ternan rotaciones cortas de cultivos alimenticios en parcelas relativamente pequeñas, con rotaciones relativamente largas de bosque en la mayor parte del área, la respuesta de la cuenca puede variar muy poco, si se compara con las condiciones completamente bajo bosque.

Pero muchos sistemas, incluyendo el silvopastoril con la mayoría de sus variantes, y la mayoría de los tipos de cultivos en callejones, pueden responder, ante un evento dado de precipitación, en forma similar a como lo haría su “ordinaria” contraparte agrícola. Es decir, no hay suficiente cobertura en los cultivos anuales, en el pasto y el suelo expuesto para que las gotas de lluvia se desaceleren y el suelo tenga la oportunidad de absorber tanto el impacto de la gota como el del agua que ésta trae. Donde la intensidad de los eventos de lluvia no es muy grande, la siembra en curva de nivel o en terrazas puede ayudar a reducir la velocidad del flujo de agua en la superficie, lo suficiente como para permitir la absorción; pero con precipitaciones de alta intensidad, no se podrá impedir la escorrentía.

Lo más que puede hacer la agroforesta es reducir la erosión, hacer un mejor trabajo reteniendo el suelo que se moviliza dentro del campo, y reducir o aún revertir la pérdida de nutrientes. Pero no representa un cambio suficiente en la cobertura del suelo, comparado con la agricultura “estándar”, en cuanto a absorción de agua o intensidad y frecuencia de la escorrentía, excepto en el caso de cultivos completamente boscosos (por ejemplo, café y cacao).

3.5 Crecimiento de las plantas y los ecosistemas

3.5.1 Precipitación y clasificación del bosque

La precipitación promedio anual es un factor importante en la clasificación de los bosques. Obviamente, los tipos de bosques no terminan abruptamente, sino que se matizan gradualmente de un tipo a otro a lo largo de muchos kilómetros. El sistema de clasificación es un invento humano para ayudarnos a comprender semejanzas y diferencias. Holdridge (1967) desarrolló una clasificación llamada 'zona de vida' para las áreas tropicales que depende de tres factores: precipitación total, evapotranspiración potencial, y el número de “días de crecimiento” que tienen los árboles en un año. Bajo esta clasificación, la isla se clasifica en tipos de bosques. La Tabla 1 es un resumen de las principales zonas de clasificación en la República Dominicana (Holdridge 1967; Hartshorn, Antonini et al, 1981):

Tabla 1: Clasificación de los tipos de bosques, según Holdridge

Patrón de Clima	Tipo de Bosque	Precipitación Anual (mm)	E.T. Potencial	Bio-temperatura	% de país con el tipo
Subtropical	Monte Espinoso	250-500	4-Feb	16-24	<1
Subtropical	Bosque Seco	500-1,000	2-Jan	16-24	20
Subtropical	Bosque Húmedo	1,000-2,000	0.5-1	16-24	46
Subtropical	Bosque Muy Húmedo	2,000-4,000	0.25-0.5	16-24	14
Montano Bajo	Bosque Húmedo	1,000-2,000	0.5-1	16-Dec	7
Montano Bajo	Bosque Muy Húmedo	2,000-4,000	0.25-0.5	16-Dec	7

La isla no está cubierta de bosques ahora, ni tampoco lo estuvo cuando llegó Colón. Los seres humanos hemos estado modificando la vegetación durante siglos, desde antes de Colón, y en los últimos siglos la producción agrícola ha demandado la mayoría de los suelos llanos y una cantidad creciente de los más empinados.

Lo que Holdridge intentó identificar, en términos muy generales, fue bosque típico que podría esperarse en una zona de vida dada. Como Holdridge no intentó identificar especies particulares, sino sólo tipos generales de bosques, evitó definir el tipo bosque “clímax” para sus zonas de vida, aunque sugirió que existía algún tipo de bosque que es “natural” para la Isla Hispaniola.

Este sistema de clasificación es interesante en sus márgenes —lugares donde las características del suelo pueden soportar un tipo de bosque perteneciente a una clase adyacente. Por ejemplo, una degradación severa del suelo en los márgenes de bosques de pino (bosque húmedo) puede resultar en la predominancia aparentemente estable de especies de bosque seco. En contraste, los valles intramontanos en bosques secos pueden hospedar distintos tipos de bosques más comunes de bosques húmedos. En el primer caso, Holdridge asumiría que, dado el tiempo suficiente para el restablecimiento de la fertilidad del suelo y la capacidad de retención de agua, el bosque eventualmente se transformaría en un bosque húmedo de nuevo.

El sistema de Holdridge no predice con éxito la cobertura real del terreno, ni tampoco es una receta garantizada para la cobertura futura. Su mayor utilidad está en ayudar a los gerentes a determinar un rango de especies con probabilidad de supervivencia en un área donde no queda bosque nativo del cual se podrían escoger especies.

3.5.1.1 Clasificación de los suelos

Algunos profesionales en la República Dominicana creen que es muy importante establecer un esquema nacional de clasificación de suelos, en que se distingan los terrenos aptos para el manejo de bosque de aquéllos más apropiados para la agricultura. Al igual que un sistema de 'vegetación potencial', como lo es el sistema de Holdridge, tal sistema de clasificación podría depender de factores biofísicos, como pendiente, suelo, precipitación, y de características tecnológicas, como la disponibilidad de agua de riego.

Por lo tanto, una porción de terreno llano, actualmente en uso agrícola en los alrededores de San Francisco de Macorís, capaz de soportar un bosque tropical muy húmedo, se podría considerar que sirve mejor a los dominicanos como tierra agrícola. Similarmente, una porción de terreno llano cerca de Azua, capaz de soportar un bosque seco subtropical y con posibilidades de acceso a irrigación, puede entonces ser considerado como agrícola por naturaleza. Pero así como la clasificación de Holdridge ignora las acciones y las preferencias humanas, un sistema de clasificación de uso del suelo basado solamente en características biofísicas y tecnológicas está destinado a fracasar si no toma en cuenta, no sólo los actuales patrones de tenencia de la tierra, sino también las fuerzas históricas que han determinado esa tenencia.

No es muy útil decir que, según un sistema ideal de uso de la tierra, una loma con 50 por ciento de pendiente y cultivada actualmente por un campesino pobre, deba estar bajo bosque. No hay duda de que debe ser así, pero hasta que el sistema socio-político cambie lo suficiente para acomodar a ese campesino con dignidad en un buen suelo agrícola o en otro empleo adecuado, hay muy poca posibilidad de cambiar con éxito el uso del suelo. Los intentos de aplicar este tipo de clasificación a los grandes terratenientes que optan por ubicar su ganado en terrenos con altas pendientes han fracasado y seguirán fracasando hasta que ocurran cambios significativos en el orden sociopolítico.

Sin embargo, tal sistema de clasificación podría servir para determinar las prioridades de financiamiento de los escasos fondos nacionales e internacionales para la reforestación. Aún así, la necesidad política de reforestar en áreas fácilmente visibles cerca de la capital puede anular las propuestas técnicas basadas en la necesidad de controlar la erosión y proteger los acuíferos. Por lo tanto, aunque sea útil como guía técnica general, el sistema de clasificación de Holdridge o cualquier otro sistema nacional de clasificación del uso de la tierra tendría muy poca utilidad práctica en el complejo clima político de la República Dominicana.

3.5.2 Sucesión: ¿establecimiento o dominancia?

Después de la quema u otras perturbaciones de una área boscosa, comienza una serie de eventos relativamente previsible. Se ha observado consistentemente la aparición y dominancia de diferentes tipos de plantas en áreas perturbadas. Este proceso se llama sucesión, porque originalmente la gente creía que era necesario que aparecieran ciertas plantas como condición precedente para la aparición de otras. Aún ahora, cuando las investigaciones han demostrado que lo que hemos estado observando es la dominancia y no la aparición de especies, el término sigue siendo útil (Oliver, 1996).

Los biólogos de plantas y animales encuentran útiles las definiciones de series o etapas sucesivas de desarrollo para predecir la presencia y abundancia, no sólo de especies, sino también de relaciones y de procesos (Rodiek and Bolen, 1991). Por ejemplo, la respuesta a una tempestad de un pastizal o un área de matorrales es muy diferente a la respuesta de un bosque de múltiples niveles. El proceso de absorción de agua en el suelo tiene diferentes características en diferentes etapas de desarrollo.

Pero el concepto de sucesión también tiende a distraernos de la naturaleza verdaderamente dinámica de los sistemas vivos. Cuando éstos se reorganizan después de una perturbación o cambio en su dirección inicial, normalmente no regresan a una etapa o línea de desarrollo particular. Algunos trabajos interesantes en la teoría de la complejidad nos han dado algunas guías para la investigación (Ej., la dinámica de población de peces (Mann, 1990))³. Estos trabajos han demostrado que los sistemas pueden seguir un sinnúmero de caminos y pueden no 'regresar' a una condición específica en un futuro previsible.

Esto es especialmente útil cuando observamos una secuencia de eventos o de dominancia de plantas diferentes a lo que habíamos anticipado. En vez de asumir que algo está 'mal' en el sistema, ahora los científicos exploran los factores en el desarrollo inesperado que son significativamente diferentes a los sistemas previamente observados.

Con bastante frecuencia, tales estudios de un sistema alterado revela que las personas, intencionalmente o no, han simplificado previamente un sistema complejo hasta incluir sólo algunas especies de plantas y pocas o ninguna especie animal, excepto la nuestra. Ejemplos típicos son los campos agrícolas y plantaciones de bosques de una sola especie. Aunque estos sistemas tal vez sean sostenibles con alguna intervención humana, no son tan complejos ni hospedan tantas formas de vida como la cobertura boscosa que los precedió. Esta tendencia global de los seres humanos a simplificar los sistemas a través de la agricultura o manejo del bosque, un proceso de miles de años, ha hecho surgir en las últimas décadas una preocupación paralela por la pérdida de la biodiversidad.

3 Ver nota al pie 1.

3.5.3 Biodiversidad y mejoramiento genético

La biodiversidad engloba todas las formas de vida encontradas en un sistema dado. La biodiversidad, oficialmente incluye toda forma de vida, desde bacterias que causan enfermedades, hasta hongos, las plantas y animales. Aunque las plantas, particularmente las vasculares más grandes, han recibido más atención en los últimos años, la “biodiversidad” tiende a ser usada con mayor frecuencia para referirse al número de especies de criaturas de sangre caliente (aves y mamíferos) y al conteo total de cada especie individual. El concepto de la biodiversidad está vinculado con la idea de la extinción, o la eliminación del planeta (o, en el caso de extinción local, de un área dada) de todos los individuos de una especie.

Aunque la extinción es un proceso que ha estado en marcha desde la aparición de la vida en el planeta, la preocupación principal es la tasa de extinción y sus vínculos con el uso de la tierra por los humanos. Por supuesto, para determinar cambios en la tasa de extinción se requiere conocer cuál era la tasa antes de que las acciones humanas se iniciaran, de lo cual tenemos muy poca información.

La mayoría de los investigadores estiman que los riesgos de extinción, especialmente de múltiples especies, son bastantes serios debido a la posibilidad de efectos acumulativos resultantes de nuestra tendencia global de simplificar los ecosistemas, y debido a la pérdida potencial de recursos todavía por descubrir, como las plantas de valor medicinal. En términos de efectos acumulativos, la pérdida de una sola especie, pero especialmente de varias especies, puede hacer cambiar como funcionan los procesos. Si se alteran suficientes procesos, el sistema puede volverse inestable y cambiar rápidamente, como es el caso de la decadencia de bosques.

Aunque no sabemos mucho de las tasas de extinción anteriores, sí sabemos que existen muchas especies cuya extinción se puede atribuir directamente a las acciones humanas. Dado que los riesgos de extinción, aunque no muy bien conocidos, pueden ser altos, algunos países han adoptado leyes que identifican especies conocidas 'en peligro de extinción' (ESA, 1995). Esta clasificación está basada en el número total de individuos conocidos de una especie dada, y en los estimados de la población total requerida para tener un grupo viable de suficiente diversidad genética para procrear y para mantener a la especie. Se identifica el hábitat para estas especies y en la medida de lo posible se aparta un área de la intervención humana.

La preservación de especies depende de un estimado confiable de la dinámica de población de una especie en particular y en el cálculo de un número mínimo de individuos re-

queridos para prevenir el colapso de la especie. De nuevo, la teoría de la complejidad ayuda a entender por qué estos cálculos a menudo no son confiables, ya que se hacen como si las poblaciones fueran estáticas, pero la mayoría de las poblaciones fluctúan a través del tiempo y el espacio. Estas fluctuaciones han conducido a problemas en la preservación del hábitat cuando éste ha sido considerado estático. Debido a que tanto las poblaciones y el hábitat son dinámicos y cambiantes, lo que a menudo implica que más hábitat, no menos, es requerido para asegurar la sobrevivencia aun de las poblaciones pequeñas.

La preservación de la biodiversidad no sólo tiene que ver con la protección de especies individuales. Debido a que muchas de las especies en peligro viven en hábitat, como el interior de un bosque multipiso sin efecto de borde, la preservación del hábitat de una especie (francamente, muchas veces la más fotogénica o 'bonita') sirve para preservar el hábitat de docenas o cientos de otras especies que también dependen de ese hábitat.

3.5.3.1 Diversidad genética y mejoramiento genético

Algunos investigadores no están tan preocupados por las especies silvestres sino por las domesticadas, de las cuales depende la raza humana. Actualmente usamos sólo unas pocas especies de cereales y leguminosas para la gran mayoría de los alimentos que consumimos (Project, 1985). Los cereales que usamos actualmente han sido sistemática y cuidadosamente mejorados para producir semillas más grandes en un tiempo y altura de tallos uniformes. En el proceso, la diversidad genética nativa ha sido sacrificada, logrando en cambio aumentos enormes en la productividad de los alimentos.

Esta productividad obtenida también depende de la importación de energía y nutrientes desde fuera del agroecosistema en cuestión. Como sólo agricultores relativamente ricos pueden pagar por el terreno, riego, tractores, combustible, abonos, herbicidas e insecticidas de los cuales depende la mayor productividad obtenida, los investigadores han comenzado a darse cuenta que deben volver a la diversidad genética de cereales y leguminosas para buscar soluciones para una agricultura más sostenible que opere con menos insumos (Goodman and Redclift, 1991).

La biodiversidad de los cereales ha dependido de la colección y mantenimiento de un grupo representativo de semillas y de plantas de variedades anteriores. De esta colección se pueden llevar a cabo nuevos experimentos de hibridación, pero la colección misma se mantiene como una fuente de diversidad genética para apoyar más investigaciones en el campo de la agricultura sostenible (Hoffman and Carroll, 1995; Mannion, 1998).

Las investigaciones forestales han intentado programas similares de mejoramiento genético que tanto han mejorado la productividad para los cereales más importantes a nivel mundial. El problema principal que enfrentan los forestales es el largo tiempo que hay que esperar para que los árboles florezcan y produzcan semillas. Mientras la clonación y otras formas de reproducción vegetativa han tenido algún éxito, todas han resultado en la misma dependencia de unas pocas especies selectas, como ha ocurrido en la agricultura. Nadie cuestiona la eliminación sistemática de la vegetación nativa (maleza) para sembrar el arroz bajo riego (una especie exótica y mejorada), pero, la eliminación sistemática de bosques nativos para sembrar especies de plantas exóticas capaces de producir madera rápidamente y consistentemente, fáciles de cosechar con mecanización, recibe mucho más atención negativa.

El problema es de filosofía y no de tecnología. Si tiene sentido producir la mayor parte de la comida mundial achicando la base genética para aumentar substancialmente la productividad en áreas cultivadas intensivamente, entonces debe también tener sentido hacer lo mismo para la producción de madera. La base científica y tecnológica de este tipo de investigación es clara y los resultados son dramáticos también. Pero si consideramos que una agricultura más diversificada, con una base más autosostenible es también importante, entonces debemos procurar investigaciones que también diversifiquen nuestros bosques.

3.5.4 Herbívoros, cosecha, insectos y enfermedades

Las plantas se han desarrollado en ecosistemas que contienen también mamíferos, herbívoros, insectos, y enfermedades. Los agroecosistemas en que crecen las plantas deben también contar con la cosecha como una de las funciones del sistema. Similarmente, los ecosistemas boscosos han evolucionado, y ahora incorporan y exhiben las influencias de todos estos factores.

Las plantas forestales en general, y los árboles en particular, también se han desarrollado y evolucionado al lado de todo tipo de animales, grandes y pequeños, así como de microorganismos que los usan para alimentarse o abrigarse. Los seres humanos que interactúan dentro de estos sistemas normalmente se han concentrado en pocas de las muchas especies presentes—las especies 'cultivos'—y han considerado a las demás especies como una competencia para el recurso.

Las plantas han desarrollado una serie de mecanismos protectores para permitir su sobrevivencia, a pesar de las múltiples especies que sustentan. La mayoría de estos me-

canismos requiere que la planta dedique alguna energía—es decir, parte de su productividad—a su defensa. Algunas plantas, incluyendo muchos árboles, producen aceites esenciales y resinas que las protegen de los ataques de insectos. Otras plantas han desarrollado espinas para protegerse de los herbívoros, mientras otras han desarrollado una corteza gruesa (Kozlowski, Pallardy et al, 1997).

Todos estos mecanismos hacen que la planta disminuya la producción de materiales que la gente quiere —fibras, alimentos, o madera (a menos, por supuesto, que el producto deseado sea el aceite o la resina). En el proceso de cruzamiento de las plantas a favor de un aumento en la productividad de la parte utilizable, a veces los seres humanos han eliminado o reducido la resistencia a enfermedades o insectos, o han creado en la planta una dependencia tremenda en los fertilizantes exógenos a fin de suplir la materia prima para una mayor productividad.

Aunque la elaboración de insecticidas y pesticidas generales y especializados ha reducido dramáticamente las pérdidas debido a insectos, éstos desarrollan resistencia a productos químicos más rápidamente que la generación de nuevas variedades de químicos. Además, nuestra tendencia hacia grandes áreas de monocultivos y a la agricultura mecanizada ha llevado a una mayor susceptibilidad de los cultivos a insectos y enfermedades. Estos son problemas no solamente para la agricultura sino también para la foresta (Ross, Ross et al, 1982).

Lo más importante a considerar en el desarrollo de planes para combatir enfermedades e insectos y para aumentar la cosecha, es que todos los cultivos han evolucionado y continuarán evolucionando en la presencia de insectos y enfermedades. El manejo integrado de plagas, MIP, reconoce este hecho y propone repuestas multi-facéticas a los problemas de insectos y enfermedades (Burn, Coaker et al, 1987). Tal vez las soluciones se encuentran en cambiar el momento de siembra o cosecha, en la rotación o cambio de cultivos, en la reducción del área del cultivo, en el intercalamiento, en la alteración de las condiciones del ecosistema que favorecen a los insectos y a las enfermedades en el uso de pesticidas, o una combinación de una o más de estas estrategias.

El MIP es aun más importante al bosque que a la agricultura, debido a la larga espera hasta la cosecha y al alto costo del uso de productos químicos (Barnes, Zak et al, 1998). Todas las técnicas de MIP pueden aplicarse exitosamente al manejo de bosques, aunque muchas, como el cambio o intercalado de cultivos, requieren un alejamiento del concepto de bosque en términos de plantaciones de una sola especie.

El manejo integrado de plagas está basado en la premisa de que hay muchos factores que contribuyen a la susceptibilidad de una planta al ataque de insectos. Quizás ninguno de esos factores por sí solo cause problemas, pero en conjunto pueden debilitar una planta lo suficiente como para causar una pérdida en su crecimiento, o la muerte. Estos factores no sólo son importantes en sí mismos, sino también en combinación—sus efectos acumulativos son mayores que la suma de sus impactos aislados. Examinaremos otros efectos acumulativos en la próxima sección.

3.6 Efectos acumulativos

3.6.1 Suelos—erosión y desperdicio masivo

Los efectos acumulativos son propiedades emergentes del impacto humano sobre grandes áreas y largos períodos de tiempo. Se notan con más frecuencia a nivel hidrológico, cuando un gran porcentaje de una cuenca ha sido aprovechada para madera, y son generalmente efectos adversos a la calidad del agua, al hábitat de la vida silvestre, y a los intentos de reforestación.

Un pequeño corte a tala rasa, con un camino corto de acceso dentro de una cuenca genera ciertos cambios en los sistemas vivos. Puede que la erosión aumente al inicio, pero las partículas del suelo probablemente no llegarán a los flujos de agua, quedando atrapadas por la vegetación cuesta abajo. Habrá un pequeño cambio en la relación drenaje superficial-drenaje subterráneo, pero no impactará de manera significativa las tasas de flujo de agua.

Cuando existen muchas aperturas o talas en el bosque, servidas por toda una red de caminos, la situación cambia significativamente. La escorrentía superficial de una área puede contribuir a más erosión y a escorrentía superficial en la próxima área cuesta abajo. Puede que no haya suficiente vegetación para atrapar toda la erosión proveniente de los aclareos y el sedimento puede llegar a los arroyos y ríos. La red de caminos en sí causa grandes cambios en el agua de la superficie y en el flujo de agua subterránea. Este fenómeno tiende a concentrar la escorrentía en la superficie, a menudo cargada de sedimento lavado de la superficie de los caminos, lo que puede conducir a un nuevo drenaje en el terreno en su trayectoria hacia el arroyo, incrementando aun más la erosión de la cuenca. Por lo tanto, el “efecto acumulativo” de varios desmontes concurrentes en una cuenca es mayor que la suma de los efectos individuales, muchas veces insignificantes, de cada desmonte visto en forma aislada.

3.6.2 Hábitat para animales

Una simple área desmontada de una cuenca ofrece una diversidad de hábitats y algunas especies que prefieren ciertas partes abiertas en el bosque podrán incrementarse en número. El 'efecto de borde' es un término que se refiere a la influencia de un aclareo de una cobertura boscosa más allá de los límites del aclareo mismo y que penetra cierta distancia dentro del bosque (Primack, 1993). El área adyacente al aclareo recibe más luz y más viento, su humedad disminuye, fluctúan más las temperaturas, y el crecimiento de la flora del sotobosque es mayor. De esta forma, los aclareos contienen un hábitat abierto, pero también crean un hábitat de borde, en función de su tamaño y su forma. Por ejemplo, los aclareos rectangulares pueden crear un hábitat de borde que es el doble del tamaño del aclareo. Cuando hay muchos aclareos, aunque no sean continuos, la cantidad de hábitat de borde aumenta dramáticamente.

Al igual que existen especies que prosperan en un hábitat abierto o de borde, también hay otras que requieren un hábitat boscoso cerrado. Un hábitat cerrado implica una extensión intacta mínima de bosque cerrado, en vez de la mera existencia de parches remanentes entre los hábitats de borde. Mientras crece el número de aperturas, incluyendo caminos, también crece la cantidad de hábitats de borde. La cantidad de hábitats de bosque cerrado puede disminuir por debajo del mínimo requerido para la sobrevivencia y reproducción adecuada de ciertas especies.

Por lo tanto, los efectos colectivos de una acción que tomada por sí sola no tiene gran impacto, puede producir cambios significativos en procesos importantes, como son la erosión de los suelos, la sedimentación, y la creación de hábitat de borde. Existen otros procesos que pueden también ser impactados negativamente.

3.6.3 Crecimiento del bosque—estrés y decadencia

'Decadencia del bosque' es una frase que describe una condición que ha aparecido en zonas, tanto tropicales como templadas, sin una explicación simple (Cieswla and Donabauer, 1994). Los bosques que han sido manejados durante varias rotaciones sin problemas aparentes, repentinamente y sin explicación obvia muestran una mayor mortalidad y una menor tasa de crecimiento. La búsqueda de una explicación única no ha sido exitosa, pero el examen de varias condiciones al mismo tiempo puede dar mejor resultado, especialmente si se concentra en la materia orgánica del suelo.

En rotaciones anteriores, el bosque se "limpiaba". Se dejaban unos pocos troncos y otros residuos después de la cosecha, y el potencial de los troncos de liberar gradualmen-

te carbono y nitrógeno al suelo se perdía al ser quemados. En la mayoría de las áreas ocurría compactación del suelo como resultado de las actividades de cosechas y la estructura del suelo se transformaba a una con menos penetración de agua y con menor capacidad de intercambio de aire. En la mayoría de los lugares la erosión de suelo ocurría inmediatamente después de la cosecha, reduciendo aún más la superficie fértil y cambiando la estructura del suelo. Los procesos del suelo sólo se recuperaban parcialmente antes de la siguiente cosecha, cuando se empeoraban de nuevo por la compactación repetida y la remoción de troncos y residuos.

Después de una tercera enbestida, los ciclos de carbono del suelo y del nitrógeno se perturbaban, pero todavía eran funcionales. Los árboles todavía crecían, pero de manera precaria. Una perturbación final, usualmente pequeña, puede ser muchas veces suficiente para privar a los árboles de nutrientes y agua suficientes. Una de las perturbaciones finales ha sido la contaminación del aire por ácidos. A medida que disminuye la materia orgánica de los suelos, éstos pueden hacerse más ácidos y menos capaces de absorber las bases necesarias para la vida de las plantas. Un pequeño aumento en la acidez de las lluvias contaminadas basta en algunos casos para prevenir o reducir drásticamente el ciclo de nutrientes (Foth, 1984). Si esa misma cantidad de lluvia contaminada cayera en un bosque sin estrés, no aumentaría necesariamente la mortalidad de los árboles.

Otra de estas perturbaciones ha sido la aparición de enfermedades que, en un bosque saludable, habrían sido componentes menores en un sistema global. Las enfermedades que producen raíces podridas, que han sido un componente pequeño de los ecosistemas forestales, y que se encuentran normalmente sólo en los árboles viejos, repentinamente comienzan a aparecer en árboles más jóvenes. La presencia de la podredumbre en las raíces puede ser la próxima causa de mortalidad, pero la disminución en resiliencia del sistema, o su habilidad de restablecerse después de una perturbación, reduce la resistencia a enfermedades del árbol a un nivel críticamente bajo.

La Celestina es un ejemplo excelente de los efectos acumulativos de perturbaciones repetitivas en un sitio. La Celestina es una área de suelo delgado y de condiciones marginales para la sobrevivencia y crecimiento de *Pinus occidentalis*, el pino nativo dominicano. Sus suelos eran tan pobres y sus lluvias tan erráticas que los agricultores en su mayoría lo habían evitado, y habían mantenido una cobertura boscosa por más tiempo que algunas otras áreas de la Sierra. Los pinos que pudieran sobrevivir allí tenían una madera densa y dura. Cuando se asierra, el pino de La Celestina muchas veces está tan lleno de

resina que lo ayuda a combatir los ataques de enfermedades y de insectos, y tablas de hasta ½" de su madera son translúcidas.

Por muchos años, La Celestina perteneció a una sola familia, y entre los guardias forestales empleados por la familia y los suelos pobres, la Celestina fue siempre protegida, excepto de la incursión ocasional de algunos agricultores. Pero a la Celestina le hicieron caminos y fue cosechada parcialmente varias veces. Se construyó un puesto militar en el medio de la zona de donde se originó un aprovechamiento significativo. Estas incursiones múltiples se concentraron en los árboles mejores y en los más sanos, dejando a su paso los dañados, erosión y pérdida de suelo.

No fue una entrada en especial la que hizo mucho daño, sino que juntas significaron una disminución significativa del potencial productivo del área. Además, el Ips calligraphus, un escarabajo nativo que produce hasta siete generaciones en un año, con frecuencia concentra poblaciones inmensas en los residuos de los troncos y en la misma madera, y luego vuela para atacar y matar árboles verdes estresados. De nuevo, las infestaciones del Ips han sido serias, pero no necesariamente desastrosas para el bosque.

Por lo tanto, La Celestina ha experimentado una serie de eventos, ninguno de los cuales ha sido particularmente devastador, pero todos juntos han reducido el potencial de crecimiento de pino en gran parte del área. Su influencia global es mayor que la suma de las influencias separadas, porque están interrelacionadas. Como resultado, las especies de bosques secos se están adaptando donde la reproducción de pino, natural o sembrada, ha dado resultados pobres. La Celestina es un ejemplo tropical de 'decadencia forestal'.

Para determinar las causas probables de la 'decadencia del bosque', se necesitan estudios cuidadosos de varios procesos a escalas grandes de espacio y de tiempo (Cieswla and Donabauer, 1994). Este caso, de propiedad emergente de los ecosistemas, demuestra la necesidad de entender como los ciclos de nutrientes y los demás procesos interactúan, y también la necesidad de saber la historia de un área particular, con el fin de entender las múltiples fuentes del problema.

4. Concepto 3: Utilidad social (hábitat humano)

4.1 Escala

Originalmente definimos foresta como el manejo del bosque para producir en éste lo que la gente desea. En esta sección se analiza la complicada idea de 'qué quiere la gente', y necesariamente se tiene que abordar el tema de **deseos de quién**, ya que no todo el mundo quiere la misma cosa y al mismo tiempo en un ecosistema dado.

Cuando se evalúan los deseos de varias personas, y es necesario decidir aquéllas con los deseos más prioritarios, el concepto de tamaño o escala de inmediato juega un papel importante. Un campesino de la Sierra quiere alimentos, casa y combustible para cocinar para su familia—quiere sobrevivir y prosperar. Él considerará esencial para esta sobrevivencia desmontar un área dentro del bosque para hacer un conuco. Un solo campesino que desmonta una pequeña porción de un bosque para sembrar unas cuantas tareas de cultivos es insignificante; pero miles de campesinos desmontando miles de tareas anualmente a través de décadas y en cuencas enteras, sí es significativo, pero es solamente una diferencia de escala e intensidad.

Las personas que dependen de la hidroelectricidad para sus empresas, o que dependen de sistemas de riego derivados de las presas, quieren que del bosque salga agua limpia y sin sedimentos y que llegue a la presa de modo continuo, algo que probablemente no pasará debido a los desmontes masivos y constantes río arriba. Entonces, al examinar los conflictos entre las demandas sociales sobre el bosque, muchas veces encontramos que el problema es de escala y de propiedades emergentes, especialmente de efectos acumulativos.

Es decir, las demandas sobre un bosque pueden ser local (un hombre necesita madera para construir una letrina), regional (la agricultura en el oeste del Cibao depende de agua de riego limpia y segura), nacional (la República Dominicana necesita producir o importar millones de dólares de madera por año, sólo para suplir la demanda de viviendas), o global (la gente necesita los bosques para obtener el carbono, a fin de compensar por el uso de combustibles fósiles como energía). El acto de cortar un árbol para construir una letrina, no va en sí mismo a alterar el equilibrio global del carbono. Pero los efectos acumulativos de acciones individuales, regionales, y nacionales sí impactan el equilibrio global del carbono.

Para poder percibir la posibilidad de efectos acumulativos, uno debe dar un paso atrás y ver el problema desde un punto de vista más amplio e incluir las acciones de otros en el paisaje. La pregunta no es: “¿Cuál es el efecto de mi acción aquí?”, sino: “¿Cuál es el efecto agregado de mi acción aquí, sumada a las acciones de otros, aquí y cerca de aquí?”

4.2 Propiedades emergentes: pobreza

En la sección de ecosistemas, consideramos las propiedades emergentes como fenómenos que se tornan visibles o tienen significado cuando se observan en una escala más amplia. Así mismo, los sistemas sociales muestran propiedades emergentes que muchas veces son el resultado de muchos procesos sociales que a primera vista no tienen relación entre sí. Una de las propiedades emergentes más prioritarias es la pobreza rural. Ésta es un fenómeno mucho más grande que la simple suma de la gente pobre alrededor de las ciudades, ya que depende de los procesos sociales que distribuyen el ingreso y el derecho a producir ingreso sin equidad, y del acceso desigual a los servicios sociales, tales como educación, mercados, atención médica, e influencia política.

La confluencia de múltiples factores, tanto históricos como actuales, han construido la pobreza rural. Uno de estos factores es la concentración del poder político en los centros de mayor población. Las poblaciones rurales esparcidas tienen menos voz política, especialmente cuando no están organizadas. Y como se sienten impotentes, con frecuencia no consideran importante ejercer su potencial de influir como una voz unificada, y no toman parte activa en organizaciones locales o políticas que podrían darles alguna representación. No sólo carecen de influencia política, sino que como resultado directo también carecen de servicios sociales básicos, como escuelas, salud, sistemas de agua y sanitarios, y mantenimiento adecuado de caminos. Esta es una condición importante, pero no es suficiente en sí misma para explicar la pobreza rural.

Durante los últimos 40 años ha ocurrido una reducción significativa en el porcentaje de la población dedicada a la agricultura. Al mismo tiempo, ha habido una caída en los precios agrícolas relativos y en el estatus de la agricultura como parte de una estructura social más grande. En consecuencia, la agricultura recibe ahora una proporción mucho menor del total de dólares dedicados a la investigación, que lo que recibía hace 40 años, o aun hace 10 años, a pesar de la puesta en operación del Instituto Dominicano de investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) y del Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF), a partir del año 2000. De nuevo, este fenómeno ha contribuido al abandono del sector rural, pero en sí no explica la pobreza rural.

La apertura de mercados alimenticios globales ha dificultado mucho que los pequeños agricultores de países pequeños compitan con las importaciones subvencionadas y masivas de alimentos básicos de la agricultura mecanizada de los Estados Unidos y otros países. La mayoría de las personas en el campo están involucradas con la agricultura, ya sea de subsistencia o para el mercado, y son las más afectadas por los cambios en el mercado global de alimentos. De nuevo, esta es una razón importante, pero no suficiente, del incremento de la pobreza rural.

La propiedad de la tierra en la República Dominicana durante el segundo tercio del siglo XX se concentró en manos de pocas familias y del estado, tanto en los valles como en las montañas. Esta concentración ha continuado a través de los años, dejando a muchas personas despojadas y sin tierra. En muchos casos los “sintierras” continúan viviendo en o cerca de las tierras que antes poseían o trabajaban, mientras que en otros casos se han ido a áreas menos controversiales para vivir y cultivar. La carencia de control y la inseguridad en el uso de la tierra y de otros recursos es otra condición importante pero no suficiente para explicar la pobreza rural.

Cada uno de estos factores ha sido tratado en parte o en su totalidad por varios proyectos de ayuda nacional e internacional con el propósito de ayudar a poner fin a la pobreza rural. Por ejemplo, se han construido muchas escuelas rurales, pero no se han cambiado las condiciones que requiere la participación de los niños en la agricultura, y la falta de influencia política ha provocado una falta de apoyo salarial a los maestros. Entonces, la sencilla corrección de una de las condiciones no ha corregido la situación social de la pobreza.

En parte, esta falla aparente se debe a la naturaleza acumulativa de la pobreza rural, puesto que es producto de varias condiciones no de una sola, y al tratar de corregir sólo una condición no ha corregido ni corregirá la situación general. Es la interacción de estas condiciones, y no solamente la suma de las influencias aisladas de dichas condiciones lo que ha generado en la propiedad emergente de la pobreza rural.

La pobreza rural es un fenómeno que, por su misma expresión, se percibe a una escala regional o nacional. En otras palabras, la pobreza rural puede estar compuesta de muchas personas y familias rurales que son pobres, pero “pobreza” es mucho más que un grupo de pobres en un área. Sus causas trascienden el nivel de la familia o de la comunidad, a pesar de que son muchas las personas que esperan que el pobre se recupere de su condición como si fuera una gripe. En cambio, debemos buscar la integración de múltiples causas y sus efectos, así como la integración igualitaria de múltiples soluciones, para resolver aunque sea algunos aspectos de la pobreza rural.

4.3 Recursos, necesidades y deseos

Al nivel local más inmediato, la gente que vive dentro y cerca de los bosques dominicanos necesita un suelo con suficiente fertilidad para poder producir sus alimentos; madera para usarla como combustible al cocinar y construir sus viviendas; así como producción suficiente que le permita ganar dinero. También necesita agua potable y acceso a servicios, tales como escuelas y atención médica. Dependen directamente del bosque y sus suelos para producir los medios de sobrevivencia.

Los dueños de tierra boscosa quieren obtener ganancia económica por su uso. Esto se puede obtener construyendo y rentando una casa de veraneo en Constanza, o cortando el bosque para producir madera y recibir ingresos por su venta. Ambos tipos de uso del bosque requieren caminos, las fuentes más grandes de alteración y sedimentación en una cuenca.

Las personas preocupadas por la enorme diversidad de formas de vida, tanto animal como vegetal, quieren que el bosque continúe siendo el hábitat para especies raras y en peligro. Como vimos en la sección sobre los ecosistemas boscosos, los bosques con un largo historial de crecimiento y cambios sucesivos y que no han experimentado recientes cambios drásticos o rápidos son más aptos para albergar una gran diversidad; también son los más llamados a contener especies que no sobreviven a cambios frecuentes o rápidos. Con el fin de proteger y crear bosques más viejos, las personas que abogan por la biodiversidad también apoyan, en muchos casos, la preservación del bosque y la exclusión de necesidades humanas que resultarían en cambios drásticos del bosque.

Otras personas están interesadas en las oportunidades recreativas que pueden ofrecer los bosques. Ya sea viajar al Pico Duarte, ver las raras orquídeas de Los Haitises, observar aves en Samaná, o descansar en una casa dentro de los pinares de Jarabacoa. Estas personas desean tener bosques para contemplar, pero también quieren caminos y a veces casas y otras infraestructuras desde las cuales pueda observar.

4.4 Tenencia de recursos y tierra

Diferentes personas desean diferentes cosas del mismo bosque. ¿Cómo escogemos? Uno de los sistemas de uso mundial para tratar los conflictos sobre el uso de recursos es el sistema de tenencia de recursos. “Tenencia” quiere decir el derecho al uso de algo, y consecuentemente, el derecho de excluir a otros de su uso. La tenencia incluye, pero no se limita, a derechos reconocidos legal o formalmente, como es el caso de la propiedad de la tierra.

La tenencia de la tierra y de recursos es asunto social y político delicado y complejo, pero ignorar o limitar su visión solamente a los derechos de tenencia reconocidos legal o formalmente ha creado más problemas que soluciones a través del mundo. Por ejemplo, a productores con plantaciones de café dentro de los límites de un parque nacional se les permite cuidar y cosechar su cultivo, aunque esté dentro del parque. Aquéllos que fueron despojados de sus tierras por medios fraudulentos, como sucedió en la época de Trujillo en muchas áreas boscosas, nunca han dejado de considerar los recursos forestales como suyos.

Es mejor no considerar este tema desde un punto de vista de moral, sino de pragmático. Manejar un bosque para producir lo que quiere la gente, requiere que uno estudie, entienda y trabaje con los asuntos de tenencia de la tierra y los recursos, tanto a nivel informal como formal. Donde existen conflictos entre los deseos o demandas de tierras boscosas, es esencial entender la actitud tanto local como formal de los derechos a los recursos⁴. Esto es todavía más importante cuando las estructuras de tenencia existentes a todos los niveles excluyen el acceso a los recursos que algunas personas quieren o necesitan. Los administradores de parques y los terratenientes conocen bien este conflicto, porque suelen encontrar personas ocupando tierras sobre las cuales pensaban que tenían claros derechos de tenencia.

4.5 Economía

Tener el derecho al uso de un recurso es un aspecto esencial del lado humano de la ecuación. Determinar si su uso es rentable es otro tópico muy importante. Aunque la eficiencia económica relativa de usos alternativos del bosque no es el único aspecto que debemos considerar, es ciertamente muy importante. Si un dueño privado de bosque tiene que decidir entre opciones, aquélla que promete el mayor retorno en dinero pesará mucho en su decisión.

Calcular el retorno económico en el sector forestal se complica por dos factores importantes: el largo plazo de la producción, para madera o para el hábitat, y la incertidumbre o riesgo inherente a la producción forestal (Duerr, 1960; Gittinger, 1982). El dueño debe considerar no solamente todos los riesgos climáticos derivados de huracanes, inundaciones y sequías, los riesgos biológicos provocados por insectos, enfermedades, u otras limitantes del crecimiento, sino también los riesgos de origen humano, como incendios y cambios en las estructuras legales o regulatorias que permiten o restringen los usos propuestos.

El modelo económico neoclásico asume que sólo el mercado del artículo bajo consideración es el único relevante. Por ejemplo, producir electricidad a través de la quema de derivados del petrolero también produce contaminación del aire. A no ser que se cargue un costo directamente al que ocasiona esta contaminación, el modelo clasifica esta contaminación como una 'externalidad', o un costo social. De igual manera, si el agua usada para enfriar los motores se obtiene gratis del río, aunque dejen a otro sin agua, de nuevo, el modelo lo considera un bien gratis.

4 Por ejemplo, los certificados de plantación con derecho a corte reconocen varios niveles de formalidad de la tenencia de tierra, incluyendo una certificación del alcalde de la comunidad de que el usuario ha vivido y trabajado allí por lo menos 15 años, para poder darle el derecho a cosechar los árboles (tenencia de recursos).

Así es que, mientras que DENTRO del modelo puede ser muy lógico y lucrativo producir electricidad a través de la quema de productos del petróleo, cuando se considera como un todo, los costos sociales pueden sobrepasar o por lo menos igualar los beneficios aparentes, tanto privados como públicos, de la producción de electricidad. Como es difícil determinar los costos y los beneficios públicos, y porque la generación de ganancias privadas también genera poder político, los costos públicos normalmente no se toman en cuenta, a no ser que sean tan altos con relación a los beneficios privados, que obliguen a una decisión política de cambiar el ambiente legal de operación de la industria.

Un ejemplo de manejo de bosques es una tala rasa grande. Aunque es el método de aprovechamiento más rentable desde el punto de vista estrictamente privado y de corto plazo, una tala rasa grande implica múltiples costos sociales, como la fealdad, la erosión, la sedimentación y las inundaciones. En la medida en que el modelo de beneficios privados sea aceptado socialmente, mayores serán los costos 'externos' que la sociedad tendrá que cargar por la operación del mismo.

Eventualmente, los costos externos de una acción lucrativa de un individuo en particular excederán la aversión de la sociedad a interferir en asuntos individuales. En ese punto, el grupo mayor podría prohibir, limitar, o poner impuestos a la actividad con el fin de reducir su impacto en la sociedad. En el caso de la quema de petróleo para generar electricidad, el gobierno puede prohibir la descarga de contaminantes en el aire o en el agua; requiriendo por lo tanto que la industria absorba el costo de remover los contaminantes. Alternativamente, se puede diseñar un sistema de "créditos de contaminación" que una industria contaminante tenga que obtener en el mercado libre para poder contaminar. Las industrias más limpias podrían vender sus créditos a aquéllas que contaminen más, y como consecuencia se incrementará la rentabilidad de operar limpiamente. En adición a estos ejemplos de intervenciones gubernamentales formales, a un nivel informal, los vecinos podrían ejercer suficiente presión social para restringir actividades inaceptables de las empresas.

Para complicar aún más el conflicto entre las ganancias económicas y las socialmente aceptables, existen problemas que posiblemente sólo se harán evidentes a una escala grande (como los efectos acumulativos u otras propiedades emergentes). Por ejemplo, como hemos mencionado antes, un pequeño corte a tala rasa dentro de una cuenca grande no causa cambios evidentes de erosión, sedimentación, o producción de agua de la cuenca entera. Pero una serie de dichas talas poco espaciadas en área y tiempo pueden causar derrumbes y problemas de erosión masiva; su impacto colectivo es mucho mayor a la suma de sus impactos aislados.

Desde el punto de vista económico, la escala también es importante, especialmente en foresta. Lo que sería totalmente impráctico para un pequeño propietario —la compra de un tractor especializado, por ejemplo— puede tener perfecto sentido económico para un gran terrateniente. La economía forestal requiere de áreas relativamente grandes y un lapso muy largo, lo que en principio descarta al pequeño propietario.

En la economía forestal, la tasa de retorno alternativa contra la cual la foresta y la agroforesta deben competir por capital es a menudo tan alta, que a menos que se incorporen de alguna forma beneficios sociales, no encontraría financiamiento (Gittinger, 1982). Es aquí donde el esquema legal y regulatorio puede incentivar efectivamente los proyectos forestales, utilizando subsidios, exoneración de impuestos, protección legal, o disuadirlos con amenazas de tipo militar, regulaciones sumamente complejas, altos impuestos y otras acciones. Esto es especialmente importante cuando se toma en cuenta lo que es sostenible.

El vínculo entre la tenencia y la economía es muy claro en los proyectos agroforestales. En éstos, las propuestas que requieren una inversión inicial de mano de obra o de dinero, como es el caso de la construcción de terrazas, fracasan porque los agricultores no están dispuestos a arriesgar los pocos derechos de tenencia implementando mejoras en la tierra y haciéndola atractiva a otros que pudieran tener, o hacer reclamaciones legales más fuertes. Aquellos dueños de tierras boscosas a quienes se les ha prohibido el uso legal de la madera, suelen quitar la cobertura forestal para hacer uso alternativo de la tierra, aunque el manejo del bosque es más rentable para el dueño. Así es que tanto los retornos económicos como los asuntos de tenencia deben ser considerados en cualquier propuesta de proyecto.

5. Concepto 4: Sostenibilidad

Aunque la idea general de sostenibilidad ha estado presente por más de un siglo, por lo menos en el campo forestal (Eckhom, 1979; Becker and Ostrom, 1995; Clark, 1995; Goodland, 1995), el término se empezó a usar más como fin y criterio para evaluar proyectos, después que la Comisión Brundtland emitiera una definición global: "Desarrollo sostenible es el desarrollo que suple las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de suplir sus propias necesidades" (Commission, 1987)⁵. Se hizo aun más conocida después de la Cumbre de Río en 1992 (Development, 1993)⁶.

La idea de sostenibilidad es no utilizar más de lo que pueda ser producido en el futuro; pero esto no sirve como definición operacional. Definir la sostenibilidad es confrontar directamente la realidad humana, al igual que la capacidad biofísica, porque la 'sostenibilidad' describe acciones humanas y debe tener sentido para las personas cuyas vidas están afectadas directamente.

5.1 Un sistema de tres partes

Para fines de este cuarto concepto crucial en el entendimiento de la foresta y la agroforesta, utilizaré el argumento de Walter Firey de que para ser sostenible, una acción propuesta o un recurso debe ser adoptable culturalmente (o socialmente), económicamente (o personalmente) rentable, y biofísicamente factible (Firey 1973). No basta inventar una tecnología que pueda ser usada en el futuro cercano sin detrimento a las plantas o al suelo. Esa tecnología debe ser aceptable tanto a nivel individual como social para ser adoptada y reproducida.

5.2 Biofísicamente factible

¿Qué se requiere para que una acción sea biofísicamente factible? Como ya vimos en la breve revisión del concepto de ecosistema, la acción no debe, individualmente o en conjunto con otras acciones humanas que afectan un área a través del tiempo, reducir la capacidad productiva de los recursos en juego. Para decidir si una acción es biofísicamente factible, entonces debemos determinar los factores en el ecosistema que son esenciales para la producción de los recursos, y determinar su respuesta a los cambios.

5 En 1986, la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo pidió al Dr. Brundtland, entonces Primer Ministro de Noruega, que encabezara una comisión formada con el fin de investigar el estado de desarrollo mundial y su impacto en el medio ambiente. Después de estudiar la situación, la Comisión elaboró un informe, aprobado en forma unánime, con el título "Nuestro futuro común." En este informe, el concepto de sostenibilidad en el uso de recursos fue cuidadosamente definido.

6 En 1992 se celebró la Cumbre Mundial de la Tierra en Río de Janeiro, donde delegados de los países del mundo acordaron las prioridades para lograr la sostenibilidad. Además de la Declaración de Río, que enumeró los principios de sostenibilidad que deben mantener las naciones, también se emitió la llamada "Agenda 21" como guía, con objetivos y metas específicas para permitir que los países progresen.

Por ejemplo, para determinar si es biofísicamente factible extraer cierta cantidad de madera de un bosque, debemos hacer más que meramente calcular el crecimiento acumulativo de los árboles en el área a través del tiempo. Como el crecimiento acumulativo de los árboles se basa en las condiciones anteriores del suelo, en el microclima, y en otros organismos, debemos examinar la acción propuesta en términos de estos componentes y de los procesos en los cuales participan, para asegurarnos de que no impactaremos adversamente la capacidad de crecimiento de árboles en el futuro.

Pero examinar el área para determinar su habilidad de producir madera en un futuro puede ser sólo uno de nuestros mandatos. Puede ser que también debamos asegurar que la acción de extraer madera no impacte negativamente la habilidad de las poblaciones silvestres de recuperarse del cambio, o la calidad, cantidad y oportunidad del suministro de agua del bosque. Entonces, una acción 'sostenible' en términos biofísicos debe ser tal que no produzca cambios tan drásticos en el sistema, que impida que los distintos procesos afectados vuelvan a su estado previo a la acción, en un tiempo razonable.

El concepto se complica aún más por la idea de que el ecosistema en cuestión puede que no 'vuelva' a un estado particular anterior, sino que su estado futuro deba ser aceptable. Entonces, la sostenibilidad aceptará o permitirá algunos cambios en los procesos, o la presencia relativa de organismos que no es dañina a la continuada extracción de los necesitados recursos.

Pero la limitante más seria en la determinación de si una acción es biofísicamente sostenible es nuestra ignorancia. Simplemente no tenemos la información para saber si una determinada acción cambiará tanto los procesos del sistema que produzca un debilitamiento de la capacidad productiva. Aun con información disponible sobre los procesos anteriores, es posible que no sepamos lo suficiente sobre todos los componentes para poder predecir con cierto grado de confianza los procesos futuros. Por lo tanto, necesitamos incorporar el riesgo de equivocarnos en nuestra evaluación de la sostenibilidad biofísica.

Hay varios métodos para incorporar este riesgo: hacer menos, disminuir las acciones a través del espacio y tiempo, o posponer la acción. A veces se promueve la idea de que estamos seguros que hemos aprendido todo lo que necesitaremos saber acerca de una acción dada en una generación, por lo que debe ser factible posponer la acción por 20 años. Hay dos problemas con esta premisa. La primera es que en veinte años puede ser que no sepamos lo suficiente para tomar la acción, y la segunda es que mientras tanto estamos posponiendo el uso de algún recurso o de los beneficios de alguna acción remediativa, que habría podido beneficiar a la gente durante ese período de 20 años.

Por lo tanto, el riesgo generado por la ignorancia de los sistemas biofísicos es un cuchillo de doble filo: pone en duda la factibilidad biofísica de una acción, y al mismo tiempo cuestiona la sostenibilidad de poblaciones humanas. Aunque sostenibilidad implica por lo menos el mantenimiento de los niveles actuales de productividad, puede que sea limitada a la productividad de un recurso en particular.

Por ejemplo, durante siglos y en el mundo entero, las personas han cortado los bosques para hacer agricultura. Los agroecosistemas resultantes pueden ser biofísicamente sostenibles, pero claramente no soportan las comunidades de animales y de plantas que habían estado presentes en el bosque. Similarmente, un bosque diversificado se puede cortar y reemplazarse con la plantación de un monocultivo. Suponiendo por un momento que el sistema de plantación sea biofísicamente sostenible, aun así no soporta la biodiversidad anterior y puede tener un conjunto de procesos biofísicos mucho más simplificado, aunque reproducible.

Esta situación nos lleva al cuestionamiento de 'pérdida tolerable'. Son muchas las personas que consideran que no se debe tolerar más pérdida de ecosistemas en ninguna parte del mundo (Merchant, 1992), pero éstas no son las personas que viven en el bosque y que dependen directamente de éste para su subsistencia. Ya se han hecho cambios enormes en la cobertura forestal mundial. Algunos de los sistemas que han resultado de estos cambios continúan produciendo recursos para la gente, pero muchos ya no lo hacen, porque han perdido procesos esenciales, como la retención de humedad en los suelos. ¿Qué tanta pérdida de procesos forestales es tolerable si los procesos sustitutos resultaran biofísicamente sostenibles?

Ya sea que basemos esta decisión en capacidades biofísicas, presión política, o avaricia individual, la definición de "tolerable" es exclusivamente humana. Si no es por nuestras políticas, definimos por nuestras acciones lo que estamos dispuestos a tolerar. Por lo tanto, la idea de "tolerable" nos lleva a la discusión de las preocupaciones sociales.

5.3 Adoptable social o culturalmente

La respuesta a lo que es 'perdida tolerable' descansa en las personas que se sostienen del bosque; en otras palabras, todos nosotros. De nuevo, la decisión se complica por la incertidumbre basada en información incompleta y las grandes necesidades humanas actuales.

Para que una acción humana sea sostenible a través del tiempo, tiene que cumplir con criterios sociales e individuales, o no se adoptará. Esto es particularmente importante

cuando se considera la introducción de nuevas tecnologías. Por ejemplo, el uso de terrazas en laderas ha sido exitoso en muchas partes del mundo al ofrecer la infraestructura necesaria para mantener el agroecosistema (Lal, 1990). Con frecuencia se ha propuesto la construcción de terrazas en los conucos de la Sierra para reducir la necesidad de abrir nuevos campos para cultivos en áreas forestales (Plan Sierra, comunicación personal); sin embargo raras veces se construyen terrazas, y el mantenimiento es todavía más escaso.

Algunos agricultores dicen a los investigadores que no construyen terrazas porque 'no estamos acostumbrados a eso.' Esta frase hace referencia al segundo componente de la sostenibilidad, la adoptabilidad social o cultural de una acción o práctica. La adoptabilidad cultural es tan compleja como la factibilidad biofísica, debido a que existen muchos procesos y componentes interdependientes de un sistema social que necesitan ser tomados en cuenta para lograr que un proceso sea adoptado exitosamente. Mencionamos algunos de estos procesos en el concepto anterior de utilidad social: la tenencia de la tierra y de recursos es particularmente importante. Pero la distribución de la riqueza y del poder dentro de una comunidad, el nivel general de educación, el entendimiento de la acción particular propuesta y un sentido común de responsabilidad en las decisiones sobre el uso de la tierra, son todos procesos que se deben ser también considerados.

En otros casos, es posible adoptar un nuevo proceso o concepto inmediatamente. Cuando el Plan Sierra introdujo la idea de hortalizas a los hombres de la Sierra, no la adoptaron. Pero cuando la idea se presentó a las mujeres de la comunidad como una forma de contribuir a la salud de sus niños, fue adoptada con entusiasmo, y sigue siendo hoy una fuente importante de nutrientes para las familias de la Sierra. El riego en comunidades montañosas remotas parece imposible hasta que uno ve una comunidad como Los Martínez, en las afueras de San José de Ocoa, floreciendo actualmente con irrigación.

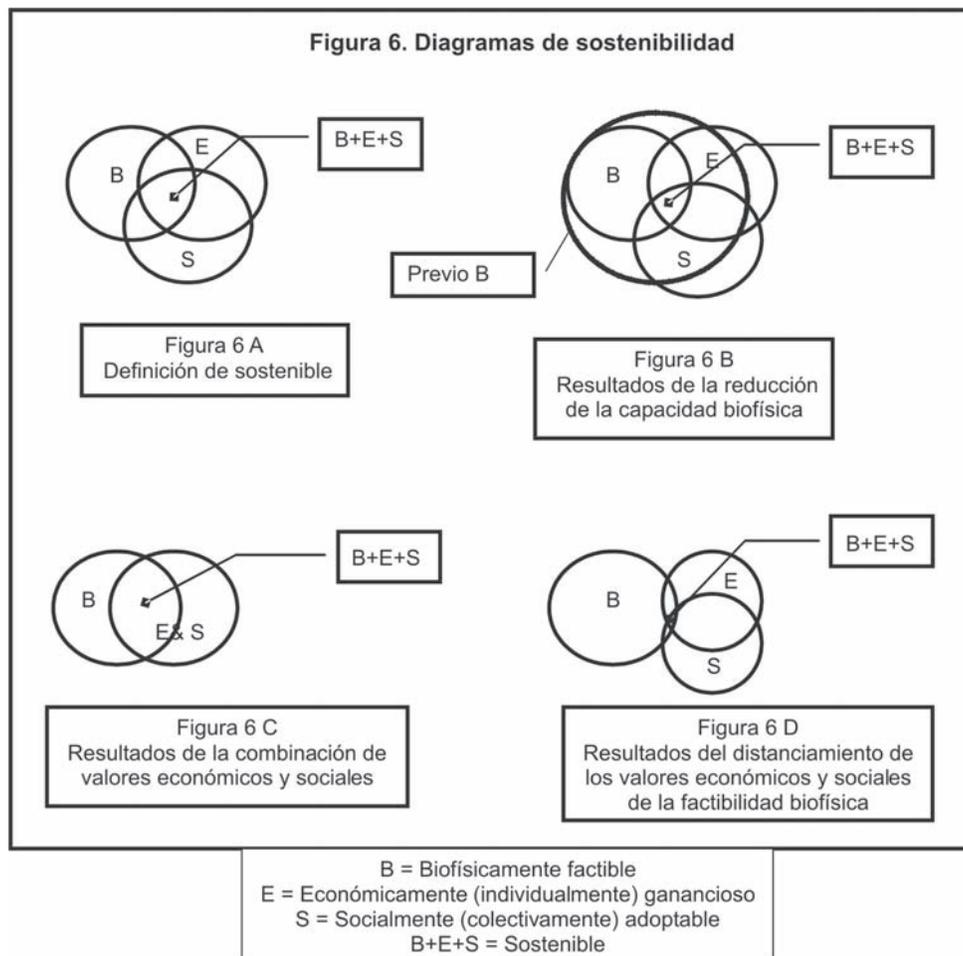
5.4 Económicamente rentable

Otros agricultores rechazan la idea de construir terrazas porque 'sale demasiado caro'. Los costos de la terraza para un agricultor individual deben incluir el de la oportunidad perdida. Tal vez él araba antes con bueyes y ahora tiene que cultivar a mano. Quizás el costo de mano de obra de la terraza al inicio de la temporada de siembra es tan alto que tenga que eliminar la producción de alimentos para toda la familia en otros lugares esa temporada. Finalmente, el agricultor debe también considerar el riesgo de equivocarse en su estimado del costo. La decisión de construir o no terrazas, o de participar o no en un esfuerzo comunitario de construcción de terrazas, al final está en manos del agricultor

individual o de la familia. Si para ese individuo la propuesta es demasiado arriesgada o costosa, entonces no participará y no adoptará la nueva tecnología. Entonces, sin importar la solidez biofísica de la propuesta, y a pesar de que ésta parece culturalmente aceptable, si los individuos no la encuentran rentable económicamente, es probable que la propuesta no se implemente. Obsérvese que 'rentable' no es meramente en términos de efectivo, mano de obra o nivel de vida más alto, sino también en términos de poder y estatus en la comunidad, así como en responsabilidades comunitarias recíprocas.

5.5 Alcanzando la sostenibilidad

Para que una acción sea sostenible debe cumplir con cada uno de los tres criterios representados en la Figura 6a, la cual fue modificada de Firey (Firey, 1960). En este diagrama, como en el mundo real, hay áreas de actividad potencial que no son sostenibles. Las áreas fuera del círculo de factibilidad biofísica (B) no son biofísicamente factibles a través del tiempo, aunque pueden ser culturalmente tradicionales o brevemente rentables en términos individuales.



Una advertencia importante para el uso de este diagrama es que los círculos no son estáticos, sino dinámicos. Por ejemplo, aquél que es biofísicamente factible puede contraerse en la medida en que los procesos del ecosistema, como el ciclo de nutrientes, sean tan simplificados que lleguen a ser improductivos (Figura 6c).

Los cambios sociales pueden hacer que la gente se concentre solamente en la búsqueda de beneficios personales, de tal forma que lo que es adoptable socialmente se combina con lo que es personalmente rentable (Figura 6C). Y el aumento de la población local o una distribución desigual de la riqueza y el poder pueden ejercer una presión tan intensa sobre las capacidades biofísicas del ambiente que impidan que ninguna de las actividades humanas sean sostenibles (Figura 6D).

Así es que una combinación de factores biofísicos, sociales e individuales que han resultado en acciones sostenibles en el pasado, cambiarán a medida que se modifiquen las situaciones ambientales y sociales. No existe un 'equilibrio' ideal a ser identificado e implementado, sino que hay que apuntar a un blanco en movimiento que está cambiando constantemente de tamaño y de lugar.

Mientras más grande sean los círculos, habrá más probabilidad de áreas que se superpongan, o sea, sostenibilidad. Por lo tanto, mientras más concientes estén las personas de las opciones que tienen, mientras más abierta sea una sociedad al cambio y la innovación, habrá mayor probabilidad de que los círculos económicos y sociales se amplíen. Bajo ciertas circunstancias, la tecnología puede ayudar a agrandar el círculo biofísico, pero el asunto de la sostenibilidad a largo plazo cada día más pone en duda los 'remedios' tecnológicos que sólo se interesan en uno o pocos de los procesos biofísicos.

Entonces, lograr la sostenibilidad requiere que las personas tengan suficiente autoconfianza para buscar soluciones y probar nuevos enfoques, suficiente educación (no necesariamente formal) para considerar alternativas, y una vía para descubrir esas alternativas. Los gobiernos interesados en apoyar iniciativas sostenibles tienen que brindar el ambiente regulatorio que permita el cambio e incentive un uso de la tierra menos dañino y, donde sea factible, apoyar la investigación en alternativas que las comunidades puedan probar.

6. Concepto 5: Implementación

Los primeros cuatro conceptos claves para un entendimiento de la foresta y la agroforesta eran por lo menos parcialmente teóricos en naturaleza. Este último concepto contiene las “herramientas”, si se quiere, los tipos de tecnologías disponibles para hacer cambios en las acciones humanas que, a su vez transforman la forma en que percibimos y manejamos los bosques y campos. Para facilitar la discusión de las herramientas disponibles, clasificaré la acción humana hacia los bosques y la agroforesta por tipos de actividades de manejo.

Estas categorías generales de uso humano se establecen sólo por conveniencia. Por supuesto, éstas se pueden encontrar traslapadas, como las variedades de bosques en la República Dominicana.

1. Manejo como una reserva, como es el caso de los parques nacionales, reservas científicas, manglares, y tal vez las zonas de protección ribereña.
2. Manejo para la producción de maderas, incluyendo leña, carbón, varas, madera de aserrío, madera de artesanía y ebanistería.
3. Manejo para productos no maderables, incluyendo la guajaca, bromelias, orquídeas, viñas, hierbas, especias, y otras plantas medicinales.
4. Agroforesta, o la combinación de cultivos alimenticios anuales, o pastos con el manejo de árboles, incluyendo café y cacao.

Una sola propiedad fácilmente puede tener las cuatro categorías de uso, pero podrían estar separadas en tiempo y espacio.

Hay algunas herramientas o enfoques comunes a las cuatro categorías: **inventario, detección de cambios y retroalimentación, educación y colaboración, y acceso**. Cada una de esas herramientas se puede emplear de manera diferente dependiendo de los resultados deseados. Por ejemplo, el aspecto del acceso a los parques o reservas muchas veces es un asunto de limitar el acceso, mientras que el manejo para la producción de madera requiere de un acceso excelente para la extracción. Entonces, el acceso es tratado por separado. Pero existe suficiente material común en las demás herramientas para primero presentarlas como generalidades.

6.1 Herramientas comunes

La necesidad más común para tomar una decisión sobre acciones presentes o futuras es saber con qué tiene que trabajar. Es importante conocer no solamente las características del ambiente sino también el contexto político, social, y económico en los cuales operará la acción propuesta. La metodología comúnmente usada es a través de una encuesta o inventario.

6.1.1 Inventarios

Hasta hace muy poco, hacer un inventario de los recursos forestales y los suelos era necesariamente un asunto lento y costoso. En el mejor de los casos, se tomaban fotografías aéreas, se interpretaban y se realizaba el control de campo. Se usaba una muestra pequeña para confirmar las clasificaciones basadas en las fotografías, cuyas categorías eran escogidas con frecuencia por profesionales extranjeros. Todo eso se conducía a nivel nacional, costaba mucho dinero (financiado hasta ahora con fondos internacionales), y solía ser de uso limitado a nivel de un proyecto o de un dueño. Debido a los costos fijos sumamente altos de adquisición de fotos aéreas, los vuelos se efectuaban infrecuentemente y a una escala grande. De igual modo, los mapas productos de tales esfuerzos eran costosos de producir y por lo general no estaban disponibles.

Pero en los últimos 5 años, el desarrollo paralelo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de imágenes por satélite de alta resolución y a un costo moderado ha hecho posible muchos niveles de inventarios a costos razonables. Todavía más, los inventarios no tienen que ser actualizados al momento de dibujar sus mapas, porque las imágenes de satélite se pueden obtener cuando se desean, son relativamente baratas y tiene resoluciones de mucho menos de un metro. El SIG, una vez establecido, no tiene que depender solamente de la obtención futura de imágenes satélites sino que también puede ser actualizado por trabajadores de campo con mapas dibujados a mano o, si hay financiamiento disponible para equipos, con los datos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS o SPG).

Tanto las imágenes de satélite (disponibles desde varios países, y subsidiados por algunos) como el SIG requieren de algunos conocimientos técnicos y entrenamiento para usarlos, y computadoras más o menos poderosas para funcionar. Ya en la República Dominicana hay laboratorios de SIG listos para manejar un inventario nacional, por lo menos en términos de equipos y programas disponibles en dos universidades (UNPHU y el ISA). El reto es encontrar la manera de evitar duplicación de esfuerzo y hacer accesible el SIG para que una variedad amplia de profesionales en recursos naturales pueda producir inventarios individualizados a una fracción del costo del sistema viejo (Ver Apéndice G: SIG para la República Dominicana).

Pero hacer un inventario del mundo biofísico visto desde un satélite, aunque impresionante, sólo es el comienzo. Como vimos en la sección del ecosistema, los procesos del suelo son por lo menos tan importantes como los de la superficie, y no son fáciles de detectar desde los satélites (aunque el mejoramiento en las técnicas de interpretación ha

ayudado). Aunque el SIG puede establecer una base precisa, el inventario de suelos, especialmente el contenido de carbono orgánico, todavía necesita investigación in situ.

El inventario normalmente se basa en muestreos, más precisamente en muestreo estratificado. El principal objetivo de usar muestreo estratificado es de tratar de categorizar con precisión áreas similares para que la mayor parte de la varianza poblacional esté expresada entre las categorías y lo menos posible dentro de ellas (Freese, 1962; Freese, 1967). Para categorizar áreas, se requiere conocer cuál aspecto de la variabilidad de la población se quiere aislar. Por ejemplo, un inventario forestal para cuantificar el volumen de madera requerirá categorías que reflejen áreas con volumen de madera similar, mientras que un inventario para un hábitat de vida silvestre podría usar categorías completamente diferentes. Aun si los sitios de muestreos de campo tomaran información similar, los medios de análisis y de resumen estadístico resultarían en vistas del área muy diferentes. Una vez que se hayan asignado las categorías, y se haya efectuado un programa de muestreo, es difícil, si no imposible, usar estos datos para otros fines, ya que habrían sido categorizados diferentemente.

Así es que, en el diseño de un inventario, es útil emplear categorías que definan clases de vegetación sin tener recursos específicos en mente, en vez de usar las categorías que se diseñaron para un solo fin de implementación o para un solo recurso. Fácilmente se puede hacer una búsqueda dentro de un inventario general de vegetación que sirva bien a las necesidades tanto de un investigador de la biodiversidad como de un técnico forestal (ver el Apéndice H para detalles sobre el inventario de bosques).

El inventario del estatus biofísico de cualquier pedazo de terreno es importante para determinar cuáles son las opciones de uso sostenibles. Pero sin una valoración precisa de los contextos sociales y económicos de las acciones, el inventario biofísico no servirá de nada. Un método común para contar las personas es el censo, y se lleva a cabo en la mayoría de los países con éxitos variados. Como los resultados de un censo tienen implicaciones políticas, especialmente en una democracia representativa o una república, el diseño y la ejecución del censo pueden estar influidos políticamente, como ocurrió en los Estados Unidos sobre el posible uso de muestreo en el censo de 2000. Lo más que hace un censo es contar las personas y registrar sus respuestas a preguntas sobre ellas, sus familias, sus empleos y sus ingresos. Al igual que los inventarios biofísicos, las categorías que se construyen antes o después del censo con miras a agrupar, agregar, y definir a las personas y sus características pueden hacer una gran diferencia en los resultados. El censo está diseñado para dar respuesta a nivel nacional y en muchos países la información que identifica la localización de las personas se excluye para proteger su privacidad.

Se han desarrollado varias técnicas para corregir las debilidades del mejor de los censos, especialmente en África, que han resultado muy útiles en el establecimiento de la tenencia informal o extralegal de tierra o de recursos, y también para identificar la distribución local de poder y de riqueza (Gordon y Bentley, 1990; Swinkels, 1990; Scherr, 1991; Scherr, 1992; Research, 1997). Este tipo de inventario no supone la existencia de un orden social vigente, y como resultado con frecuencia revela contradicciones ignoradas por aquéllos muy familiarizados con las estructuras de tenencia y de poder. Buenas técnicas antropológicas nos deben permitir entender las condiciones a través del mundo, y he encontrado estas técnicas útiles en los Estados Unidos para descubrir las relaciones informales de tenencia entre agricultores comerciales y terratenientes (Pelto y Pelto, 1978).

Por ejemplo, una evaluación rural rápida podría consistir de las siguientes herramientas de ciencias sociales:

- Técnicas de entrevista y diseño de preguntas para individuos y hogares.
- Métodos para comparar información de fuentes diferentes.
- Técnicas para entrevistar a grupos, incluyendo entrevistas a grupos focales.
- Técnicas de muestreo para objetivos particulares.
- Métodos rápidos de evaluación de datos cuantitativos (censo local).

La evaluación rural rápida contiene herramientas tanto verbales como no verbales, e incluye técnicas —como la triangulación— para comparar resultados de diferentes herramientas a fin de validar rápidamente los resultados (Gordon y Bentley, 1990; Marcucci, 1990; Swinkels, 1990).

6.1.2 Detección de cambios y retroalimentación

Para detectar cambios es necesario sólo mirar los lugares apropiados durante los intervalos de tiempo correspondientes; la dificultad está en determinar dónde y cuándo mirar. El problema de detección de cambio tiene dos vertientes: primero cuáles cambios son importantes en los parámetros ambientales y sociales, y segundo, cómo detectar cambios en ellos. Por ejemplo, la meta de un proyecto puede ser reducir la erosión. Esto implica que uno conoce la tasa de erosión antes de empezar el proyecto y que los cambios en la tasa de erosión se pueden calcular con cierto grado de confiabilidad. Cualquiera que trabaje en investigaciones de erosión podrá decir que esto no es una tarea sencilla

ni obvia (Lal, 1994). El problema es que sin una medición confiable de cambio, no hay manera de determinar si el manejo está cumpliendo con sus metas establecidas.

Algunas de las metas de proyectos expresadas con más frecuencia son:

- Reducir erosión.
- Reducir la sedimentación de arroyos y ríos.
- Mejorar la productividad del suelo.
- Mejorar el secuestro de carbono.
- Aumentar el nivel de vida de los pobladores de las montañas.

Es difícil y muchas veces costoso medir el progreso hacia cualquiera de estas metas. Otros objetivos más específicos son más fáciles de medir, pero tal vez menos útiles en la determinación del verdadero progreso ambiental o social.

Por ejemplo, la meta de “mejorar la productividad del suelo” debe partir de niveles de producción ya conocidos; sin embargo, la productividad casi nunca se mide antes del desarrollo (¡y financiamiento!) del proyecto. Detectar un cambio en la productividad requiere necesariamente el conocimiento de la condición anterior, así como la productividad durante y después del inicio del proyecto. Lo que pasa con demasiada frecuencia en los proyectos con metas de productividad es que el progreso se asume, en vez de demostrarse, y los cambios en las dirección del proyecto que podrían mejorar la productividad no se implementan por falta de monitoreo.

Dado el marco político y financiero en que debe funcionar un proyecto, los diseñadores deben determinar lo mejor que puedan y con antelación cuáles propósitos tienen componentes medibles e incorporar la detección de cambios (monitoreo) y la retroalimentación dentro del proyecto. La “retroalimentación” sencillamente es la cualidad de estar abierto a los cambios sugeridos por el monitoreo del proyecto.

6.1.2.1 Detección de erosión

La erosión se mide de varias maneras. Un experimento común es establecer varias parcelas dentro de una área antes de empezar el manejo propuesto, medir la cantidad de suelo de las parcelas que se pierde durante las lluvias, y luego calcular la pérdida del suelo por áreas basado en las parcelas muestreadas (Lal, 1994). Esta pérdida inicial de suelo se compara luego con la que ocurre durante y después del uso de otro tipo de manejo.

Este tipo de experimento, para ser eficaz, requiere visitas frecuentes al sitio y muchas mediciones, pero exige muy pocos equipos costosos y técnicas de medidas sofisticadas.

Es muy difícil detectar la erosión sin algún arreglo experimental. Cuando se propone el control de erosión como objetivo de un proyecto, implica que habrá monitoreo. La erosión y el control de la sedimentación son dos de las metas más difíciles de monitorear.

Una complicación adicional en la detección de erosión es que los estudios de pequeños lotes indican muchas veces un transporte limitado de partículas de suelo. Si el área de perturbación del suelo es pequeña, relativa a un área mayor con vegetación, la erosión (cuya evidencia se nota por la detección de movimiento de partículas) será mucho menor a la erosión acumulada de muchas parcelas similares, contiguas y sin áreas de vegetación entre ellas. Detectar los efectos acumulativos normalmente requiere que se considere un paisaje fuera de la escala del área del proyecto y que tome en cuenta otras actividades que ocurren en el área de influencia de la cuenca, estimando o midiendo la erosión total del área (Rose, 1994; Lal, 1998).

6.1.2.2 Detección de sedimentación

La manera clásica de determinar la carga de sedimento es combinar las medidas de sedimentos en suspensión con las medidas de carga del cauce, a fin de calcular la carga total de sedimento. Hay dos problemas con esta técnica: uno, no identifica las fuentes, y dos, no incorpora bien la carga del cauce que se originó en eventos anteriores y que no se ha movido durante años (Benda, 1994).

La erosión (o el desplazamiento de partículas del suelo) y la sedimentación (o la deposición de partículas del suelo) son procesos intuitivamente relacionados. Pero la mecánica de su relación es mucho más compleja y más pobremente conocida de lo que muchos se imaginan. Aunque las partículas de suelo se desprenden de un campo empinado, no llegan necesariamente como sedimento al curso de agua más cercano. La vegetación o la geografía del terreno pueden atraparlas en su recorrido y también podrían tal vez unirse permanentemente a otro suelo.

Ya hemos revisado la ecuación universal de pérdida de suelo. Fue diseñada para inclinaciones ligeras en agricultura de zonas templadas. Aun con varias modificaciones y ecuaciones alternativas, la medición de la erosión no se correlaciona necesariamente con la incidencia de la sedimentación.

La sedimentación se mide por la turbidez del agua (para sedimentos suspendidos como arcillas y limos) y por la medición y cálculo de la carga base de un arroyo (la canti-

dad de grava y arena que un arroyo puede llevar consigo durante flujos altos). Es una medida específica del sitio, bastante intensiva, y sólo indica lo que ha llegado al agua en el pasado. No provee un estimado de la tasa del sedimento que está llegando actualmente o llegará en el futuro. Se están llevando a cabo investigaciones que podrán representar modelos de acumulación de sedimentos basados en las complejidades de la cobertura del paisaje y las condiciones del suelo, precipitación (para un evento, no del promedio), pendiente, y distancia a través de la vegetación hasta el curso de agua, pero el modelo todavía no se ha desarrollado completamente. Donde ha sido exitoso, ha requerido información precisa sobre los eventos de precipitación, excelentes modelos computarizados para pendientes y aspecto, así como mapas recientes y precisos de vegetación.

6.1.2.3 Sucesión o dinámica de plantas

La detección de cambios en agrupaciones y tamaño de plantas es mucho más fácil que detectar la erosión o la sedimentación, porque las plantas son mucho más fáciles de ver y de evaluar. Pero como han demostrado las investigaciones sobre la dinámica del bosque, no sólo son las plantas dominantes sino también las del sotobosque que se deben estudiar y evaluar (Oliver, Osawa et al, 1993; Oliver, 1996). La presencia de especies indicadoras del sotobosque al igual que de estratos superiores frecuentemente sirve de sustituto para la información sobre suelos y sus procesos (Foth, 1984). A veces éste es el único análisis de suelo que un proyecto puede pagar.

Las técnicas de detección de cambios varían dependiendo de los objetivos del manejo. Un técnico forestal preocupado por la producción de madera medirá diámetros y alturas de especies comerciales de árboles y calculará su densidad por área, mientras que un biólogo de la vida silvestre medirá la presencia y la densidad de las especies de plantas preferidas para anidar y para forraje. Aunque el tamaño de los árboles puede ser importante en algunos casos, es probable que el biólogo se concentre en otras características.

Una característica común a toda detección de cambio es la necesidad de evaluación frecuente y de retroalimentación útil a las personas que toman las decisiones de manejo. Otra, lamentable, pero de característica universal, es la falta de financiamiento adecuado. El reciente mejoramiento drástico en la resolución y calidad de imágenes de satélite, y en la calidad y avances en programas informáticos que procesan estas imágenes en información útil, dan esperanza para el futuro. El mismo sistema que se usa para establecer un inventario se puede emplear para evaluar la respuesta a cambios de la comunidad de plantas durante intervalos bastantes frecuentes (Chrisman, 1987; Goodchild, 1993; Chrisman, 1997)

Entender y detectar los cambios en las comunidades de plantas en términos de biomasa y biodiversidad provee la base para determinar beneficios secundarios, tales como el secuestro de carbono. Como el secuestro de carbono en plantas maderables se calcula a base de la proporción del carbono en la biomasa total, la medición del cambio de la biomasa ofrece la información biofísica requerida para calcular el secuestro de carbono (Berry y Ripple, 1996; Corona, Ferrara et al, 1997; Winjum, Dixon et al, 1997; Lal, 1998). Ver al Apéndice A.

La agroforesta, al incluir los cultivos anuales y perennes, y a veces la limpieza periódica del suelo, requiere una detección de cambios del sitio más específica. La productividad total de cultivos anuales se mide fácilmente, pero es más difícil determinar el mejoramiento del contenido de la materia orgánica del suelo y la capacidad de retención de agua. Uno de los problemas de la investigación de cultivos en callejones (como en plantaciones agrícolas o con palma y sus efectos de borde) es la dificultad de detectar la disminución en rendimiento de un cultivo atribuible a una competencia entre las raíces con la vegetación maderable en su alrededor (Rocheleau, Weber et al, 1988; Kang, Reynolds, 1989; Young, 1989).

La literatura de agroforesta es más completa que la de foresta en asuntos de cambios sociales y económicos. Pero todo proyecto que afecta, directamente o no, a las comunidades locales, tiene que haber establecido una base a partir de la cual se puedan evaluar los cambios (un inventario socioeconómico o una evaluación inicial), y debe entonces monitorear estos factores en la comunidad que fueron escogidos como críticos (por ejemplo, los ingresos de familias y el acceso a los servicios) (Fortmann, 1987; Raintree, 1987; Raintree, 1987; Swinkels, 1990; Scherr, 1991).

6.1.3 Colaboración y educación

Blaikie (Blaikie, 1985) habla de un modelo 'colonial' de pensamiento sobre la erosión del suelo, lo cual puede ser aplicado fácilmente a los campos más generales de foresta y agroforesta. En este modelo, común no solamente entre gobiernos coloniales sino también entre gobiernos independientes, el estado termina "tratando de proteger al medio ambiente de la mayoría de las personas que lo utilizan". Este enfoque clásico culpa a las personas marginadas por ser marginadas, en primer lugar, y por todas las acciones posteriores que tomen para poder sobrevivir.

Cuando la 'colaboración' y la 'educación' comienzan con el concepto de que los campesinos son el problema que hay que arreglar, muy poco avance se podrá lograr con es-

tos dos enfoques. Si el problema se percibe que tiene su raíz en el pueblo, si la pobreza es considerada como una característica personal innata, entonces no tiene sentido involucrar a las personas en la solución. Esta actitud dominó la mayoría de las organizaciones de ayuda y agencias gubernamentales durante décadas, y todavía sigue siendo común. Basado en esta actitud, se han gastado millones de dólares en programas bien intencionados que no han sido exitosos.

“La educación”, según este modelo colonial, significa imponer un modelo superior de vida a personas inferiores, con la esperanza de que al aprender este modelo les ayudará a superar su inferioridad. Por ejemplo, la 'educación ambiental' es un programa que muchos han desarrollado o desean desarrollar en escuelas rurales para que los pobres aprendan los errores que se han cometido y aprendan a mejorar su comportamiento hacia el ambiente. Debido a que enfocan la educación con una actitud colonialista y omiten incorporar el contexto y el conocimiento local, estos programas no han hecho en el largo plazo una diferencia significativa en las actitudes o en el comportamiento de los pobres rurales (Marcucci, 1990; Scherr, 1991; Research, 1997).

Si por otro lado se considera la pobreza como una condición impuesta, por lo menos en parte, por condiciones externas, algunas históricas y otras actuales, entonces los pobres usuarios rurales de la tierra pueden ser vistos como socios legítimos en la búsqueda de soluciones. El mejor de todos los posibles escenarios es aquél en que la mayoría de los oprimidos por la pobreza se la ingenian para escapar de ella. A menudo esto ocurre en la República Dominicana, donde la gente de la comunidad se ha organizado y ya están en búsqueda de soluciones.

La Federación de Productores del Bosque Seco del Sur (FeProBoSur), en Azua, es un ejemplo de un grupo de comunidades que trabajan juntas para encontrar soluciones a una situación opresiva. Originalmente organizada para eliminar a los intermediarios, que tomaban el 90 por ciento o más de las ganancias por las ventas de carbón, la organización ha intervenido en muchos tipos de producción del bosque seco, y ha buscado la forma de obtener un ambiente regulatorio más flexible. Han logrado asistencia del gobierno alemán a través de GTZ y ha extendido su influencia a más comunidades en el área.

Su labor es imperfecta y no siempre exitosa. Pero se ven determinados a aprender de sus fracasos, encontrar nuevos mercados para los productos del bosque seco, y mejorar de igual modo el bienestar de la comunidad con proyectos de agua y caminos vecinales. Mientras sus proyectos han florecido, aquellos otros presentados de arriba hacia abajo a los pobres han tenido una tasa de éxitos muy baja. Usando la terminología de Fi-

rey, la gente debe saber que tienen alternativas y que para que estén dispuestos a cambiar, éstas deben ser individualmente beneficiosas. Por consiguiente, es más ventajoso para cualquiera que esté interesado en producir un cambio trabajar con la gente desde su situación actual hacia un escenario diferente, en vez de tratar de imponer un escenario mejorado.

Esto no significa que las ideas no puedan venir de afuera de la comunidad o que inspirados externos no puedan servir como catalizadores para motivar a una comunidad hacia el cambio. El manejo de las estrategias de desarrollo de “arriba hacia abajo”, como también la de “abajo hacia arriba” es un asunto delicado, un acto de balance entre la comunidad y el desarrollo profesional, que llevado a cabo apropiadamente puede generar cambios permanentes y sostenibles.

6.1.4 Acceso

6.1.4.1 Introducción

El concepto de acceso incluye dos facetas. La primera es el concepto de permiso. Las personas sólo tienen acceso a los recursos cuando existe un permiso para su uso y acceso financiero para su uso y disfrute. La segunda faceta, de acceso físico, está vinculada permanentemente al concepto de permiso o acceso social. Por ejemplo, a fin de construir un camino para extraer madera del bosque, el constructor debe primero tener permiso para extraer la madera, y luego para construir el camino. A veces los permisos son por omisión; es decir, que nadie está poniendo atención, o que la acción no es importante al observador. El acceso legal a los recursos muchas veces va ocurriendo a través de los años por el uso discreto, y la ley en muchos países reconoce tal acceso como un fundamento de un derecho por prescripción.

El acceso legal a los recursos también está relacionado con la tenencia de recursos. Si una persona tiene derecho exclusivo a un recurso por vía de un título de propiedad, entonces puede excluir a otras de su uso. Tal exclusión se logra solamente si ésta es reconocida y defendida socialmente, tanto por la comunidad o haciendo cumplir la ley. Pero esto significa también que puede existir un grupo de personas, tal vez la gran mayoría en un área dada, que no tenga derecho al uso de los recursos controlados por una o algunas personas. Construir acceso físico a recursos de una propiedad privada siempre conlleva el riesgo de que las personas que no tienen ningún derecho al recurso quieran, sin embargo, hacer uso del mismo.

Cuando tratemos sobre la construcción de caminos y senderos más abajo, no podemos escapar de la premisa implícita de que el acceso legal o socialmente aceptable a los recursos está permitido, ya sea por omisión, negligencia o explícitamente. Emplear obstáculos físicos para controlar el acceso a los recursos también debe ser considerado, pero históricamente no ha sido la herramienta más eficaz. Desde 1967, el ejército ha controlado el acceso a los recursos forestales en la República Dominicana. La intervención militar es a través de la fuerza: se mantienen presas a las personas por tiempos variables, si son acusadas por los militares de que han hecho uso ilegal de recursos forestales. Por lo tanto, el acceso a los recursos se controla por lo general a través de la fuerza militar, no por la existencia o carencia de caminos y carreteras.

Sin embargo, el abandono intencional de caminos construidos entre el período de tallas relativamente intensos de 1935-1967, también ha contribuido a limitar el acceso a los recursos del bosque. Muchos funcionarios del gobierno consideran que las terribles condiciones actuales de los caminos en áreas remotas es algo positivo y que contribuye al control de la extracción de madera. El problema es que la contribución de la erosión y la sedimentación en los caminos de tierras sin mantenimiento es mucho mayor que la ocasionada por la deforestación que tales políticas están dirigidas a evitar.

Cualquier discusión sobre caminos o senderos forestales implica necesariamente la de los permisos legales o sociales o el acceso a los recursos. Además, la decisión de construir, mejorar, o rehabilitar un camino o sendero tendrá que considerar si el acceso físico así facilitado es apropiado, una vez son tomados en cuenta los asuntos de los accesos legales. Por ejemplo, la construcción de un camino dentro de un parque nacional facilitará la extracción ilegal de madera al igual que el acceso y uso legítimo del parque. Pero si un camino ya está siendo usado, no se debe considerar una propuesta que ignore o que no tome en cuenta el mantenimiento del camino, con el fin de controlar el acceso debido al alto costo social de la erosión ocasionada. Aunque la intención pudo haber sido forzar el abandono de los caminos, éstos no son siempre abandonados y continúan en uso y erosionándose. Aún más, caminos que son meramente abandonados sin tomar en consideración los cambios que han producido en el patrón de drenaje de las laderas, a menudo continúan canalizando las aguas hacia las cárcavas, profundizándose éstas cada vez más y dificultando su estabilización.

6.1.4.2 Caminos y senderos

El acceso a los recursos depende de éstos y de su mercado. Por ejemplo, el acceso a la belleza de un parque nacional se logra mejor al permitir la entrada de unos cuantos fotógrafos, y luego vender las fotos a quienes desean conocer el parque pero sin disturbarlo. De otro lado, el acceso a los productos del bosque requiere caminos para su extracción y manejo forestal.

Los caminos y senderos deben ser planificados, tanto en su construcción como en su posterior mantenimiento y uso. Como muchas veces los senderos se hacen a través del simple uso, no son tradicionalmente planificados. Pero un sendero mal diseñado o ubicado puede causar tanta o más erosión que un camino de tierra promedio. Hay muchos senderos en las montañas de la República Dominicana que están a dos metros debajo del nivel superficial, debido a la erosión constante de sus superficies. Esto es de importancia particular para quienes manejan los recursos de parques donde los senderos existentes pueden no dar acceso a los lugares deseados, o donde los senderos existentes causan tanta erosión que deben ser eliminados y reemplazados.

La primera preocupación en la planificación de una nueva construcción o la rehabilitación o mejoramiento de caminos y carreteras existentes es la erosión y sedimentación, y como corolario, su consecuente mantenimiento. Donde la erosión está controlada o limitada por el diseño, el mantenimiento subsiguiente es más fácil. Pero donde los caminos se construyen sin medidas de control de la erosión, el mantenimiento es constante y caro. En términos de erosión, cualquier camino es malo, porque todos, aún los mejor pavimentados, contribuyen a la erosión porque concentran el agua que les cae encima en unas cuantas áreas de drenaje. Por lo tanto, el camino ideal para el control de la erosión es la ausencia de camino. Pero si es necesario construirlo, los siguientes factores siempre son importantes en el control de la erosión:

Pendiente: mientras más empinado es el camino, más seria será la erosión. Así mismo, mientras más fuerte es la pendiente transversal donde se abrirá el camino, mayor probabilidad existirá de que su presencia haga cambiar el movimiento de agua a través de la pendiente, concentrándola en áreas que no han sido preparadas para tales cantidades de agua.

Estructuras de drenaje: mientras menos estructuras de drenaje sean construidas o incorporadas en el diseño del camino, mucho más seria será la erosión. Aquí, las estructuras de drenaje incluyen:

- pendiente de los caminos (éstos deben ser hechos con un declive mínimo, ya que por lo general acumulan menos agua y crean menos erosión);

- control de erosión en la superficie de los caminos (los que tienen badenes o reductores de velocidad controlan la velocidad del agua y su acumulación más abajo, reduciendo de esta forma el transporte de sedimento);
- y el diseño para el cruce de alcantarillas (los badenes requieren mucho menos mantenimiento que los puentes y fallan con menos frecuencia), en adición a las estructuras de drenaje más tradicionales, como las acequias.

Ancho: manteniendo los demás factores inalterables, mientras más estrecho es el camino, menos erosión causará. Por lo tanto, el ancho del camino o sendero debe ser minimizado para controlar la erosión, al igual que para las necesidades de mantenimiento. Sin embargo, el ancho se determina también por las necesidades de acceso y la seguridad de los conductores, tendiendo ambos factores a exigir caminos más anchos.

Longitud: Mientras más largo es el camino, mayor probabilidad de que falle en algún punto de su trayecto y mayor su contribución a la erosión y la sedimentación de la cuenca donde se ha construido. Pero los caminos están diseñados para el acceso y tienen que llegar al recurso requerido. Si se desea minimizar su longitud, se puede combinar la construcción de caminos permanentes para ciertas formas de acceso (normalmente de uso más frecuente) con el uso de caminos temporales que después pueden ser cerrados o eliminados.

Pavimentación: Aunque muchos diseñadores de caminos estiman que si se pavimentan sus problemas de mantenimiento quedarán resueltos, cualquiera con experiencia en el mantenimiento de caminos pavimentados les podría refutar. No importa si el camino es pavimentado con cemento, asfalto, o con petróleo y grava, el mantenimiento de su superficie es mucho más costoso que aquéllas sin pavimento, y como resultado hay menos probabilidad de que su mantenimiento se haga con puntualidad. No obstante, cuando aún están nuevos, los caminos pavimentados tienden a sufrir mucho menos erosión por el paso de vehículos que las no pavimentadas, aunque el agua que acumulan todavía crea significativos problemas de erosión.

La segunda preocupación en el planeamiento de caminos y senderos es su uso presente y el que se propone darle en el futuro. Se propone la construcción de caminos y carreteras cuando el acceso a vehículos es necesario, ya sea para servir a la comunidad o para acceso a recursos. Los senderos, por otra parte, se proponen donde el acceso a los vehículos es prohibido, como en el caso de los parques nacionales. Aunque el acceso sólo a través de senderos sigue siendo la norma para unas pocas comunidades remotas, el nivel de vida actual exige acceso a facilidades médicas y educacionales muy difíciles de

lograr a través de senderos. Por lo tanto, probablemente no existe una comunidad en la República Dominicana que no quiera tener acceso a caminos durante todo el año.

Aparte de los caminos principales de acceso a comunidades, la necesidad de tener otros caminos secundarios o senderos para tener acceso a los recursos es otra gran preocupación de los administradores de recursos. Sobre esos caminos y senderos es que el administrador de recursos tiene mayor control, y debe considerarlos cuidadosamente cuando se hacen planificaciones para el manejo forestal, sin importar el tipo. Si un camino se necesita sólo para cosechar durante parte del año, puede que sea más económico, tanto en términos financieros como de erosión, cerrarlo durante el período en que no estará en uso, que tratar de darle mantenimiento.

Cerrar un camino implica más que simplemente ponerle rejas u otras barreras, impidiendo la entrada. El camino debe ser cerrado a la erosión, al igual que al tránsito. Esto quiere decir que se debe restaurar el flujo natural del agua de los riachuelos donde sea posible, quitando los badenes y reacondicionando taludes. Para un cierre permanente, la superficie del camino se puede quitar, y donde sea posible, el nivel del camino se debe llevar a la misma altura que el terreno en su alrededor. Para un cierre temporal, se quitan los badenes y los caminos se allanan para evitar que se concentre el agua de escorrentía y se creen nuevas cárcavas, aunque el camino no se esté usando. Todas estas medidas son costosas a corto plazo, pero previenen problemas significativos y posiblemente catastróficos a largo plazo.

Después de considerar la erosión y las necesidades de acceso, la tercera preocupación imprescindible es la disponibilidad de financiamiento. Aunque muchos de los temas considerados en el control de la erosión también se reflejan en necesidades financieras (por ejemplo, los caminos más anchos son más costosos de construir y también contribuyen más a la erosión), a veces la presión financiera puede urgir la creación de un camino altamente erosivo. Esto se observa con más frecuencia cuando se aumenta la pendiente para limitar la longitud del camino en áreas escarpadas.

6.1.4.3 Limitando el acceso

Así como hay razones para crear o mejorar el acceso a los recursos, también existen buenas razones para limitarlos. El acceso se puede limitar con la fuerza militar, verjas, portones y guardianes, la falta caminos y el cierre de los mismos. La efectividad de estas medidas dependerá de su aceptación por la sociedad. Así como la deforestación ha avanzado en los últimos 31 años en la República Dominicana, a pesar de la fuerza militar que

se ha opuesto, también se han derribado cercas y se han abierto caminos cuando la aceptación de ese comportamiento por la comunidad ha prevalecido.

Limitar el acceso, entonces, requiere dos cosas: limitaciones físicas y sociales. Tratar de establecer una sin la otra no es eficaz. En una comunidad donde todo el mundo tiene propiedad privada, se tiende a respetar la propiedad privada. Pero donde sólo una persona rica tiene propiedad privada y todos los demás no tienen tierra, es mucho menos probable que la propiedad se respete excepto con la presencia de la fuerza.

Sin embargo, buenas cercas ayudan a establecer y mantener los derechos de propiedad. Donde las cercas son respetadas y reconocidas, éstas son muy útiles para contener animales y limitar el acceso humano a recursos privados. Un portón que todo el mundo reconoce como privado en un camino, de hecho controla el acceso. En pocas palabras, medidas físicas para controlar el acceso funcionan bien cuando son reconocidas como válidas socialmente.

Una de las maneras más eficaces de limitar el acceso a recursos forestales remotos es limitar el acceso de vehículos o de personas, es decir, limitar la construcción de caminos. Donde éstos se construyen para dar acceso temporal a una sección de un bosque, se puede ser efectivo limitando el acceso de vehículos cerrando el camino al sacar las alcantarillas y restableciendo intencionalmente el drenaje original de la ladera. Permitir que el camino se dañe por falta de mantenimiento, convirtiéndose en intransitable, ha sido la "solución" donde la falta de financiamiento ha conducido a una condición ambiental peligrosa. Pero, para conservar la calidad del ambiente, es mucho mejor hacer que los caminos o senderos vuelvan al perfil natural y a su vegetación que permitir su continuo deterioro.

6.2 Herramientas para las reservas

Las áreas excluidas del uso extractivo del recurso pueden tener diferentes propósitos y objetivos. Algunas han sido excluidas por su importancia en la preservación de la biodiversidad, mientras que otras pueden ser reservadas principalmente para protección de cuencas hidrográficas. El manejo de estas áreas requiere prestar atención a por lo menos tres asuntos generales: fronteras, uso y acceso, y la cantidad y magnitud del cambio intencional de la vegetación, o los intentos de restauración de previos sistemas vivos.

6.2.1 Fronteras

El manejo de fronteras depende de la presión de los usos alternativos sobre la tierra dentro de la reserva, y de la claridad de la tenencia de la tierra al momento de asignar el área. Especialmente donde la definición de fronteras al momento de asignación se desarrolla en un ámbito de conflictos de tenencia de tierra o de recursos, los límites son motivos de disputas desde un principio. Los administradores de parques que estudian y conocen la historia de tenencia de la tierra y de recursos están en una mejor posición para hablar con las personas que quieren usar los recursos dentro de las fronteras del parque que aquéllos que sencillamente asumen que la definición legal de fronteras de parques ha cerrado la discusión.

¿Por qué preocuparse de sostener largas y difíciles reuniones con gente que está haciendo uso ilegal de las tierras del parque? ¿Por qué molestarse en entender sus reclamos cuando la nueva ley invalida claramente esos reclamos? La respuesta es sencilla: porque otros medios de control del acceso (cercas, patrullas, arrestos) no funcionan consistentemente ni bien, y porque son costosos, tanto en términos económicos como humanos. Aunque el uso de fuerza militar para proteger las fronteras de los parques tiende a prevenir las incursiones, o por lo menos reducir su frecuencia mientras se aplican, se hace a un costo humano enorme. No solamente son los derechos civiles y las dignidades humanas básicas violadas rutinariamente en la acción militar, sino que dichas acciones crean mucho resentimiento contra el parque, lo que contradice directamente los propósitos para los que fue creado.

Poner cercas requiere más dinero que el que tiene la mayoría de los parques, y requiere patrullaje constante para mantener las cercas, otro gasto enorme. Ningún esfuerzo de 'educación' ambiental dirigido a los campesinos que viven cerca del parque es efectivo para controlar las incursiones, a no ser que esté acompañado de un apoyo activo de los administradores de los parques en la búsqueda exitosa de alternativas dignas y viables.

Por lo tanto, los administradores de parques se encuentran frecuentemente involucrados, no sólo manejando la reserva misma sino la zona inmediata que rodea la reserva, o la zona de amortiguamiento. Ya sea que el área de amortiguamiento esté dentro o fuera de las fronteras del parque, un buen gerente de parque deberá estar activamente involucrado en asegurar que la participación de la comunidad también sea activa y positiva. En resumen, el administrador de parque necesita entender las complejidades de los siste-

mas sociales que presionan a los límites de su parque, por lo menos tan bien como los sistemas biofísicos dentro de éste.

6.2.2 Uso y acceso

Aún las reservas diseñadas con el propósito de mantener la biodiversidad necesitan tener acceso, por lo menos, a sus fronteras. Las reservas que tengan planes de acomodar alguna incursión humana, ya sean científicos estudiando el sistema o turistas para admirar su belleza, necesitan tomar en cuenta el acceso.

Este plan debe contemplar seriamente la red existente de caminos o senderos y la posible construcción de rutas de acceso adicionales o alternativas. La frecuencia e intensidad de uso, tanto actual como futura, deben ser combinadas con un conocimiento pleno del propósito del uso (científico o turístico) para diseñar una red de acceso útil pero mínima.

En general, algunas investigaciones han demostrado que mientras más ancho sea el sendero o la carretera, más profunda es la perturbación o los efectos de bordes que rodean el bosque. Sin embargo, el administrador debe balancear el efecto de borde creado por un sendero grande de acceso con el efecto de muchos senderos pequeños espontáneamente creados a través de la reserva, que resultan con frecuencia cuando el sendero principal es difícil de seguir.

Para ilustrar el concepto, supongamos que construimos un sendero principal, de 1.5 m de ancho, a través de 1,000 hectáreas de parque. Supongamos que el sendero es de 1 km de largo y que la perturbación que causa es igual a su ancho más un amortiguamiento de 2 metros a cada lado. El área total perturbada sería entonces de $1,000 \text{ m} * (1.5 \text{ m} + 4 \text{ m}) = 5,500 \text{ m}^2$. Dos senderos estrechos de solo 0.75 m de ancho cruzando la misma área de parque también perturban cada uno la misma área de amortiguamiento. Su área total de perturbación es entonces de $2*(1,000 \text{ m} * (0.75 \text{ m} + 4 \text{ m})) = 9,500 \text{ m}^2$. Por consiguiente, se puede controlar gran parte de la perturbación con una buena planificación de senderos.

6.2.3 Restauración y ecología de la restauración

La restauración es un concepto interesante. Implica que uno sabe la condición original de lo que se va a restaurar, y sabe como llevarla de su condición actual a otra por lo menos similar a la original. Por ejemplo, para restaurar una mecedora vieja, con su asiento roto y sus juntas flojas, podríamos desarmarla, quitar todas las capas viejas de pintura y

barniz, reemplazar el asiento de mimbre por uno nuevo, y armar todas las piezas con cola pegante más fuerte. Terminamos el trabajo con unas cuantas manos de poliuretano (o barniz, si queremos conservar los mismos detalles). La mecedora lucirá nueva y funcionará como antes lo hacía, pero será diferente de su condición original en muchos aspectos sutiles: fortaleza de la madera, ajuste de las uniones, etc.

Restaurar una parte de un cuerpo vivo es mucho más complejo, porque tenemos que mantener vivo el organismo durante el proceso. Los avances recientes en la medicina han hecho posible la sustitución de articulaciones defectuosas, como caderas y rodillas. Los médicos aprendieron a reemplazar articulaciones mediante el estudio cuidadoso de cómo funcionan en todas sus complejidades, luego trabajando con ingenieros de materiales para diseñar articulaciones artificiales que no sean rechazadas por el sistema inmunológico del organismo y que trabajen bien con el resto de los huesos y músculos del cuerpo. Los problemas más grandes en tales intervenciones quirúrgicas son mantener el resto del sistema (el cuerpo) vivo durante la reparación y asegurar que la reparación será aceptada por el sistema.

Cuando lo que deseamos restaurar es un ecosistema, o mejor dicho, como sabemos que los ecosistemas son sólo mapas, quizás una parte de nuestro ambiente, entonces el asunto es mucho más complejo. La ecología nos ofrece estudios que nos ayudan a entender cómo estos sistemas se ponen juntos. Al igual que los médicos o carpinteros estudian las uniones en los ejemplos de arriba, los ecologistas estudian los distintos procesos en complejos sistemas vivos para entender no solo cómo funcionan sino cómo funcionan con otras partes del sistema.

Con frecuencia, no estamos claros en cómo era la condición 'original' del ecosistema: ¿En qué momento específico de los ciclos dinámicos de un ecosistema deseamos congelar la acción lo suficiente como para reproducir lo que está allí? Debemos escoger alguna etapa como punto de partida. Tal como el deseo de restaurar el sistema es una emoción o un interés humano, el punto de partida es igualmente arbitrario y humanamente asignado. Esto no implica que los seres humanos controlan todos los aspectos de un complejo sistema ambiental, sino que el punto del comienzo que escogemos es sólo eso: una decisión.

Pero la restauración de procesos ambientales es un trabajo mucho mayor que restaurar una mecedora o reparar un ligamento humano. Es mucho más que plantar árboles y otras plantas con la esperanza de que la fauna aparezca. Requiere saber cuáles componentes son necesarios para que ocurra un proceso. Algunas veces estos componentes

no estuvieron presentes en el momento escogido para la restauración, pero que serán necesarios al comienzo de la reconstrucción.

Por ejemplo, supongamos que deseamos restaurar la diversidad de especies todavía evidente en parches aislados de bosque seco en una porción muy degradada, digamos en Azua. Después de hacer un inventario cuidadoso del parche remanente en Azua, podríamos notar que la deficiencia mayor del terreno es la materia orgánica del suelo y consecuentemente la capacidad de retención de humedad. Haríamos todo lo imaginable para restaurar la materia orgánica del suelo, limitado solamente por nuestro deseo de imitar el proceso original de creación de la materia orgánica en el suelo. Podríamos considerar la importación de compost, o la siembra de árboles exóticos de rápido crecimiento, que luego se cortarían para ser usados como cobertura, o tal vez rechazaríamos esos métodos. Como el médico que reemplaza una articulación de rodilla, quizá decidamos usar materiales artificiales (en este caso, no nativos) para lograr nuestras metas. Probablemente cercaremos el área para evitar la entrada de chivos. Cuando creemos que ya el suelo es capaz de retener humedad, trataríamos de reintroducir las especies de plantas.

Intentar reconstruir una parte de un sistema vivo es un ejercicio científico de síntesis, en vez de analítico (Jordan, Gilpin et al, 1987). Requiere la combinación de ciencia del suelo, la silvicultura, y todas las demás especialidades que han hecho aportes analíticos al sistema a restaurarse. Lo que estamos tratando de restaurar no es una foto de una postal, sino el funcionamiento de un sistema completo. Sabemos que los bosques tienen historial reconocible o etapas de desarrollo, aunque no estamos seguros del porqué. Sabemos algo de esas etapas, pero no sabemos si son necesarias para la restauración de una etapa más tardía de desarrollo (Primack, 1993).

La decisión de intentar la restauración dentro del esquema de un parque o una reserva requiere algún conocimiento previo del sistema a restaurar. Pero la restauración es un asunto práctico y no puede esperar 'suficiente' información (Jordan, Gilpin et al, 1987). Por lo tanto, uno empieza con lo que ya sabe y trata de aprender más en el camino. Siempre que tenga en mente establecer en primer lugar los procesos fundamentales del suelo, y en segundo lugar las comunidades de plantas, cualquier error que se cometa probablemente podrá ser corregido. La restauración, como cualquier otra actividad humana en el bosque, merece un sistema cuidadoso de monitoreo para ayudar a guiar futuras decisiones.

6.3 Herramientas para la extracción de madera

6.3.1 Introducción

El manejo de la extracción de madera es una actividad cotidiana en todo el país y continuará siendo esencial, especialmente para los más pobres. La liberalización de leyes que prohibían la cosecha de madera retan a los forestales, dueños de terrenos y quienes usan el bosque, a desarrollar sistemas sostenibles y productivos. La extracción de madera se puede llevar a cabo junto con la agricultura en algún tipo de sistema agroforestal, o puede derivarse de bosques residuales nativos, plantaciones de especies nativas, o plantaciones forestales exóticas. Para ser sostenible, el primer pensamiento, aún antes de cortar el primer árbol, debe ser la reforestación.

La reforestación puede ocurrir naturalmente, pero aún así debe planificarse. Árboles como el cambrón podrían desarrollarse por medio del destroncado o por la regeneración de raíces, mientras que los pinos, cuidadosamente manejados, pueden regenerarse de semillas naturalmente sembradas. Donde el forestal esté considerando la regeneración artificial, la selección de especies apropiadas es clave.

6.3.2 Selección de especies

Hay varios factores importantes a considerar para la selección de especies o un grupo de especies de árboles para sembrar. Uno de ellos es la intención de uso del árbol, pero esto puede ser más complejo de lo que aparenta. Debido a que los árboles toman años o décadas para madurar, el mercado para sus productos puede cambiar drásticamente entre la siembra y la cosecha. Sembrar árboles que satisfagan las necesidades del mercado de hoy ha probado ser poco rentable, porque el mercado puede ser muy diferente cuando los árboles estén listos para corte (Raup, 1966).

Por consiguiente, el forestal cauteloso seleccionará especies que cumplan varios propósitos a la vez, o sembrará una mezcla de especies. Depende de varios factores si estas especies deben ser nativas o exóticas o una mezcla de las dos:

- Capacidad de las especies de producir los productos deseados y su tasa de crecimiento.
 - Disponibilidad de mercado para los productos al momento del corte.
 - Otros objetivos del manejo forestal.
 - Riesgo de enfermedades o infestación por insectos.
 - Certeza de la política al momento de la cosecha.
 - Disponibilidad de semillas o plántulas.
-

6.3.2.1 Tasas de crecimiento de las especies

Muchas veces se seleccionan especies exóticas porque investigaciones internacionales ampliamente divulgadas han mostrado tasas de crecimiento maravillosas para algunas de esas especies, especialmente leguminosas. Las especies nativas, por otro lado, no han sido suficientemente estudiadas y reportadas. Bajo condiciones ideales de humedad y suelo, las exóticas con frecuencia sobrepasan a las nativas. Pero con condiciones adversas, especialmente las de insectos, enfermedades, y condiciones climáticas propias de los sistemas locales, las especies nativas muchas veces tienen mejores tasas de sobrevivencia. El forestal debe, por consiguiente, considerar los riesgos y las probabilidades de condiciones adversas durante la vida de la plantación propuesta, con respecto a la posibilidad de ganancias sustanciales cuando se consideran las especies exóticas de rápido crecimiento. Ver Apéndice C para cálculos de la tasa de crecimiento para árboles individuales y plantaciones.

6.3.2.2 Disponibilidad de mercado para los productos

Una de las razones más determinantes para sembrar *Acacia mangium*, por ejemplo, es su potencial de venta en el mercado local. Aunque la siembra de árboles para aserrío puede producir rendimientos muy atractivos, esto dependerá de la capacidad de procesamiento, la cual puede que no esté disponible al momento de la cosecha. La demanda de *A. mangium* como material para postes y varas asegura su mercado y permite su comercialización a una edad más temprana que una especie que sólo sirve para aserrío. Un forestal que contempla introducir un árbol exótico o utilizar uno nativo debe considerar no solamente los mercados actuales y la capacidad de aserrío, sino también la situación futura de los mismos. Cuando el futuro es incierto, es aconsejable plantar diferentes especies.

Otra herramienta estratégica para el forestal es la búsqueda activa de mercado, cuando los árboles se acercan a la madurez. Es decir, el forestal no se debe conformar con lo que existe en el mercado, sino que debe involucrarse activamente en el mercadeo del producto que su bosque producirá en unos años, para que tenga una buena recepción al momento de cosecharlo. Tener un mercado es tan importante como cualquier otro aspecto del cuidado de los árboles, porque de lo contrario, los dueños de las plantaciones rápidamente perderán su interés en el manejo forestal y podrían cambiar sus bosques a otros cultivos.

6.3.2.3 Otros objetivos del manejo forestal

La producción de madera muchas veces es sólo uno de varios objetivos que puede tener un propietario o gerente. Otros objetivos pueden imponer sus propias restricciones en la selección de especies. Los propósitos de mejoramiento de suelos pueden inclinar la balanza a favor del uso de especies fijadoras de nitrógeno, mientras que la necesidad de medidas rápidas para controlar erosión puede resultar en el uso de especies arbustivas con un sistema radical expansivo. Existen otros requisitos para establecer sombra para cultivos no maderables, como el café o el cacao, mientras que un sistema silvopastoril indicaría el uso de especies resistentes al ramoneo, que compitan bien con el pasto.

6.3.2.4 Riesgo de enfermedades o ataques de insectos

La historia del manejo forestal contiene muchos ejemplos de plantaciones de árboles, 'milagrosas', de especies exóticas que producían fabulosamente hasta que algún insecto o enfermedad las atacó y las destruyó. Un forestal que contemple la introducción de una nueva especie exótica o la siembra de una especie previamente introducida debe considerar tanto el riesgo de tales ataques y las probables consecuencias si eso pasara. Los riesgos suelen ser bajos pero las consecuencias son excesivamente costosas.

Las especies nativas, por otro lado, han co-evolucionado junto a insectos y enfermedades locales. El *Pinus occidentalis*, por ejemplo, dedica una parte de su fotosíntesis a la producción de resina para resistir enfermedades e insectos. Crece más lentamente que algunas otras especies de pino, pero resiste a muchas enfermedades locales. El riesgo de que una especie nativa sea atacada por algún insecto o enfermedad local es bastante elevado, pero las consecuencias de este ataque normalmente son mucho menos severas que en el caso de las exóticas.

Tanto las especies exóticas como las nativas son igualmente susceptibles a enfermedades e insectos introducidos, especialmente cuando son plantadas o cuando hay grandes masas de una sola especie (monocultivos). Así como los taínos aprendieron a mezclar sus cultivos en los conucos para evitar riesgos y maximizar la utilización de un sitio, así también deben considerar los forestales modernos la mezcla de especies en una plantación dada. Aunque algunas enfermedades son suficientemente generales para trasladarse de una especie conífera a otra, es muy raro que logren atacar también a una especie latifoliada (de hojas anchas). Así es que una mezcla de especies de coníferas y de latifoliadas puede servir de "estrategia de seguro" contra insectos y enfermedades.

6.3.2.5 Seguridad política de la cosecha

Los dominicanos que siembran especies nativas menos abundantes (como ébano verde, guayacán y caoba), con fines de restaurar la biodiversidad nacional y la disponibilidad de maderas preciosas, se dan cuenta al momento del corte que su cosecha está prohibida. Esto trae como consecuencia que la gente se siente estimulada a plantar solamente especies exóticas, basada en la teoría de que no se confundirán en el mercado con la madera nativa cosechada ilegalmente. Los forestales y otros que propugnan por la propagación de especies nativas deben hacer una campaña activa para extender el uso de árboles nativos en plantaciones al asegurar su mercado al momento de la cosecha.

6.3.2.6 Conclusión

Dado el tiempo largo de maduración, incluso de aquellos árboles de rápido crecimiento, la incertidumbre de ataques de enfermedades e insectos y las múltiples demandas que con frecuencia se ejercen sobre los bosques, resulta útil y eficiente minimizar las consecuencias de los distintos riesgos a través de la selección y siembra de múltiples especies. Aunque la mayor diversidad a nivel de ecosistema se consigue con una plantación mixta en un área dada, se pueden reducir muchas de las incertidumbres de enfermedades, insectos y mercado usando una serie de pequeñas parcelas de monocultivos, las cuales son más baratas y fáciles de establecer y de manejar.

6.3.3 Mejoramiento genético, diversidad genética, y biodiversidad

El mejoramiento genético a través de cruzamientos es una rama de la agricultura establecida por largo tiempo y bien reconocida (ver sección 3.5.3.1). Los investigadores forestales, que se enfrentan a especies de vida mucho más larga, han hecho menos progreso en cuanto a la reducción de la base genética (reduciendo la variación) y en concentrar la energía de las especies en la producción de madera, que sus colegas de la investigación agrícola. Sin embargo, se han logrado avances notables en algunas especies. Existen plantaciones clonales de álamo en los Estados Unidos que crecen uniforme y rápidamente, y que pueden ser cosechadas mecánicamente en terreno plano, similar a como se hace con maíz o caña de azúcar. Su madera se usa para pulpa y el terreno se puede replantar rápidamente con álamos idénticos (1983). Proyectos de mejoramiento genético en Honduras y en México han producido un *Pinus caribea* de una uniformidad fenotípica y crecimiento notables, mientras que investigaciones en Australia, Nueva Zelanda y Brasil han producido variedades de *Eucalyptus* que también son muy uniformes (Dorman, 1976; Matyas, 1997).

Para alcanzar este mejoramiento genético en términos de producción de madera, el forestal tiene a su disposición dos métodos clásicos y una técnica nueva. Los dos métodos clásicos son etapas en el proceso de selección de semillas.

Primero, árboles fenotípicamente superiores son seleccionados y sus semillas cosechadas. Estas semillas son sembradas en huertos semilleros y los árboles resultantes son entresacados a fin de producir un huerto de árboles de alta calidad. Además de usar estas semillas directamente para la producción de plantas para la reforestación, el investigador forestal también puede hacer cruces controlados de árboles en los huertos de semillas. Segundo, los híbridos que resultan, son luego sembrados separadamente y cultivados para producir semillas para reforestación. Controlando el parentesco en los cruces de la primera generación, el investigador puede seguir concentrándose en la producción de una o más características del árbol: crecimiento rápido, buena forma física, etc. Después que los mejores árboles son escogidos para la producción de semillas, el forestal puede vender las semillas conocidas como 'F1', es decir, cruces de primera generación con parentesco conocido. La mayoría de las semillas del *Pinus caribea* traídas a la República Dominicana han sido semillas 'F1'.

La nueva técnica ha sido, una vez más, un préstamo de la investigación agrícola: la clonación. La reproducción vegetativa ha sido aplicada con éxito a varias especies de hojas anchas de crecimiento rápido (como por ejemplo el álamo, descrito antes). El bambú por su naturaleza es una especie de reproducción vegetativa, brotando de tallos que responden rápidamente a la cosecha o a daños por huracanes o de insectos al producir muchos más retoños. El éxito con la técnica de clonación en coníferas no ha sido significativo. Otras técnicas de reproducción vegetativa se están probando en la República Dominicana, como el injerto (Dobler, Peralta et al, 1995). Todas estas técnicas están dirigidas a seleccionar un stock fenotípicamente superior y a reproducir rápidamente sus características de modo que se pueda usar comercialmente en la reforestación.

El uso de estas técnicas puede ayudar a mejorar rápidamente la producción nacional de madera. Sin embargo, la plantación de especies de rápido crecimiento también requiere un compromiso significativo en el manejo de la plantación. Para que la madera sea útil, debe estar concentrada en los tallos o ramas destinados a la cosecha. Por lo tanto, las plantaciones con especies de rápido crecimiento tienen que ser sometidas a raleo varias veces entre la siembra y la cosecha, a menos que se cultiven como el álamo clonado para la producción de pulpa. Afortunadamente, existe un buen mercado local para productos de madera redonda de pequeño diámetro, incluyendo postes, varas, traviesas para ferrocarriles en los ingenios azucareros, vigas para la construcción rural, etc. Por consiguiente, los raleos tempranos en las plantaciones suelen ser bastantes económicos.

No obstante, este estrechamiento intencional de la base genética lleva consigo algunos riesgos, como se indicó arriba y en la Sección 3.5. Aunque el bosque de plantación no tiene que ver particularmente con el mantenimiento de la biodiversidad nativa (no más que las áreas intensivamente cultivadas para alimentos tienen que ver con el mantenimiento de la biodiversidad nativa), es buena práctica forestal reconocer la necesidad de diversidad dentro de un cultivo, especialmente uno que no puede darse el lujo de muchas intervenciones durante su larga vida sin que se convierta en antieconómico. Entonces, desde un punto de vista pragmático, es muy importante considerar una variedad de especies, y quizás variedades dentro de cada especie para cualquier proyecto de reforestación.

Hay un grupo creciente de investigadores forestales que estiman que los riesgos asociados al uso de un stock genético seleccionado para la reforestación son más altos que los que indican los resultados prácticos en el campo. Estos investigadores están urgiendo a los forestales a considerar la reforestación con especies nativas, o por lo menos con una mezcla amplia de especies. Además de la reducción de riesgos asociados con una base genética reducida, el uso de especies nativas también puede contribuir al mantenimiento de la biodiversidad nacional, aun donde los bosques de plantación contienen sólo algunas de las especies del bosque natural. Los forestales se quejan que con frecuencia la reforestación con especies nativas es una idea muy buena en teoría, pero cuando se necesitan cientos de libras de semillas, tal cantidad no puede ser suplida.

Aunque es posible involucrarse en un programa serio de recolección de semillas de especies nativas 'silvestres', es difícil recolectar y almacenar la cantidad de semillas necesaria para un fuerte programa de reforestación comercial. Normalmente el forestal, enfrentando la poca o ninguna disponibilidad de semillas nativas, ordenará y sembrará semillas exóticas, porque es muy importante poner algo en la tierra.

El jardín botánico de Santo Domingo ha dado un primer paso muy importante recolectando semillas, probando la germinación y la sobrevivencia y crecimiento de los arbolillos, y publicando los resultados para algunas especies nativas de crecimiento rápido (García, Mejía et al, 1997). Algunos viveros locales privados que suplen stock para reforestación, de parte de propietarios privados, también están empezando seriamente a coleccionar semillas (Mañón, 1998). Pero debe existir un interés comercial mucho mayor en la producción de semillas de especies nativas antes de que pueda reforestarse un área significativa con esas especies. Un pequeño huerto de semillas de algunas de las especies nativas más demandadas contribuiría mucho en suplir las necesidades nacionales de tales semillas.

6.3.4 Manejo de bosques remanentes

Existen muchas áreas de bosque en la República Dominicana que han sido cortadas, reducidas en diversidad de especies, quemadas, sobrepastoreadas o dañadas de alguna forma. Cuando un productor forestal debe tomar decisiones sobre el manejo de tal rodal remanente, la primera pregunta que debe contestar es si vale la pena salvarlo, o si la mejor opción será cortar los árboles que quedan y comenzar de cero con una nueva plantación.

Esta decisión debe basarse primero en el propósito para el cual el bosque será manejado. Cuando la cobertura del suelo o la recuperación del bosque son más importantes que la producción de madera, se pueden dejar algunos rodales remanentes e incentivar la regeneración natural al evitar incendios y el pastoreo. Rodales en pendientes inestables, con riesgos de erosión críticos, o al lado de ríos y riachuelos, deben retenerse y manejarse para incrementar su densidad y la cobertura del suelo. No deben ser incluidos en los planes regulares de cosecha, aunque estén ubicados dentro del área generalmente considerada para la extracción de madera.

Donde la producción de madera es el primer objetivo, y donde el propietario ha decidido dejar crecer por lo menos algunos de estos rodales, se deben considerar los siguientes factores:

- Prevenir pérdidas adicionales de volumen de árboles maduros.
- Fomentar el crecimiento en bosques residuales y de regeneración natural, si existen.
- Considerar la siembra intercalada donde la regeneración natural es inadecuada.
- Planificar para un rendimiento continuo.

6.3.4.1 Prevenir pérdidas adicionales

Cuando las pérdidas anteriores han sido originadas por cosechas ilegales, la prevención de más pérdidas es un ejercicio social, no físico. En situaciones en que la comunidad entera comienza a beneficiarse del manejo forestal, la cosecha ilegal puede cesar. Pero en situaciones donde por lo menos algunos de los cosechadores ilegales siguen su tarea, es difícil sino imposible prevenir las pérdidas en terrenos tanto privados como públicos.

Hasta el presente, la medida más práctica ha sido que la comunidad se involucre en los beneficios del bosque: una tarea compleja e intimidante que excede las responsabili-

dades laborales del forestal o propietario promedio. Sin recurrir a amenaza de muerte, como en la Era de Trujillo, la mejor manera de parar la cosecha ilegal es hacer a los contrabandistas beneficiarios de nuevos manejos forestales, a través de algún tipo de participación (empleos, algún arreglo de tenencia de árboles, etc.).

Cuando las pérdidas de árboles maduros no se debe a la cosecha ilegal o a la quema para agricultura o pastoreo, la pronta cosecha de los árboles viejos moribundos es la mejor solución. El árbol puede estar muerto, pero si se corta y transporta rápidamente, la madera todavía estará en buen estado. Esto suena más sencillo de lo que es.

Cortes de salvamento

La cosecha de salvamento de individuos o aun de un pequeño grupo de árboles requiere de equipos y de un sistema de permiso diferentes para que funcione. Debido a que una vez el árbol muere la madera se deteriora rápidamente en los trópicos, es importante cosechar rápidamente. El sistema de permisos para cosechar, desarrollado después del Huracán Georges (septiembre, 1998), permite el uso individual (doméstico) de madera muerta, y también contempla la entrega rápida de permisos para una operación de salvamento comercial.

El trabajo de salvamento también requiere equipos pequeños y eficientes, al igual que trabajadores forestales con buenos conocimientos para que los árboles muertos y moribundos puedan ser cosechados y extraídos rápidamente. Una de las grandes preocupaciones en este tipo de corte es no crear más problemas que soluciones; es decir, no dañar los árboles maduros residuales o la regeneración del sotobosque. Uno de esos daños es dejar los troncos de pino por más de 30 días en el bosque después de cortarlos—la especie local de *lps* se puede reproducir y hacer volar una cría en sólo 45 días. Consecuentemente, las operaciones de salvamento deben realizarse rápidamente, completando la cosecha y la extracción de troncos inmediatamente.

6.3.4.2 Fomentar el crecimiento en bosques residuales

Donde los rodales residuales todavía contienen tallos jóvenes en crecimiento activo, la capacidad productiva del área debe estar a su disposición en la medida de lo posible. Esto quiere decir que los árboles de la cosecha futura deben tener máximo acceso al agua, a la luz del sol, y a los nutrientes, y no deberían tener que competir con otros árboles. Esto a su vez puede requerir una cosecha parcial de copa para reducir sombra, o un raleo de árboles jóvenes para dejar los más fuertes y sanos para la cosecha final. A veces la remoción de copas produce tanto daño a los árboles jóvenes que vienen subiendo, que

es mejor posponer por algunos años la cosecha, hasta que los árboles jóvenes estén más grandes. Cuando el corte de los rodales residuales se puede prorrogar hasta el primer raleo de una regeneración natural o de una plantación, el mayor valor de los árboles grandes hace aumentar los beneficios tempranos del propietario.

La forma del árbol también es una consideración importante para el manejo de los rodales residuales. En un rodal más denso, los árboles tienden a crecer más altos y más rectos, con menos ramas bajas (Smith, 1996). Una densidad extrema conlleva a un estancamiento del crecimiento y alta mortalidad, mientras que los árboles que crecen en espacios abiertos tienen formas inapropiadas (el tronco toma forma de cono en vez de cilindro) y tienen ramas bajas grandes, que reducen su valor. Encontrar un equilibrio en la densidad es importante para maximizar los beneficios que trae la madera del manejo forestal, pero los árboles sobrevivirán, cubrirán la tierra, reducirán la erosión del suelo, y producirán beneficios en una gran variedad de espaciamiento. Una manera fácil de determinar la densidad apropiada para un rodal es considerar la cantidad de sotobosque presente. Un sotobosque denso indica un follaje de copa delgado, mientras que ausencia de sotobosque indica una densidad excesiva del follaje de copa.

6.3.4.3 Considerar plantación intercalada

Cuando un rodal forestal remanente muestra poca, o una regeneración natural no satisfactoria, podría tener sentido considerar una plantación intercalada o una plantación por lo bajo con la próxima generación. Esta medida parece más lógica cuando las especies a plantar pueden necesitar alguna protección del sol al inicio, y puede verse como un paso de avance en reforestación. Pero existen dos factores contrarios importantes a considerar.

Primero, es importante determinar por qué no hay regeneración natural. Con frecuencia, los incendios, el pasto, o el corte intencional han impedido que los árboles estén presentes en el sotobosque. A veces el corte sucesivo y otros disturbios han debilitado tanto el suelo que los árboles ya no sobreviven. En áreas muy secas, la regeneración natural de semillas no es frecuente. Bajo cualquiera de esas condiciones, es probable que la regeneración artificial corra la misma suerte que la vegetación nativa.

Segundo, una plantación representa un costo grande que debe ser cubierto por el inversionista mucho antes que la plantación pueda producir beneficios. Como los cortes subsiguientes de un rodal residual pueden dañar la plantación (siendo la probabilidad de tal daño directamente proporcional al volumen cortado), la pérdida de árboles en la plantación durante los cortes puede ser inaceptablemente alta. Donde el corte del rodal resi-

dual pueda ser pospuesto hasta el primer raleo de la plantación, el alto valor de los árboles grandes ayudará a pagar el raleo y aportará beneficios al dueño.

6.3.4.4 Planear para un rendimiento continuo

Aunque planear la distribución del rendimiento de los rodales residuales a través de los años hasta la maduración de la plantación es fácil en el papel, en la vida real es un desafío. Las necesidades financieras del dueño pueden ejercer mucha presión a favor del corte prematuro, resultando que las mismas necesidades no habrán sido cubiertas una vez desaparecidos los rodales y antes de que la plantación haya madurado. Para planear rendimientos continuos, se necesita un buen nivel de existencias, un plan claro de corte anual, y la voluntad de someterse al mismo.

Por ejemplo, supongamos que un dueño de terrenos tiene 5 ha de bosque residual razonablemente en salud con $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ y 20 ha de pasto que está dispuesto a plantar con especies forestales. Él empezaría a sembrar sus 20 hectáreas a una tasa de 4 hectáreas por año durante cinco años. Dos cortes intermedios de $30 \text{ m}^3/\text{ha}$, espaciados 4 años entre ellos, financiarían todas las plantaciones y el chapeo requerido para el pasto. En el año 7, el bosque residual se podría cortar a tala rasa a una tasa de 1 hectárea cada dos años, mientras que los rodales sembrados empezarían a producir pequeñas partidas de madera redonda desde el primer raleo. Del año 19 en adelante, habrá un rendimiento sostenido de productos forestales de una parte del bosque de 25 hectáreas.

Dependiendo de la especie y de las tasas de crecimiento, se pueden elaborar fácilmente diferentes versiones de este plan para cualquier sitio. La tarea más difícil es someterse al plan y no cortar más de lo que está especificado en el mismo. Por ejemplo, algunos miembros de las comunidades que trabajaban con Enda Caribe dejaron de hacer agricultura con la esperanza de que vivirían exclusivamente de sus pequeños cultivos de *Acacia mangium*. Después del flujo de caja de la primera cosecha, y a pesar de que este flujo de caja no era anualmente sostenible, quisieron continuar cosechando. El proceso de planificación es solamente tan bueno como la determinación de someterse al plan.

6.3.5 Manejo de plantaciones

6.3.5.1 Plantación

Una vez determinada la especie o mezcla de especies, el próximo aspecto importante para el manejo de una plantación es determinar cómo y a qué distancia la plantación debe estar establecida. Las distancias más comunes son 1m x 1m (10,000 árboles por hectá-

rea), 2m x 2m (2,500 árboles por hectárea), 3m x 3m (1,111 árboles por hectárea), o 4m x 4m (625 árboles por hectárea). Árboles plantados a sólo un metro estarán en plena competencia entre sí después de sólo un año, pero ya habrán ocupado el sitio en ese tiempo. Si el dueño del terreno está realmente preparado para los grandes costos iniciales del manejo intensivo de la plantación, entonces distancias de siembra muy densas pueden probar ser la manera más eficiente de evitar problemas con especies no deseables y de mantener sólo la especie deseada en el sitio.

Sin embargo, muchas veces se da el caso que no es económico ni prácticamente factible volver a la plantación y aplicar tratamientos tales, como raleos cada año durante los primeros 5 a 10 años de su vida. Consecuentemente, se escogen distancias de siembra más grandes.

Las plántulas normalmente son producidas en envases en la República Dominicana. Los envases pueden variar desde fundas de plástico llenas de sustrato en las cuales se transplantan los arbolillos de semanas de edad desde los germinadores, a cajas de materiales especiales (styroboxes o hikoboxes), contenedores especializados para múltiples plantas, diseñados para utilizar un mínimo de medio de plantación y para transportar las plantas eficientemente al campo. Aunque la producción y siembra de plántulas a raíz desnuda ha tenido éxito en otros países tropicales, con cuidados especiales entre el momento de su extracción del vivero y su plantación en el campo, todavía no ha sido exitosa en la República Dominicana a escala comercial.

6.3.5.2 Raleo y desyerbo

Como fue mencionado antes, la necesidad de raleo en una plantación depende directamente de la distancia inicial de siembra. Plantaciones que no son sometidas a raleos mostrarán un crecimiento lento y eventualmente una alta mortalidad, porque los árboles individuales estarán compitiendo entre ellos y luchando por sobrevivir. Esto los hace víctimas fáciles de ataques de insectos o enfermedades. También son mucho menos resistentes al viento (un problema bien ilustrado en Novillero durante el Huracán Georges) y más susceptibles al derribo durante una tempestad.

El manejo de densidad comienza con la densidad de la plantación. Los rodales que están densamente plantados o que han crecido densos por regeneración natural de semillas requerirán intervención para evitar estancamiento y mortalidad. El estancamiento y la mortalidad son procesos naturales de raleo, no son malos en sí. En las áreas donde el *P. occidentalis* reparte sus semillas después de un disturbio y la gente no hace cambios

en el rodal, los pinos pueden crecer muy densamente, “como pelo en la espalda de un perro”.

Estas áreas muy densas son susceptibles a ataques de insectos y de enfermedades, porque los árboles individuales viven bajo mucho estrés, porque compiten todos por humedad, luz del sol, y nutrientes. También son susceptibles a ser derribados por los vientos, porque los troncos tienden a crecer muy altos con poco incremento de diámetro, al tratar de alcanzar la luz del sol. Después del raleo natural por una tempestad de viento o por insectos y enfermedades, los árboles sobrevivientes frecuentemente crecen mejor que antes. Los árboles que han muerto caen, se decomponen y proveen cobertura al suelo, a la vez que contribuyen con su materia orgánica. A veces el rodal completo muere, dejando espacio para que otras especies invadan y tomen control. Cuando esto ocurre, el suelo puede quedar expuesto brevemente a la erosión.

En un período de cambios forestales de varios siglos, estas fases son de poca importancia. Pero en términos humanos, en que 20 años pueden significar 5 administraciones gubernamentales e igual número de cambios en regulaciones forestales, estos procesos naturales pueden resultar sumamente ineficientes. Donde se necesitan productos del bosque, ya sea agua confiable, un paisaje particular, un cultivo como el café, o un flujo estable de madera, estas necesidades intervienen en el proceso para hacer cambiar el comportamiento del bosque.

El manejo de la densidad es una manera de alterar el rumbo del bosque. El manejo cuidadoso de la densidad de los árboles a nivel de copa puede mejorar mucho la productividad del área para ciertos beneficios. Puede concentrar la productividad del área en plantas o árboles individuales que el forestal cosechará más tarde, y puede limitar los impactos de insectos, enfermedades, o de incendios, al limitar el estrés de los árboles originado por la competencia por nutrientes esenciales, el sol, o el agua.

Los bosques son bastante flexibles en términos de densidad, pero no en términos de productividad total. Un bosque joven produce un crecimiento anual relativamente fijo de biomasa: depende del forestal decidir si este crecimiento de biomasa resulta en un pequeño aumento individual de muchos árboles, o un aumento individual más grande en menos árboles (Oliver, 1996; Smith, 1996). El segundo caso tiende a producir una madera de mejor calidad durante un período más largo y a reducir el estrés del rodal.

En este sentido, los árboles con frecuencia son plantados densamente, permitiéndoles crecer por algunos años, y luego son raleados. Los árboles extraídos durante los raleos se pueden vender como postes y varas, y la productividad del sitio se concentrará en

los troncos restantes. Bajo un manejo intensivo este proceso de raleo puede ocurrir varias veces durante la vida productiva del rodal. El raleo provee productos y valor intermedios al propietario durante la vida del proyecto, pero también requiere facilidades de acceso al rodal y una observación cuidadosa para planear el momento de las intervenciones. Puede suceder que los ingresos del primer raleo mínimamente cubran los costos del mismo, pero los raleos futuros normalmente producen ingresos significativos al propietario.

Afortunadamente, en la República Dominicana existe un mercado para productos de madera de muy poco diámetro; éstos se pueden cosechar totalmente a mano. Hay una demanda constante para varas, por ejemplo, que es un producto de unas 4 pulgadas de diámetro en la base y 25 pies de largo, algo que una plantación densamente plantada, sea de coníferas u hojas anchas, produce fácilmente. Por consiguiente, el espaciado relativamente apretado de árboles y el raleo temprano pueden ser la manera más eficiente de establecer las plantaciones.

Una consideración adicional para las plantaciones es el desyerbo, aunque su importancia puede ser exagerada. Un administrador agrícola en zonas tropicales, acostumbrado a remover especies no deseadas en la agricultura, puede considerar que una plantación con muchas especies que no han sido plantadas intencionalmente muestre cierta desorganización y que debe ser "limpiada". Antes de incurrir en tal gasto, el administrador debe considerar si realmente es necesario hacerlo. La mayoría de árboles bien establecidos, asumiendo que han sido adecuadamente seleccionados para el sitio, dominará toda la vegetación. Y si la competencia es con árboles nativos (muchas veces de hojas anchas, pero también coníferas), ¿por qué necesariamente habría que quitarlos? Esto suele ser aun más importante si parte de la meta del proyecto es la protección de cuencas hidrográficas, porque los rodales de múltiples especies tienden a interceptar las gotas de lluvia más rápidamente y proveer mayor cobertura del suelo que en el caso de monocultivos desyerbados. Pero también es importante donde insectos o enfermedades pueden atacar los árboles plantados. No sólo las especies de "malezas" actuarán como obstáculos físicos a tales ataques, sino que también pueden ofrecer cobertura de seguridad al suelo, en el caso que los ataques sean lo suficientemente serios como para causar mortalidad significativa en el rodal plantado. De nuevo, la situación post huracán en Novillero es un ejemplo.

El desyerbo, sin embargo, tiene su razón de ser en los trabajos de la plantación. A veces la vegetación arbustiva es muy agresiva y puede retardar seriamente el crecimiento de las especies plantadas, y a veces la competencia por recursos escasos de agua es tan severa que justifica el desyerbo para garantizar la disponibilidad de agua para los árboles plantados. Pero desyerbar para que la plantación luzca bien o porque es una actividad ru-

tinaria en la agricultura, no debe hacerse porque reducirá la rentabilidad del manejo forestal.

6.3.5.3 Fertilización y riego

Por lo general, las condiciones económicas de las plantaciones forestales establecidas con fines de protección de cuencas hidrográficas, de producción de madera, o de restauración ecológica, no pueden justificar la aplicación de fertilizantes o de agua de riego. En parte, eso se debe a que los costos iniciales de abonos químicos son altos, pero también porque la respuesta de los árboles a la fertilización es de poca duración comparada con la larga vida productiva del árbol. Existen algunas excepciones importantes donde una sola aplicación de micronutrientes (boro, por ejemplo) puede mejorar permanentemente la capacidad de un sitio para el crecimiento de los árboles. Finalmente, las áreas donde hay riego disponible probablemente sirven mejor para agricultura.

Un lugar donde tanto la aplicación de fertilizantes como el riego se pueden justificar es en la reforestación urbana. Allí, la existencia de árboles para sombra, producción de frutas, modificación de temperatura y belleza, vale lo suficiente para merecer la inversión. Otro caso es donde los árboles son cultivados principalmente por sus frutas, y por lo tanto se clasifican más como cultivos agrícolas que forestales.

6.3.5.4 Riesgos de insectos, enfermedades, tempestades, incendios y vandalismo

Una de las cosas que hace del bosque un negocio de tan alto riesgo es la naturaleza de largo plazo de una plantación. Cualquier agricultor corre el riesgo de perder un cultivo por causa del clima, insectos, o enfermedades, o tal vez vandalismo, pero puede volver a sembrar en la próxima temporada, sufriendo sólo una pérdida de seis meses de inversión. El forestal que pierde su plantación por alguna fuerza externa posiblemente pierde no solamente una inversión de 20 años, sino también unos costos fijos significativos que no podrán ser recuperados. En zonas templadas, ese riesgo puede fácilmente durar más que la misma vida de un gerente. Aunque en zonas tropicales el marco de tiempo normalmente es más corto, la posibilidad de que ocurra uno de estos eventos frecuentemente es más alta.

Aunque ninguno de estos riesgos se puede eliminar, ciertamente pueden ser reducidos. Los riesgos de fuego o de vandalismo están muy relacionados con la actitud de la comunidad hacia la plantación. Si la plantación, o su dueño, no son vistos favorablemente, entonces el riesgo de estos dos acontecimientos (ya sea la extracción de árboles de la

plantación en una noche o daños intencionales a los árboles en un periodo de tiempo) será mucho mayor. No vale la pena vigilar las plantaciones forestales todo el tiempo, ni ponerles verjas, por lo que el propietario tendrá que considerar cómo asegurarse que las personas perciban como un beneficio a la comunidad dejar el bosque tranquilo, o protegerlo de los ataques. Los colegas propietarios de plantaciones son los que probablemente más respetarán el bosque del vecino. Por consiguiente, es ventajoso para un propietario forestal fomentar o tal vez subsidiar de alguna manera el establecimiento de recursos forestales comunitarios.

6.3.6 Determinación de la productividad de madera

Una de las preguntas más importantes al considerar la sostenibilidad del bosque es:

¿Cuánto podemos producir sin dañar la capacidad productiva?

Esta pregunta está compuesta de dos partes importantes: primero, ¿Qué cantidad de producto está produciendo el bosque actualmente?, y segundo, ¿Cuál es la capacidad productiva actual del ecosistema forestal? Ambas preguntas son complejas y requieren más análisis.

6.3.6.1 Producción actual

A fin de contestar la pregunta de potencial productivo, debemos primero conocer el producto. Debemos saber cómo se mide, cómo se miden sus cambios a través del tiempo, y cuál es su relación con la biomasa total (encima y debajo de la tierra). En el caso de productos maderables, sabemos cuál es el producto —madera— ¿o no? En algunos países y con algunas especies, sólo la parte recta del tronco es cosechada. Las ramas, tacones, raíces y la copa del árbol son dejados en el bosque. Sólo árboles con un diámetro mínimo (frecuentemente de 8 ó 12 pulgadas, o de 20 a 30 centímetros) son cosechados, y los troncos son utilizados solamente hasta cierto diámetro mínimo de la parte superior (muchas veces de 4 a 6 pulgadas, ó de 6 a 15 centímetros). Bajo este escenario, la proporción del producto sobre la productividad forestal total puede ser muy inferior a 0.5 (En el Apéndice C estimamos la biomasa como el doble de la masa de la madera en un bosque promedio). En los climas templados, fríos y lluviosos, puede ser menos de 0.1 (Wenger 1984). Aún mas, el producto es medido en pies tablares, con alta desviación hacia la madera de diámetro más grueso, porque está vinculado a la tecnología de aserrío (Bell and Dilworth, 1988). En otras áreas, el árbol entero, hasta el nivel del suelo, puede ser

cortado mecánicamente, despojado de sus hojas o espinas, y molido completamente en fragmentos pequeños para producir pulpa, papel y cartón.

Para el planeamiento de cosecha de madera estándar, se realiza un inventario para estimar el volumen comercial de madera por hectárea. Tablas de volumen (Gil y Cuevas, 1986) y ecuaciones de volumen [Dobler, en proceso de publicación] han sido desarrolladas para el *Pinus occidentalis* y pinos exóticos en la República Dominicana, reflejando el volumen total de madera del tronco principal. El volumen comercial totaliza el 80 por ciento o menos del volumen total de madera, debido a la tecnología de utilización (Gil y Cuevas, 1986). Ver el Apéndice H para más detalles de inventario y cálculos.

Un buen manejo forestal debe tomar precauciones para cosechar menos que el potencial de crecimiento máximo ideal o teórico, dadas las múltiples fuentes de incertidumbre. En la reducción del rendimiento proyectado, ya sea debido a errores de cálculo de áreas o en la reducción del crecimiento futuro por daños en los suelos, intervienen docenas de factores, desde parcelas con crecimiento no representativos hasta zonas de amortiguamiento de carreteras y/o áreas riparianas (orillas de cursos de agua) más grandes que lo planificado. El manejo adaptativo depende de un monitoreo preciso y honesto de los resultados, comparando los resultados previstos con los logrados, y haciendo un reajuste de las metas y objetivos futuros según sea necesario. Finalmente, el manejo forestal para la producción de madera depende completamente de la capacidad del sistema forestal de reemplazar la biomasa y los nutrientes perdidos en la cosecha. ¿Qué tan razonable es esa premisa de reemplazo?

6.3.6.2 Capacidad productiva

Los bosques fijan, a través de la fotosíntesis, menos de 2 por ciento de la energía solar recibida, y usan por lo menos 55 por ciento de lo que es fijada en auto-mantenimiento y respiración (Gosz, Holmes et al, 1978). De la producción primaria neta restante, desde 4 por ciento hasta un máximo de 50 por ciento puede almacenarse en el tallo principal del árbol, dependiendo del tipo de bosque (Wenger, 1984). Remover sólo el tallo principal implica aproximadamente el 80 por ciento del peso del árbol, pero menos de 40 por ciento de su nitrógeno almacenado (Freedman, 1981).

Los bosques son muy variables, dependiendo del clima y los suelos, en la distribución de nutrientes entre árboles, otra vegetación y el suelo. En bosques complejos de muchos niveles y un gran componente de materia orgánica en sus suelos, los árboles pueden contener sólo una fracción del nitrógeno total del sistema, o pueden contener la mayor parte

del nitrógeno del sitio en un sistema tropical de bosques húmedos con bajo contenido de materia orgánica en el suelo (Odum, 1971). En los Estados Unidos y Canadá, la cosecha de árboles completos duplica la pérdida de nitrógeno y potasio y casi triplica la pérdida de fósforo, comparado con la cosecha del fuste solamente (Freedman, 1981). Este tipo de cosecha produce el rendimiento de biomasa más alto por hectárea, pero en las áreas tropicales o subtropicales cálidas bajo manejo intensivo, tal producción empobrecerá aun más al almacén de nutrientes del sistema, y reducirá su capacidad futura de producir árboles, porque gran parte de la productividad del sitio se encuentra en las hojas, ramas, y aun en los troncos.

A los bosques tropicales les puede tomar más de 50 años restablecer los niveles tanto de biomasa como de nutrientes a través de la fotosíntesis y la fijación microbial de nitrógeno en los suelos; pero la tasa de crecimiento de los árboles tiende a llegar a su máximo a los 20 a 25 años (Wenger, 1984; Gil and Cuevas, 1986). La tentación de cosechar a la edad o antes de la tasa de máximo crecimiento biológico se agudiza por la necesidad económica y los riesgos asociados al mantenimiento de bosques maduros (vandalismo, robo, insectos, cambios en el sistema regulatorio).

Además de ser productores de madera, los bosques pueden producir muchos otros bienes y servicios. Éstos secuestran activamente el carbono de la atmósfera, protegen las cuencas hidrográficas, alteran el ciclo hidrológico para producir flujos más estables en los ríos y reducen las inundaciones, y producen diversidad biológica a través del espacio y tiempo. Justo después de una tala rasa, no producen ninguno de estos beneficios, aunque inmediatamente empiezan de nuevo a incorporar el carbono y a proteger el suelo, a medida que van creciendo.

Como la gente desea tener una fuente de agua estable, menos riesgo de calentamiento global catastrófico y sistemas forestales maduros y diversos, así como madera, suelen surgir conflictos acerca del corte de árboles para madera. Estos conflictos oscurecen asuntos muchos más específicos, como la relación de la cosecha y el potencial de reemplazo en sistemas forestados, y lo complicado de su manejo. De los limitados estudios que se han llevado a cabo, parece que la cosecha de madera se puede manejar sosteniblemente, tomando en cuenta los balances de nutrientes en plazos más largos. Es menos claro si la cosecha de madera también se puede balancear con los usos competitivos exclusivos del bosque, lo cual es fuente de mucho debate hoy en día.

6.3.7 Tecnología de cosecha

Los sistemas de aprovechamiento forestal eficientes y económicos varían en sus necesidades de inversión de capital, de cero a millones de dólares americanos o su equivalente en otras divisas. Aunque máquinas sofisticadas con capacidades especializadas pueden ser apropiadas en algunas partes del mundo, los métodos de mano de obra intensiva son más atractivos tanto social como económicamente en otras partes. En la República Dominicana, con una fuerza de obreros relativamente barata y una gran necesidad de alternativas para la agricultura en áreas escarpadas, los métodos de mano de obra intensiva deben ser cuidadosamente analizados antes de considerar la cosecha de madera mecanizada.

El aprovechamiento forestal normalmente consiste en el derribo, desrame, troceo (cortar el árbol ya caído en pedazos o leños fáciles de manipular y comercializar), arrastre (movimiento de los leños a lugares donde puedan ser transportados), carga (poniendo los leños en camiones u otro medio de transporte) y traslado de la madera (llevar los trozos a los lugares donde serán comercializados). Todas esas operaciones se pueden hacer a mano; de hecho, desde el paso del Huracán Georges, muchas de las áreas con material de pequeño diámetro fueron cosechadas completamente a mano.

DERRIBO: El material de diámetro pequeño se puede derribar con machetes o hacha. Puesto que el mayor volumen de un árbol está en su porción más baja (y de diámetro más grande), cualquier método de derribo que deje tocones altos (generalmente superior a los 25 cm) o que haga una apertura ancha (la cantidad de material perdido en el proceso de corte) en el tronco, probablemente desperdiciará o dañará material utilizable sin contribuir significativamente a la retención de la biomasa en el sitio. Las sierras manuales, sierras de mano de dos operarios y motosierras son todos métodos más eficientes de derribar árboles, especialmente los de diámetros más grandes, aunque es costoso comprar y mantener las motosierras, además de que los repuestos no siempre se encuentran disponibles. Machetes, hachas y sierras pueden ser utilizados para cortar ramas a nivel del tronco.

TROCEO: Trocear un árbol derribado en las longitudes ideales es un arte, se requiere un conocimiento actualizado de las longitudes mercadeables preferidas, así como un buen ojo para las limitaciones físicas (curvas, torceduras, horquetas o bifurcaciones, quebraduras y rupturas) de cada tronco. Donde hay mucha madera, con mucha frecuencia el troceo se lleva a cabo más rápida que cuidadosamente. El troceo con hachas puede desperdiciar una cantidad considerable de madera vendible y reducir las opciones de venta y

uso del material. Las sierras de mano y las sierras de dos operarios (toró) son sustitutos económicos, mientras que la motosierra es una herramienta cara pero rápida para el troceo.

Ninguna de estas actividades es particularmente dañina al suelo directamente (aunque al cortar los árboles se cambian los patrones del ciclo de agua en las cuencas, aún sin extraer los árboles). La fuente más grande de erosión individual es el acceso al recurso forestal por un camino para vehículo (Ver la sección 6.1.4), seguido cercanamente por la construcción y uso de senderos de arrastre (Elliot, Foltz et al, 1997).

ARRASTRE: El arrastre en sí también puede ser una fuente significativa de erosión. Que se derriben los árboles con hachas o motosierras tiene poca relevancia en las consecuencias medioambientales del corte de árboles. Pero la manera en que se traslada el árbol del tocón a la bacadilla puede hacer grandes diferencias, tanto en costo como en impactos ambientales. El sistema de aprovechamiento forestal ideal extrae los productos forestales a un costo mínimo sin erosión o daño a la vegetación residual perceptible. En pendientes fuertes y suelos fácilmente erosionables se realiza mejor aprovechamiento forestal con sistemas de cables que elevan por lo menos un extremo de la troza por encima del terreno durante el arrastre, y además evitan la erosión causada por los dispositivos de tracción ubicados en el suelo, como los tractores y bueyes.

Los bueyes son arrastradores excelentes y eficientes donde las distancias son relativamente cortas, las pendientes no sobrepasan 20%, y pueden halar el material cuesta abajo. Los bueyes pueden trabajar sin senderos construidos con cargas ligeras y distancias cortas, pero son más eficientes con senderos construidos para cargas más grandes o distancias más largas.

La consideración más importante en el uso de bueyes, en términos de impacto ambiental, es su alimentación: no solamente el pasto de alta calidad es muy escaso o ausente en el bosque, sino que proveer tal pasto cerca del sitio puede causar más problemas a la cuenca que el uso mismo de los bueyes para extraer los árboles. El uso de alimentos comerciales rara vez es práctico, dado su gran costo y disponibilidad limitada.

Los tractores de ruedas, ya sean especializados para el aprovechamiento forestal o los tractores agrícolas modificados con cabrestante (winch) adaptado a la toma de fuerza funcionan mejor en caminos de arrastre construidos, cuesta abajo, y sobre gradientes inferiores a los 30%. Construir caminos de arrastre requiere buldózer con cuchillas frontales, o bien mucha mano de obra con picos y palas. Los mismos caminos pueden ser una fuente significativa de erosión si están mal construidos o mantenidos. Es esencial, para

completar el aprovechamiento de madera, que se cierren las rutas de arrastre de madera y que se asegure la restauración del drenaje natural.

Los bulldózers, equipados con cuchillas frontales y cabrestantes (winches), son herramientas de múltiples usos que pueden construir y mantener caminos y vías para sacar madera, y también pueden arrastrarla, pero son también una gran fuente de erosión, además de ser costosos su compra y mantenimiento. Generalmente no se justifican con poco volumen por hectárea, diámetros pequeños (menos de 50 cm promedio en el extremo pequeño de la troza), o áreas ya con sus caminos y vías de saca, aunque sean viejos⁷. Los bulldózers pueden trabajar en condiciones de hasta 50% de pendiente, pero el daño que hacen al suelo y su baja productividad a este nivel hace que se usen solamente en pendientes inferiores a 35%.

Los sistemas de cables son la mejor manera de cortar árboles en pendientes superiores a los 35%, a menos que la distancia de la pendiente entre caminos sea corta y los troncos puedan ser derribados pendiente abajo y deslizados por encima de otros troncos y vegetación, hasta llegar a los caminos por sí solos. Muchas personas están convencidas que los sistemas de cables deben ser con grandes y costosas máquinas que no sólo requieren una inversión inicial grande sino también un gran volumen de madera para justificar su compra, y caminos grandes para permitir el acceso a los rodales para la extracción de madera.

De hecho, los sistemas simples de cable pueden ser tan baratos como el costo de algunas decenas extras de metros de cable en un cabrestante (winch), que permita que la línea o cable sea llevada hacia arriba, donde están los troncos, y éstos puedan ser empujados hacia abajo por un tractor que no sale del camino principal. Para hacer un sistema sencillo de cables a fin de llevar los troncos cuesta arriba, sólo hay que colgar un bloque o polea en un árbol cerca del camino y pasar la línea del tractor a través de éste, y luego cuesta abajo hasta los troncos. Después, los leños pueden ser halados hasta un camino en la cumbre o firme de la loma, minimizando así la erosión y el daño a los caminos. (Ver figura 7).

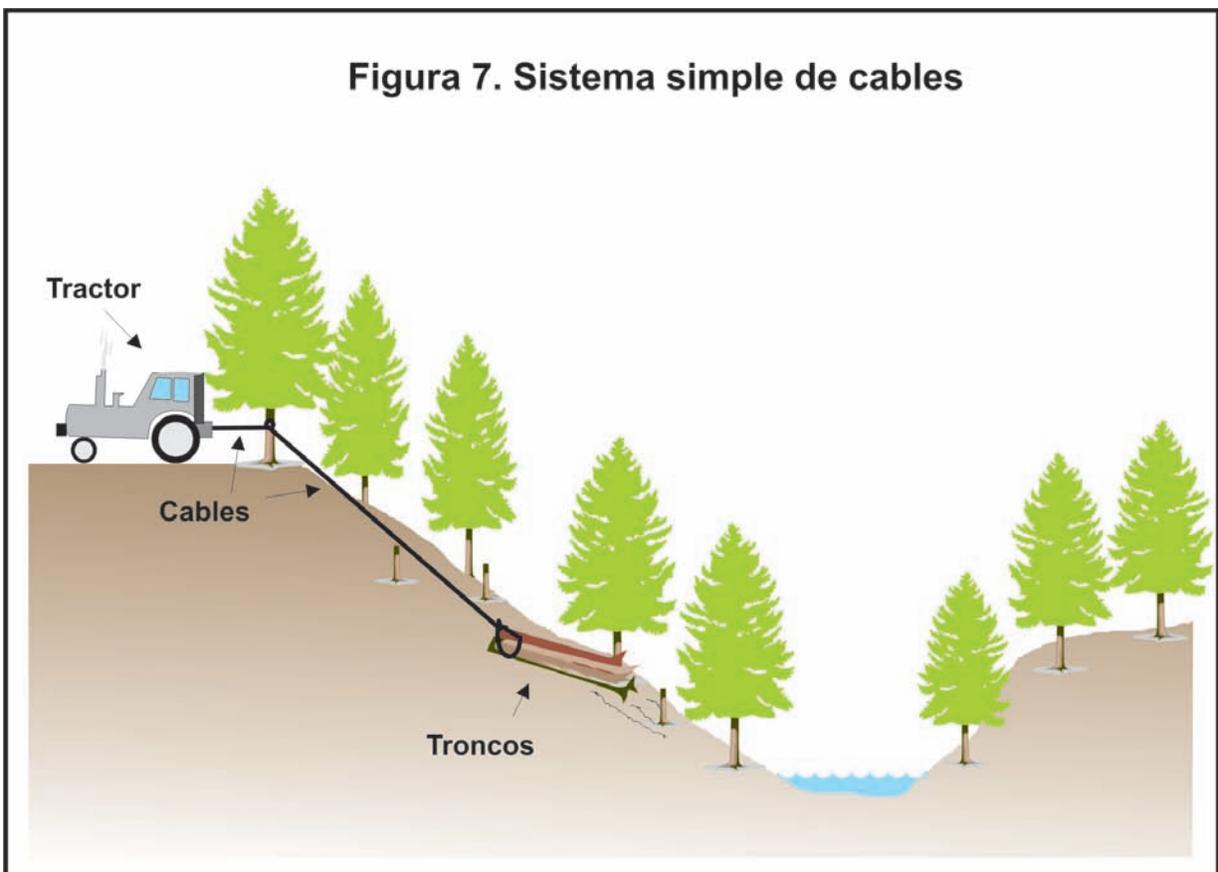
CARGA: El proceso de mover las trozas del suelo a la cama de un camión, listos para transportar, requiere cierto planeamiento en cuanto al tamaño del área de descarga o de acopio, frecuencia y ubicación. Debido a que las áreas de acopio mismas constitu-

7 El corte comercial llevado a cabo en las áreas montañosas de la República Dominicana a mediados del siglo XX, dejó algunas rutas y senderos en bastante buen estado. Muchos se transformaron en rutas de acceso para comunidades, pero muchos otros están enterrados en los matorrales y pueden ser recuperados rápidamente. Sus pendientes son suaves debido a la baja capacidad de maquinaria de la época, y sus sistemas de drenaje a veces eran muy buenos.

yen una importante fuente de erosión potencial, su número y tamaño deben ser minimizados por razones de protección de los suelos. Sin embargo, es necesario tener suficientes áreas de acopio y de un tamaño adecuado para acomodar tanto el equipo de carga como los camiones. Muchas veces los camiones necesitan dar la vuelta, lo que exige bastante espacio.

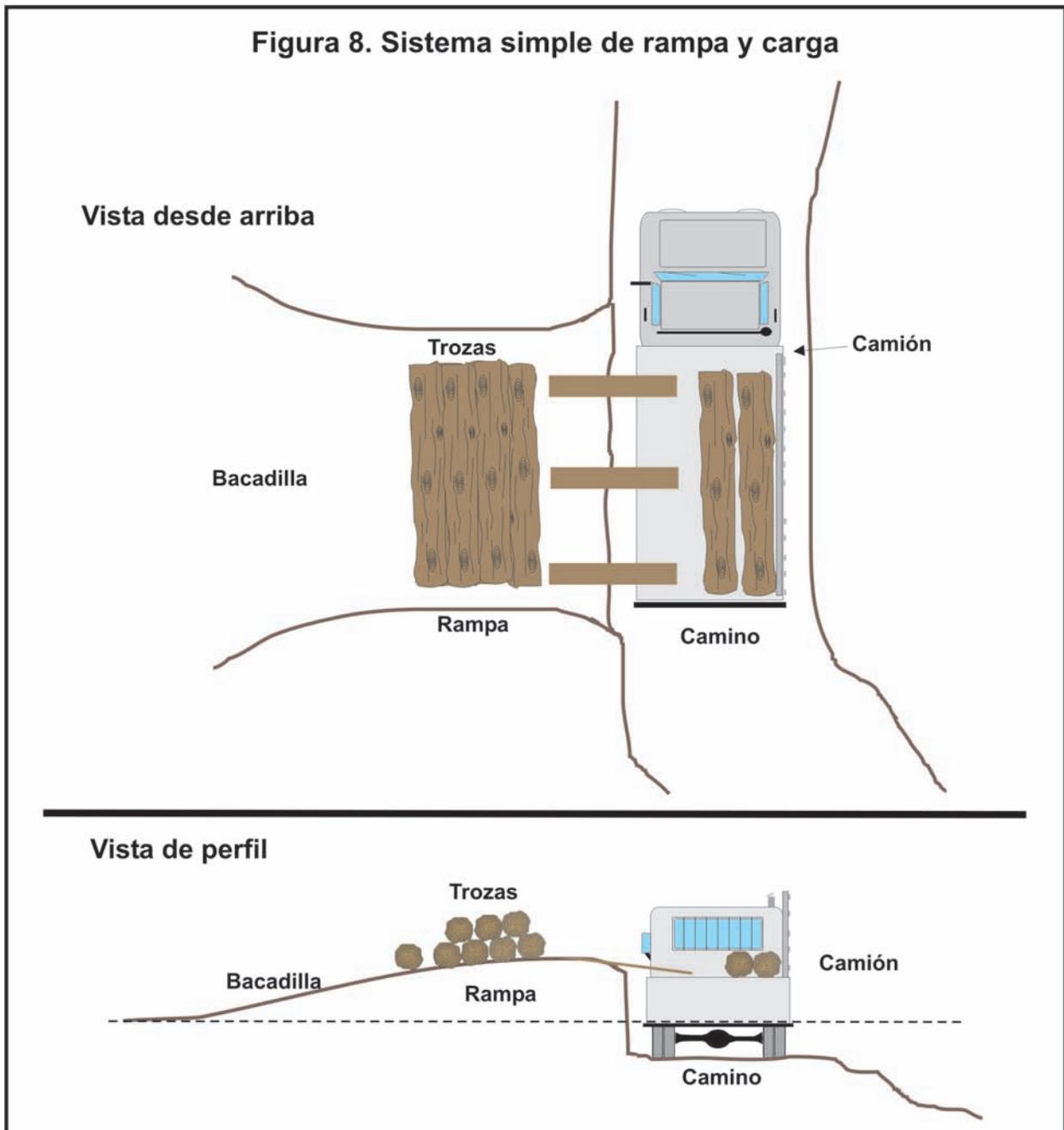
En algunos casos, la carga se puede hacer a mano. Para leños de pequeño diámetro y longitud, la carga a mano es factible, aunque sin un planeamiento cuidadoso puede resultar en una tasa alta de lesiones de espalda entre los trabajadores. A lo largo de áreas de acopio todavía visibles de las operaciones de corte de los años 1930 y 1940, se ven rampas, debajo de las cuales se parqueaban los camiones de carga, y los troncos grandes eran rodados hacia las rampas y los camiones (ver Figura 8). Todavía existen oportunidades de utilizar estas técnicas sencillas de carga.

Cuando se trata de trozas muy grandes, su carga requiere de equipos especializados (y normalmente caros), ya sean grúas hidráulicas o cargadores articulados, o bien en forma de montacargas modificados o cargadores frontales. Éstas últimas ocupan más espacio que los dos primeros, porque es necesario mover la máquina completa para cada gru-



po de troncos cargados, mientras que los dos anteriores mueven solamente el brazo hidráulico.

TRANSPORTE CON CAMIONES: Aunque cualquier camión de cama plana puede llevar troncos al aserradero, es necesario considerar la organización y la frecuencia con que circularán los camiones para cargar troncos desde el bosque. Especialmente durante la temporada de lluvia en los caminos sin pavimento, los viajes frecuentes por camiones de tamaño mediano, o camiones sobrecargados pueden ser muy dañinos a los cami-



nos y, consecuentemente, fomentar la erosión y la sedimentación. Los camiones muy grandes, por otra parte, son costosos así como su mantenimiento, requieren áreas más grandes para dar la vuelta, y pueden necesitar caminos más anchos para operar con seguridad.

Finalmente, el monitoreo de camiones de troncos a su salida del bosque es una de las maneras más eficientes para registrar y controlar la cosecha de madera. Es más fácil hacer el monitoreo cuando el tamaño de la carga y su frecuencia son consistentes. En algunos países, el chofer realiza el papeleo requerido al pasar por una estación de chequeo, mientras que en otras áreas el chofer tiene un permiso general y cada carga de troncos, registrada en la bacadilla, sólo lleva un rótulo que identifica su origen y el número de carga. El monitor o la estación de chequeo puede comparar la cantidad de troncos con el número que aparece en el reporte inicial del lugar de acopio.

6.3.8 Economía forestal

Como cualquier otra cosa en un sistema de mercado, el manejo forestal debe dar retornos positivos para ser económicamente ganancioso. Y aunque un manejo forestal moderadamente prudente traerá más dinero que lo que costó ejecutarlo, existen dos factores que hacen problemáticas las inversiones forestales: el alto riesgo de un cultivo de largo plazo, y el tiempo largo (y por consiguiente el largo período de descuento) entre la inversión y su retorno.

El manejo forestal y la agricultura en general comparten dos componentes de riesgo: los riesgos de insectos o enfermedades, y los del clima. Un huracán puede arrasarse un bosque en una hora, como arrasa cualquier otro cultivo. Pero a diferencia de la agricultura, donde la recuperación de pérdida de la inversión puede comenzar con el cultivo de la próxima temporada, un bosque destruido implica la pérdida de muchos años de inversión. En adición a los riesgos que comparte con la agricultura, el manejo del bosque es particularmente susceptible a incendios y a (otros) actos de vandalismo y robo. Finalmente, el manejo forestal en la República Dominicana, al igual que en muchas pero no en todas partes del mundo, y en ambos lados de la línea de “desarrollo”, no se lleva a cabo en un ambiente regulatorio o legal estable. En otras palabras, cuando de buena fe se planta o se protege un bosque con la intención de cosecharlo después, puede suceder que no sea legal cosechar el producto cuando el dueño desea hacerlo, debido a cambios en la ley, en las regulaciones, o la fuerza.

Es difícil cuantificar estos riesgos en un análisis económico, y no existe un historial de largo plazo que indique el éxito de una inversión comercial en los bosques de la República Dominicana. Comparemos el valor actual neto y la tasa interna de retorno de un ejemplo hipotético de manejo forestal de pino nativo o exótico, moderadamente intensivo, con una inversión alternativa. Supongamos que plantamos pinos en un campo viejo que requiere muy poca limpieza; raleamos el lote dos veces a las edades de 6 y 15 años, y cosechamos a los 30 años. Además, supongamos que los costos del cumplimiento regulatorio y de prevención de incendios son insignificantes y que no tuvimos problemas con insectos o enfermedades durante los 30 años.

El Valor Actual Neto (VAN) de tal actividad podría ser:

El valor actual neto por hectárea = - (costo de reforestación) + (beneficio del raleo a – gastos del raleo a) * descuento al año a + (beneficio del raleo b – costos del raleo b) * descuento al año b + (beneficio al final de la cosecha – costo aprovechamiento) * descuento al año final.

Ejemplo: la reforestación cuesta RD\$20,000 por hectárea.

El primer raleo rinde RD\$150,000 por hectárea, pero cuesta RD\$120,000; RD\$30,000 neto.

El segundo raleo rinde RD\$300,000 por hectárea, y cuesta RD\$200,000; RD\$100,000 neto.

La cosecha final rinde RD\$1,000,000 por hectárea y cuesta RD\$250,000; RD\$750,000 neto.

Sin descuento, el beneficio neto aparente será de RD\$860,000 por hectárea. ¿Cuál será el factor de descuento apropiado? Un préstamo normal usando garantías colaterales en la República Dominicana cuesta 36% mínimo al año. Este costo refleja el nivel de confianza en la estabilidad del mercado de divisas, pero claro, no refleja la confianza en el manejo forestal. Si usamos la tasa competitiva de descuento comparativa de aproximadamente 40% (para tomar en cuenta el riesgo adicional del manejo forestal), nuestro valor actual neto es de -RD\$15,342. La tasa interna de retorno para este ejemplo hipotético es de 19.9 por ciento, lo que es bastante alto para las actividades forestales, pero bien debajo de las tasas competitivas para el dinero. Por ejemplo, el inversionista pudo en cambio decidirse por tomar su inversión inicial de RD\$20,000, e invertirla en lugar de ello en una serie de préstamos dominicanos a un rendimiento actual de aproximadamente 40%. En

30 años podría esperar un retorno sobre los RD\$ 484,028,647, pero con un riesgo relativamente alto de no recibirlo.

Es decir, la VAN es inferior a 0 para cualquier nivel encima de 20 por ciento, y una persona racional no haría esa inversión. Después de hacer estos pequeños cálculos, debe quedar claro que el rendimiento del bosque no puede competir con usos alternativos de dinero sin subsidios significativos. Esto tiene implicaciones importantes para los que abogan por el fomento de la reforestación y el manejo forestal en el sistema de mercados.

Supongamos que al subsidio se le tomó suficiente confianza en el sistema, combinado con términos de préstamo muy favorables, que resulta en un factor de descuento de 10%. El VAN entonces será de RD\$63,855: mejor, pero todavía mucho menos que los RD\$348,988 que habría generado la inversión original al mismo 10% sin todo el fastidio del manejo forestal. Aparentemente, entonces, el manejo forestal sigue siendo una inversión irracional. Y peor todavía, si se pospone por un año cualquiera de las cosechas rentables, en particular el último raleo o la cosecha final, el beneficio neto se reduce significativamente. Y el alza en el riesgo de manejo forestal por causa de un ambiente regulatorio no confiable puede resultar en todavía mayor daño. Un sistema regulatorio continuo y previsible que no hará subir los costos o retardará la cosecha repentinamente es esencial para el manejo forestal comercial.

¿Qué es, entonces, lo que motiva a las personas a entrar en el manejo forestal? Generalmente, la gente cosecha primero un rodal forestal remanente, generando un flujo de efectivo positivo que luego se reinvierte en el manejo forestal. Aún con la cosecha de un rodal forestal remanente que da RD\$20,000 por hectárea al comienzo de los 30 años, las expectativas para el manejo forestal a largo plazo mejoran considerablemente. Con el costo de la reforestación pagado por la cosecha inicial, el valor comparativo de la inversión se mejora. Mientras más alta sea la tasa alternativa de retorno, más fuerte es la presión de cortar la madera e invertir las ganancias en otro negocio, con resultados desastrosos para los ríos y riachuelos, el bienestar rural y la productividad a largo plazo.

6.4 Herramientas para productos forestales no maderables

6.4.1 Cosecha de productos forestales no maderables y mantenimiento del ecosistema

En la República Dominicana, el trabajo de recoger productos forestales no maderables es un negocio marginal y de bajos ingresos, aunque el mercado final para algunos suele ser muy lucrativo, como en el caso de orquídeas raras, bromelias, o cotorras. Los

mercados de otros productos, como el musgo español son marginales en todo el trayecto. Si el mercado es pequeño, hay aun menos información científica sobre las consecuencias de este tipo de cosecha. Tenemos muy poco conocimiento de cómo la cosecha de estas formas de vida variadas afecta la salud global de su ambiente forestal.

Debido a que se sabe tan poco, y porque el mercado no es muy fuerte a nivel del recolector, casi no existe una política nacional relacionada con la recolección y venta de ningún producto vegetal, con la excepción de especies raras reconocidas y en peligro, y aun en este último caso, las acciones para hacer cumplir las leyes son muy escasas. Debido a que los dominicanos no tienen tradiciones arraigadas en el uso del bosque, como es el caso en culturas indígenas de otras partes de Latinoamérica, no existe el rico conocimiento local que tipifica a muchos otros. Consecuentemente, hace falta mucha investigación, para identificar el impacto actual y las consecuencias de la cosecha de productos forestales no maderables, incluyendo las observaciones de aquellos que se han ganado la vida en esta actividad.

6.5 Herramientas para la Agroforestería

6.5.1 Introducción

La Agroforestería, como un medio de uso estable y quizás sostenible de la tierra, representa grandes esperanzas para las regiones tropicales del mundo en general y para la República Dominicana en particular. Aunque la dirección de la investigación biofísica y sus resultados aplicables han sido decepcionantes, nuevas investigaciones socioeconómicas muestran buen potencial para su aplicabilidad. La Agroforesta, como tópico de investigación y sus publicaciones internacionales, aparecieron por primera vez en la escena internacional al comienzo de los años de 1970, aunque cierta forma de agroforesta ha estado en uso en algunos lugares por miles de años (Nair, 1993). Cuando apareció en la literatura por primera vez fue referido como un concepto de 'transferencia de tecnología, los científicos, en su mayoría europeos y americanos, habían descubierto técnicas de combinar especies maderables y cultivos que ayudaban a controlar la erosión y la sedimentación. Estos pioneros en la investigación agroforestal pensaban que estas técnicas mejorarían no solamente las condiciones degradadas de cuencas hidrográficas sino que también darían a los pobres rurales, y principalmente agricultores, una mejor vida con fincas más estables (Jarvis, 1991).

Los resultados de investigaciones en parcelas experimentales y en fincas han sido prometedoras para el desarrollo sostenible de la agricultura de pequeñas fincas. Donde se ha realizado investigación biofísica aislada del contexto socioeconómico en el cual el

pobre rural vive, los resultados no han sido generalmente transferidos exitosamente a las audiencias a las cuales fueron dirigidos (Lundgren, 1989).

Las prioridades de investigación de la agroforesta se dirigieron entonces en parte hacia las ciencias sociales y a la búsqueda de formas de trabajar con los campesinos para encontrar técnicas agrícolas estables que fueran verdaderamente sostenibles—es decir, que cumplan con todas las condiciones de la sostenibilidad (Marcucci 1990). Estas investigaciones resultaron en técnicas como la Evaluación Rural Rápida (ERR), y Diagnóstico y Diseño (D&D), herramientas que permiten que un investigador externo, extensionista o agrónomo, identifique rápidamente los problemas principales dentro de un área de una comunidad o comunidades, procediendo entonces a diseñar soluciones junto con la comunidad (Swinkels 1990).

A la investigación social le costado mucho esfuerzo incorporar al agricultor como investigador, no sólo como sujeto de la investigación (Lundgren, 1989)⁸. Aunque la vasta mayoría de artículos sobre aspectos biofísicos de la agroforestería fueron publicados en los últimos años de la década de 1970 y durante la de 1980, la mayoría de los artículos en aspectos socioeconómicos fueron publicados en la última parte de los años de 1980 y en la década de 1990. Publicaciones recientes todavía se concentran en los difíciles problemas de transferencia tecnológica y en la incorporación del conocimiento indígena y la participación de agricultores locales en el proceso de desarrollo de sistemas agroforestales que funcionen. Por eso, esta sección sobre la implementación de la agroforestería reflejará estas dos ramas de la investigación: primero exploraremos la base biofísica para varias técnicas agroforestales, y luego veremos las técnicas desarrolladas para el trabajo colaborativo con comunidades, con fines de escoger una sola o una combinación de varias técnicas de agroforestería.

6.5.2 Técnicas biofísicas

Además de las variadas combinaciones de cultivos anuales y maderables, las personas piensan en terrazas, camellones y siembra en contorno como parte de la agroforesta. Aunque son ciertamente parte esencial de un programa comprensivo de conservación de suelos, no se limitan a la agroforesta. De hecho, algunos de los sistemas de terrazas más antiguos de Asia y Sudamérica nunca fueron concebidos para incluir a la vegetación ma-

8 Aunque biofísicamente hablando eran factibles, muchas de las técnicas propuestas requerían un gasto inicial de mano de obra y un riesgo de cambios en la tenencia de la tierra que no las hacían rentables. Y como frecuentemente eran impuestas a través de un sistema de extensión y de educación que funcionaba de arriba hacia abajo, encontraron resistencia y un rechazo social. Por eso no eran sostenibles (Firey, 1960).

derable. Por lo tanto, la discusión de técnicas agroforestales se dirigirá solamente a la parte del sistema que trata de combinar las especies maderables y no maderables.

Algunos autores (por ejemplo, (Young, 1989)) dividen las técnicas agroforestales entre los grupos 'barrera' y 'cobertura'. Es decir, aquellos que bloquean la sedimentación, tales como cultivos en franjas, aquellos métodos que previenen o reducen la erosión, tales como prácticas que requieren mucho mulching, o árboles de protección. En este libro, visualizaremos los sistemas agroforestales como mezclas a través del tiempo, a través del espacio vertical y a través del espacio horizontal. Es una clasificación fácil de determinar y no descansa en premisas no probadas sobre el éxito del control de la sedimentación o de la erosión.

6.5.2.1 Mezclas a través del tiempo

El método agroforestal más antiguo que se conoce es la agricultura de tumba y quema. Considerada hoy día como una fuente principal de los problemas desde deforestación hasta desertificación, la técnica en sí misma no es mala. Ha sido practicada de manera sostenible en algunos pueblos montañosos tailandeses durante siglos (Zinke, 1976), y fue la base de la agricultura taína a la llegada de Colón.

La premisa básica detrás de la técnica de tumba y quema es extraer del sistema forestal la fertilidad del suelo necesaria para sostener una o dos temporadas de agricultura relativamente intensiva y luego permitir que el bosque se recolonice, seguido por un largo período en que se permite que se restablezca el bosque en los campos, hasta restaurar la fertilidad de los suelos. La técnica ha sido exitosa cuando las incursiones en el bosque han sido pequeñas comparadas con el tamaño total del bosque. Esto asegura la disponibilidad de fuentes de semillas para las especies forestales, y una rápida recolonización. Los campos no se limpian completamente, sino que los cultivos son sembrados alrededor de los tocones, troncos y ramas. Estos materiales caídos al suelo forman barreras al transporte de la sedimentación y ayudan a que el suelo se mantenga en el campo aun cuando esté expuesto directamente a las lluvias y la erosión. El área se usa solamente durante una o dos temporadas, y el estado de "barbecho" se permite que dure de 10 a 50 años, a veces más.

Interacciones suelo-planta

Esta técnica libera carbono, nitrógeno y otros minerales atrapados en la vegetación forestal. Dependiendo del tipo de tumba y la intensidad de la quema, estos nutrientes pueden no estar disponibles a nuevos cultivos, sino que pueden perderse durante el proceso de quema (el nitrógeno es el más vulnerable a la volatilización), o unirse a las partículas del suelo en el caso de un incendio muy intenso. La técnica también reduce el consumo de agua por parte de los árboles y, por consiguiente, hace que haya más agua disponible para los cultivos (a veces demasiado agua).

El proceso por el cual el bosque reemplaza nutrientes perdidos por la quema, por los cultivos y por la erosión, es muy lento. Las bacterias que fijan el nitrógeno deben restablecerse en el suelo o en los nódulos de las raíces con algunas especies de árboles antes de que pueda comenzar la restauración de nitrógeno en el sistema forestal. Los procesos de formación de suelos dependen de la presencia de una rica microfauna y microflora de descomponedores, que a su vez dependen de la materia orgánica disponible. Los sistemas forestales tropicales, especialmente en las zonas tropicales húmedas, tienden a concentrar una proporción mayor de los nutrientes del sistema total en las plantas, dejando menos en el suelo que en las zonas templadas, donde el bosque es más estudiado. De esta manera, la extracción de los árboles previa a la siembra de cultivos suele quitar tantos nutrientes del sitio que los cultivos fracasan, aun en el primer año.

La agricultura de tumba y quema exitosa y biofísicamente sostenible requiere, entonces, de un proceso largo, lento y complejo de restauración de nutrientes en el bosque, y una mínima extracción de biomasa forestal antes de cultivar. Históricamente, la agricultura de tumba y quema exitosa ha institucionalizado esta demanda ritualizando y limitando las incursiones al bosque a un sistema de baja intensidad y de larga rotación.

Como cualquier intervención humana en los procesos de los suelos y plantas, la agricultura de tumba y quema tiene límites más allá de los cuales no es biofísicamente factible y a través del mundo entero, estos límites se han olvidado. La agricultura de tumba y quema en la sierra dominicana, por ejemplo, empieza con bosques de pino de baja fertilidad en suelos arenosos de pendientes fuertes, luego limpieza del suelo después (o antes) de la quema, resultando en grandes pérdidas de suelo, aún en el primer ciclo de cultivo. Cuando se ha perdido el potencial agrícola, los campos son convertidos en pastizales, los cuales son sobre-pastoreados, continuando la erosión. Esta secuencia ha ocurrido a través de la Sierra y ha resultado en una deforestación generalizada y pérdida de suelos. Peor todavía, las iniciativas de reforestación en los campos abandonados resultan en un

crecimiento aun más lento de los árboles, debido al poco suelo que queda y su baja fertilidad. En resumen, la agricultura de tumba y quema, como hoy día se practica en la República Dominicana, no es biofísicamente factible.

Taungya es un término africano para la combinación de siembra de cultivos anuales juntos con una plantación comercial de árboles maderables⁹. A medida que crecen los árboles, el agricultor puede usar el campo durante dos o tres temporadas, o hasta que el terreno quede tan ocupado por los árboles que la productividad agrícola quede reducida o eliminada. Esta técnica permite el cultivo periódico como parte del manejo forestal comercial, al mismo tiempo que provee un cuidado más intensivo de lo que normalmente es posible en los primeros años de una plantación de árboles. El método taungya ha sido sugerido como una manera de incorporar a los campesinos sin tierra a las iniciativas de reforestación. Sin embargo, implementar el sistema requiere una planificación política y social considerable, para evitar que se elimine la utilización que tiene el agricultor del bosque a medida avanza la reforestación.

Aunque el taungya es potencialmente factible desde el punto de vista biofísico, y quizás momentáneamente lucrativo, no ha sido generalmente adoptado. El sistema normal de tenencia de tierra bajo el régimen taungya es que el bosque pertenece al Estado o a un gran terrateniente, y temporalmente a uno o varios agricultores se les otorga el permiso de usar una parte de la tierra, pero sin dar ningún derecho permanente, tanto de la tierra como de los árboles, aunque sea el agricultor quien haya sembrado los árboles como parte de su contrato con el dueño de las tierras (Fortmann, 1987). El agricultor no tiene garantía de que otra área estará disponible a una distancia corta de su casa, y depende constantemente de la generosidad del terrateniente para disponer un terreno para cultivar.

Tanto la agricultura de tumba y quema como el taungya pueden ser biofísicamente factibles, pero han sido problemáticos socialmente. El aumento rápido de la población, y más precisamente en la población extremadamente pobre, ha resultado en tremendas presiones sobre los bosques, directa e indirectamente. Se ha disminuido la frecuencia de los incendios que resultan de las tumbas y quemadas en las montañas; esto es debido mayormente a que la gente más pobre ha migrado hacia las áreas urbanas, las cuales tampoco son capaces de sostener a esta población. A fin de reducir la migración urbana y los problemas políticos que la acompañan, y también para reducir los impactos de la sedimenta-

9 La terminología Taungya se aplica generalmente a la agricultura de tumba y quema, pero es usada aquí en su sentido más restringido.

ción río arriba sobre los usuarios de agua río abajo, sigue siendo crítico resolver los problemas de aquellos dominicanos que quedan en las montañas.

La esencia de una exitosa secuencia de cultivos maderables y anuales o perennes es el largo dominio de las especies maderables y la corta duración de los cultivos agrícolas. Los aumentos de población han desequilibrado esta oportunidad y han forzado el fracaso de tales sistemas agroforestales. Por lo tanto, los investigadores se han enfocado más en el uso simultáneo de la tierra para especies maderables y de cultivos agrícolas.

6.5.2.2 Mezclas en el espacio vertical: cultivos permanentes

Esta variedad de agroforesta es la más común en la República Dominicana y disfruta de una aceptación casi universal. El café y el cacao son dos cultivos —ellos mismos representan una vegetación maderable perenne— que crecen en la sombra de algunas especies de árboles. En tierras tanto planas como escarpadas se puede notar los follajes de los árboles amapola y guama, mostrando o implicando la presencia de plantaciones de café o de cacao debajo de ellos. Este sistema de dos niveles puede ser biofísicamente factible, pero sin un manejo adecuado, no garantiza la conservación de los suelos.

Los expertos de cultivos e investigadores preocupados por la conservación de los suelos definen “manejo adecuado” de diferentes maneras. Para éstos últimos, cierta pérdida del rendimiento actual es permisible con el fin de mantener la productividad del suelo, mientras que para los primeros, maximizar el rendimiento actual del cultivo es la meta principal. Por lo tanto, técnicas como la poda intensiva del follaje externo de los árboles, que probablemente resultará en mejor rendimiento a corto plazo, tienen consecuencias indeseables a largo plazo sobre el rendimiento, debido a un aumento en la erosión del suelo y al desplazamiento del mismo de su sitio.

El café bajo sombra y el cacao pueden ser sistemas exitosos y biofísicamente factibles, porque potencialmente pueden tener relaciones bastante estables entre los nutrientes, el agua, y el suelo. Las copas de los árboles reducen mucho el impacto de las gotas de lluvia y en muchos casos ofrecen la capacidad de fijación de nitrógeno. Sus hojas y ramas caídas suplen la cobertura superficial del suelo y lo protegen además de la erosión. Como solamente una porción pequeña de la biomasa de la especie de cultivo se extrae durante la cosecha, es factible para el sistema de árboles y arbustos reemplazar los nutrientes perdidos.

Pero, cuando los árboles de sombra son podados y las ramas son removidas del área, puede haber una pérdida neta de nutrientes del sistema. (Young, 1989) muestra que

el retorno de nutrientes requiere la deposición de todas las ramas en el sitio. Si se podan y quitan las hojas y las ramas tanto de los árboles de cultivo como los de sombra, es posible que empeore la erosión y la fertilidad del suelo pueda declinar. Los expertos en café pueden recomendar tal poda y extracción de mulch a fin de controlar la roya y otras enfermedades. Si estas técnicas culturales de cultivo se hacen rutinarias, pueden degradar al nivel de nutrientes y eventualmente la productividad del mismo cultivo, (Stocking, 1994, No. 299).

El café y el cacao son cultivos que pueden ser utilizados para controlar la erosión y fomentar la reforestación. Biofísicamente son factibles e individualmente son rentables algunas veces. No son sembrados con más frecuencia porque requieren una inversión inicial grande en términos de tiempo y energía, además del sacrificio del uso potencial del terreno para cultivos anuales mientras el café comience a producir. Además, es una inversión riesgosa porque los precios para el café y cacao dominicanos dependen de factores del mercado mundial al igual que de factores urbanos (de intermediarios), sobre los cuales el agricultor promedio no tiene control. Finalmente, si los precios son muy bajos, el cultivo no podrá sostener a la familia. Por eso, las investigaciones no se han limitado a café y cacao, sino que también han considerado formas de estabilizar el conuco o el sistema tradicional dominicano de cultivos múltiples.

6.5.3 Mezclas en el espacio horizontal

El cultivo en callejones y otras técnicas de siembra entre cultivos similares son los métodos agroforestales más típicos encontrados en la literatura (Nair, 1996). Aunque las interacciones entre plantas reducen con frecuencia el rendimiento de los cultivos más allá de una simple pérdida de espacio a las especies maderables, estas técnicas son generalmente promocionadas como las más beneficiosas, tanto para los agricultores como para los usuarios del agua río abajo. Las técnicas de siembra entre cultivos se pueden clasificar en tres grupos principales:

- Cultivos en callejones, o la siembra entre cultivos en un mismo campo.
- Cercas vivas y cultivos para mulch en los límites de los campos agrícolas.
- Especies silvopastoriles, o combinaciones de especies maderables y gramíneas para la alimentación de animales, tanto dentro de los campos como en sus alrededores.

6.5.3.1 Cultivo en callejones

El tipo de cultivo en callejones más común usa una especie maderable de rápido crecimiento (normalmente Leucaena o Calliandra) sembrada normalmente en curva de nivel, con un espaciado suficiente para permitir la siembra de especies de cultivos como maíz, millo, habichuelas, o yuca (Kang and Reynolds, 1989). Las especies maderables son podadas con frecuencia, a veces cortadas a ras del suelo y el material cortado se utiliza como cobertura o mulch alrededor de las especies de cultivo.

La vegetación maderable provee una barrera al suelo y al sedimento movilizado. Además, el uso de las hojas ricas en nitrógeno como mulch provee una fuente rápida de nutrientes a los cultivos mientras protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, ayudando a reducir la erosión. Parecería como una situación ideal, y muchas veces lo es en los primeros años.

Los problemas surgen cuando las raíces de las especies maderables se dispersan agresivamente y la competencia por el agua resultante con los cultivos. Controlar la dispersión de las raíces es una labor intensiva y con limitado éxito. El sistema necesita un mantenimiento agresivo y oportuno para dejar suficiente espacio a los cultivos, tanto encima como debajo del suelo. Por lo tanto, el éxito inicial aparente en lotes experimentales de cultivo en callejones, no se ha podido sostener o repetir con frecuencia sin modificación en los campos agrícolas.

Algunas de las modificaciones recientes de cultivo en callejones han incluido la búsqueda de especies maderables con raíces menos agresivas y la revisión del ancho requerido para los callejones. Estas modificaciones han ayudado a un sistema que en teoría es biofísicamente factible, pero que en la práctica no siempre es lo suficientemente satisfactorio para compensar la pérdida de espacio para los cultivos en el campo agrícola. El sistema continúa produciendo beneficios a los usuarios de agua río abajo, pero a los agricultores río arriba les cuesta en términos de rendimiento total del cultivo y de la inversión inicial de mano de obra; así es que, aunque es socialmente adoptable, a menudo no termina siendo lucrativo para el individuo, y consecuentemente no se ha incorporado con mucha frecuencia o consistencia en las prácticas de cultivo en las montañas.

6.5.3.2 Barreras vivas

Donde los agricultores no han mostrado interés de incorporar especies maderables en sus limitados campos agrícolas, a pesar de los beneficios en el largo plazo, se ha recomendado el uso de barreras vivas y otras siembras en los perímetros de los campos.

“Cercas vivas” de Juan Primero, Lino, y otras especies ya son comunes en la República Dominicana. La plantación de “barreras vivas” es similar al concepto de “cerca viva”, excepto que la densidad de los árboles es mucho mayor y las siembras se hacen con el fin de obtener mulch en vez de alimento para animales. Mientras la barrera viva cuesta abajo puede capturar una parte del sedimento de escorrentía del campo, la acumulación de suelo a lo largo de la barrera no es de gran utilidad para el agricultor.

Una modificación de la técnica es usar el material cortado de las barreras vivas de los perímetros de los campos para construir pequeñas terrazas a las curvas de nivel dentro de los campos. Sólo con depositar los cortes en las curvas de nivel a través del campo se puede ayudar a atrapar el sedimento (aunque no desacelera la erosión) y contribuir un poco a la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos. Como las especies maderables vivas no se encuentran dentro del campo, no existe una competencia de raíces con los cultivos, como es el caso con el sistema de cultivo en callejones, excepto tal vez al mismo borde del área cultivada.

6.5.3.3 Silvopastoril

Aunque mucho del trabajo de la agroforesta se ha concentrado en estabilizar los campos de agricultores con fines de suplir una fuente estable de alimentos de subsistencia, algunos investigadores se han dedicado a áreas generalmente extensivas de pastos nativos, donde la erosión puede ser severa. El sobrepastoreo, como resultado de una inadecuada disponibilidad de pastos, ignorancia o avaricia, causa la degradación del pasto y erosión. Como las oportunidades de expansión de los pastizales es poca, y normalmente se obtienen a expensas del bosque o de los campos de cultivo, se han buscado métodos para estabilizar los pastizales.

En adición al manejo cuidadoso del ganado, se han examinado técnicas para plantar especies de árboles con potencial de forraje fuera o dentro de los pastizales. La densidad de los árboles dentro de los pastizales debe ser ligera para permitir el crecimiento herbáceo adecuado. Las especies forestales para ser usadas como pastos son escogidas, al igual que en los cultivos en callejones, por su alta capacidad de fijar nitrógeno, pero tienden a ser cultivares más altos que aquellos seleccionados para los sistemas agrícolas, a fin de reducir los daños a los árboles o su destrucción por el ramoneo. Los árboles plantados dentro de los pastizales deben resistir o estar protegidos del ramoneo hasta por lo menos un año y a menudo varios años hasta que estén lo suficientemente altos.

El uso de follaje rico en nitrógeno para forraje requiere un manejo más intensivo de los animales que el simple pastoreo. El agricultor debe cortar las ramas y alimentar el ganado además de cuidar los árboles. Aunque el uso de tal forraje puede reducir la presión del pastoreo sobre las especies herbáceas, el efecto neto es limitado, y no se ha demostrado una reducción en la erosión ni en el transporte de sedimento (Young, 1989). Sin otros factores adicionales (como la reducción en el tamaño del hato o un manejo más intensivo), la simple incorporación de árboles esparcidos por el campo o en barreras vivas a un pasto ya degradado no crea un sistema sostenible.

CONCLUSIÓN:

Frecuentemente, las técnicas agroforestales se estudian aisladas, para un mejor control de las variables y demostrar claramente los resultados. Pero los agricultores muchas veces necesitan soluciones a una variedad de problemas simultáneamente: necesitan producir y utilizar los cultivos alimenticios, leña, animales, así como construir y mantener estructuras para vivienda y otros usos. Lo más importante es que desean muchas veces participar en el sistema de mercado en vez de quedarse sólo a nivel de subsistencia. Algunos estudios han prestado atención a proyectos a nivel de finca que integran varios de estos asuntos. En la medida que se propongan e introduzcan técnicas agroforestales en la República Dominicana, se debe considerar el sistema de finca en su totalidad y encontrar soluciones para múltiples problemas simultáneamente, en vez de tratar solamente los cultivos alimenticios o sólo la producción animal de manera separada.

Para ser exitoso, el sistema de finca debe ser desarrollado con la total participación y colaboración del agricultor. Las realidades económicas y sociales de agricultores rurales pobres debe formar la base para cualquier propuesta de mejoría. Los Investigadores con conocimientos especializados en suelos, nutrición vegetal, agronomía, y foresta tienen todas contribuciones potencialmente útiles que hacer al sistema del agricultor.

Aunque un agricultor local puede conocer bastante el área local, es probable que no sepa cuáles son todas sus opciones para mejorar la fertilidad del suelo, y el bienestar de su familia. Y aunque el profesional agroforestal puede ser capaz de ofrecerle sugerencias útiles para mejorar la fertilidad del suelo, es poco probable que entienda que los problemas de tenencia de la tierra pueden impedir su implementación. Si el agricultor se considera como un miembro del equipo en la solución de estos problemas y no meramente el receptor de información, hay una mejor oportunidad de que la solución desarrollada funcione bien.

Las soluciones de “arriba-abajo”, u ofrecida por extensionistas, no han sido ampliamente adoptadas. A menudo son altamente erosivas y no biofísicamente sostenibles. Para buscar un tipo de solución diferente –una que sea sostenible- se requiere un compromiso de ambos lados del difícil equipo de trabajo. Es una opción del extensionista establecer una relación con los agricultores y desarrollar un enfoque de solución de problemas, pero sin participación e interés local, las oportunidades de éxito son escasas.

6.5.4 Técnicas de diseño colaborativo

Saber si una técnica es biofísicamente factible o no, es sólo la primera etapa en la determinación de la sostenibilidad de una propuesta de cambio en el uso de la tierra. Los otros dos círculos en el diagrama de Firey (Figura 6) están relacionados con el individuo cuya tarea será LLEVAR A CABO el uso del suelo propuesto, y al grupo o comunidad más grande a la cual esa persona pertenece. Si una propuesta es rentable individualmente, puede que sea adoptada, por lo menos brevemente, al menos por algunos en la comunidad. Pero si la rentabilidad para el individuo no es proporcional al costo social, es poco probable que sea socialmente aceptable. ¿Cómo puede un investigador, entonces, determinar si cierta práctica propuesta es realmente sostenible?

La primera parte del ejercicio es determinar, si aún teóricamente, la práctica resultará en condiciones de suelo estables y mantenibles--factibilidad biofísica. Muy a menudo, la investigación termina ahí, sin verificar los impactos en el agricultor individual o en el grupo social más grande. El análisis económico muchas veces no evalúa adecuadamente los costos verdaderos del agricultor, incluyendo los costos de oportunidad y los costos de mano de obra familiar y costos de jerarquía. Pero aun un análisis económico de la rentabilidad individual de una práctica propuesta no es suficiente. Es esencial determinar si la propuesta generará suficiente beneficio social e individual para que sea permanentemente adoptable.

Determinar la adoptabilidad social es probablemente la tarea más difícil del investigador y la que menos se hace para la mayoría de las técnicas forestales. Dos técnicas desarrolladas en África son promisorias para la investigación dominicana.

La Evaluación Rural Rápida es una técnica para los investigadores identificar rápida y eficientemente las condiciones socioeconómicas y factores a ser tomados en cuenta en cualquier propuesta de desarrollo rural, incluyendo la agroforestería. Esta técnica depende de entrevistas y técnicas de diseño de preguntas, en diseño de muestreo práctico, en observación directa y en fuentes secundarias (Swinkels, 1990). Últimamente se han pu-

blicado varios manuales y guías que explican el uso de la técnica (Bruce, 1989; Beebe, 1995; Grandstaff y Messerschmidt, 1995).

Su gran ventaja es también su gran debilidad, su flexibilidad. Puede, en manos de un investigador incompetente o haragán, producir resultados sin sentido que no servirían ni siquiera a la comunidad de investigadores. Pero, en manos de una persona entrenada, realmente interesada en identificar los asuntos críticos de un grupo o comunidad, las técnicas de la Evaluación Rural Rápida pueden producir rápidamente la información requerida y conducir a recomendaciones sensibles, que podrían ser consideradas socialmente adoptables.

Diagnóstico y Diseño es otra técnica, también desarrollada en África, que es un método colaborativo que requiere la participación plena de las personas bajo estudio (Rain-tree, 1987). Su principal premisa es que las variables que requieren cambios —tasa de erosión de suelos, por ejemplo— sirve de marco tanto para desarrollar el método de investigación (diagnóstico) como para diseñar la solución.

7. Conclusiones y recomendaciones

Este libro ha presentado el estado del arte y la ciencia del bosque y de la agroforesta, en lo que corresponde a la República Dominicana. Hemos visto cómo la sostenibilidad, un concepto básico y una condición deseable, es controlada por muchos más factores que la tecnología. La sostenibilidad se basa en la factibilidad biofísica, por eso nuestra revisión de los conceptos de ecosistema y nuestro énfasis en los suelos y los procesos en que éstos se basan. La sostenibilidad también requiere de una adoptabilidad social, y por eso resumimos los resultados recientes de investigaciones sobre la pobreza y el éxito de varios modelos de 'desarrollo'. La economía, o la parte de "rentabilidad individual" del triángulo de la sostenibilidad fue examinada brevemente dentro del contexto de las condiciones dominicanas actuales. Apuntalando todos estos capítulos hubo una discusión de escala; se indicó que la escala de los bosques, la tasa de cambio y el concepto de propiedades emergentes son todos críticos para entender los tres aspectos de la sostenibilidad.

Para hacer este libro lo más relevante posible, nos adentramos en la aplicación de estos conceptos a los diferentes tipos de manejo de bosques y de laderas, desde la preservación de parques nacionales a las técnicas de conservación de suelos en la agricultura. Hemos incluido apéndices prácticos para ayudar aun más a aplicar los conceptos aquí presentados.

7.1 La Investigación dominicana

Aunque utilizamos ejemplos dominicanos a través de este libro, hace falta mucho más trabajo para ofrecer información específica requerida para analizar cada sitio apropiadamente, con el fin de tomar decisiones de política en el ámbito local o nacional. Cuatro son las categorías de investigación que necesitan atención:

1. El manejo adaptativo y la sostenibilidad de los modelos de manejo de recursos naturales.
2. El desarrollo de un programa de educación ambiental efectivo.
3. El manejo y disponibilidad de datos.
4. Investigaciones específicas sobre suelos y especies endémicas y otras nativas.

7.1.1 El manejo adaptativo

El "manejo adaptativo" es una frase popular en el campo de la investigación forestal internacional. No quiere decir nada más que comenzar inmediatamente a tomar decisiones sobre el recurso base, fundado en la información que se conoce ahora, pero constru-

yendo dentro del sistema la flexibilidad para cambiar cuando surgen nuevas informaciones. Por ejemplo, Novillero fue plantado con *Pinus caribea* a un costo enorme y en muy alta densidad a principios de la década de 1980. Veinte años más tarde, coincidió que la montaña estaba en el trayecto del huracán Georges, lo que resultó en que un alto porcentaje de los pinos fueran derribados o dañados. Sin embargo, a las latifoliadas nativas que habían crecido sin intervención en las cañadas, valles, y áreas de previa mortalidad del pino, les fue mucho mejor.

Los retos fueron completar el corte de salvamento donde fue posible, controlar la infraestructura industrial expandida por la disponibilidad repentina de madera, y decidir qué hacer con la montaña. Sea cual sea la decisión tomada o por tomar para Novillero, debe ser adaptable a las condiciones y a los conocimientos actuales y futuros sobre el manejo de pino, lo cual se aprendió por la vía difícil. Nuestro manejo no sería 'adaptativo' si hubiéramos insistido en ignorar todos los pequeños aserraderos buscando negocio, u olvidar las lecciones aprendidas de las diversas plantaciones de pino sin ralear.

Para desarrollar regímenes de manejo adaptativo inteligentes, hace falta conocimiento profundo de la sostenibilidad. Sabemos ahora que las plantaciones de pino de Novillero no eran sostenibles como fueron manejadas. Entonces, ¿cuál modelo de recursos naturales será sostenible allí y cómo lo sabremos?

Para aplicar el concepto tripartito de sostenibilidad, debemos obtener, retener y aplicar información sobre los tres componentes: biofísico, económico, y social. La información sobre la factibilidad biofísica vendrá de nuestro conocimiento de los ecosistemas involucrados, las especies propuestas, etc.

Una fuente de información biofísica excelente es el arte y la ciencia de la ecología de la restauración (ver sección 6.2.3). Los investigadores dominicanos deben hacer un gran esfuerzo para tratar de restaurar las asociaciones de vegetación en varias combinaciones de clima/suelo. Restaurar enseña mucho sobre los detalles de los procesos biofísicos, como la acumulación de materia orgánica en los suelos (¿Cómo se hace? ¿Cuáles son los resultados? ¿Cómo se puede mantener y mejorar?). Este tipo de experimento práctico, si se toman notas meticulosas y los resultados se publican, es una fuente tremenda de información para la aplicación inmediata en otros proyectos de foresta y agroforesta, incluyendo los proyectos comerciales.

La rentabilidad económica requiere el entendimiento de los mercados actuales y probable comportamiento futuro para los productos, pero va mucho más allá de un análisis de mercado. Especialmente cuando una entidad gubernamental está involucrada en

el manejo, como fue el caso de Novillero, debe incluirse un análisis más extenso que incorpore datos sobre el empleo local y la estabilidad de la comunidad a largo plazo. El manejo forestal privado, como mostramos en la sección 4.5, es difícil que sea realmente competitivo, comparado con otras inversiones alternativas. Se debe desarrollar, probar, y publicar múltiples modelos de uso de la tierra para pequeñas y medianas propiedades para poder ofrecer a los dueños opciones apropiadas a sus condiciones de tenencia y ubicación. También se debe explorar y publicar políticas alternativas para mejorar el ambiente regulatorio y financiero en que se encuentra la foresta comercial actualmente. Los modelos que incluyen la plantación de árboles como parte de la agroforesta en parcelas pequeñas deben ser estudiados desde el punto de vista económico para que los propietarios y practicantes de la agroforesta puedan entender los costos y beneficios probables.

Finalmente, la adoptabilidad de un modelo de manejo requiere una valoración honesta de la realidad política y comunitaria en la cual está ubicado un proyecto. La agroforesta se ha recomendado como una panacea para todo tipo de mal social rural, incluyendo la pobreza rural. Pero, ¿ofrece una salida de una vida de subsistencia, o meramente un medio sostenible de subsistencia? Como lo último es lo que ocurre usualmente, aunque promocionado como el primero, su adoptabilidad a largo plazo es cuestionable. La investigación agroforestal debe explícitamente examinar e incorporar el uso actual y futuro probable del uso y tenencia de tierra con el fin de identificar modelos que funcionen bien en el campo dominicano. Los investigadores deben trabajar en cooperación con los agricultores, cuyo conocimiento de la tierra que trabajan y de la comunidad donde viven es crítico para el desarrollo de mejores alternativas a la situación actual.

Parte esencial de cualquier investigación forestal o agroforestal es el análisis político y comunitario, el cual ofrece los antecedentes para las recomendaciones. Tal y como es esencial para los investigadores entender el contexto en el cual trabajan los pobladores rurales, también es esencial que reconozcan y valoren los conocimientos significativos del mundo de su alrededor que poseen esos pobladores. La idea de que los programas de “educación ambiental” deben ser desarrollados para subsanar la ignorancia de los pobladores rurales y reducir el impacto adverso que causan a otros a través de técnicas agrícolas erosivas, no sólo es un fracaso en la práctica, sino que está basado en la débil lógica de culpar a los pobres de su pobreza. La educación ambiental es dolorosamente necesaria a todos los niveles de la sociedad y en ambos ambientes, urbano y rural, pero necesita ser una educación ambiental que admita ignorancia y busque soluciones.

7.1.2 Educación ambiental

Educación ambiental es, o debería ser, un proceso de aprendizaje de los ecosistemas del mundo que sostienen la vida humana, y del entorno inmediato y nacional del estudiante y de los impactos de los humanos a su ambiente. Aunque “educación ambiental” en el sentido amplio incluye entrenamiento universitario en muchos aspectos de los recursos naturales, desde agronomía hasta zoología, es normalmente considerado como una parte específica de la educación escolar elemental y secundaria. Se refiere a una ausencia de planes estándares escolares de material acerca del ambiente, y algunas veces se piensa que es más necesario para un grupo (quizás agricultores) que para otro.

Idealmente, la educación ambiental debe ser una parte integral de cualquier programa escolar elemental o secundario, y debe ser enseñado tanto en las ciudades como en las áreas rurales. Especialmente ahora que una mayoría de la población mundial (y de la población dominicana) esta viviendo en un ambiente urbano, es crucial entender el origen de los alimentos: agua, minerales y madera que conforman la ciudad y su sistema de apoyo. Es igualmente importante entender lo que queda de biodiversidad en el mundo, los hábitats que le dan apoyo, y su significación para la sobrevivencia humana globalmente.

Un programa de educación ambiental debe estar en el currículum de cada año a lo largo de la educación básica de un niño. Así como se enseña clases de historia con cierto nivel, profundidad, y extensión geográfica cada año, también debe ser la educación ambiental igualmente programada. La educación ambiental debe estar basada en un modelo de descubrimiento, un viaje mutuo, en vez de una gira guiada.

Hay varios elementos de un buen currículum de educación ambiental que deben ser incorporados a todos los niveles. Los primeros tres son universales y deben ser enseñados a nivel nacional. Ellos son:

- 1 Fomentar un entendimiento de los conceptos básicos de las funciones del ecosistema, la biodiversidad y la sostenibilidad de actividades humanas.
- 2 Presentación de zonas climáticas importantes para el país y su vegetación, animales y comunidades humanas que las sostienen, así como también estudios de vida acuática marina y de agua dulce (lo cual es importante en la República Dominicana).
- 3 Presentación de las relaciones entre ecosistemas tropical e insular con otros grupos importantes de ecosistemas a nivel mundial (porque los ecosistemas son importantes en un sentido global).

Los dos últimos conceptos requieren conocimientos específicos del sitio de parte del profesor y deben ser parte de un programa interactivo donde el conocimiento que ya tiene el estudiante acerca de su entorno sea incorporado en los trabajos de clases. Ellos son:

- 1 Aprendizaje específico, aprender haciendo acerca del ambiente inmediato del estudiante, sea éste urbano o rural.
- 2 Entendimiento del origen y recorrido de los alimentos, agua, combustible, y elementos de protección que comprende el hábitat íntimo del estudiante.

La educación ambiental es más exitosa cuando es interactiva, activamente demandada e incorpora el conocimiento local, ya sea sobre un gorrión en la calle o un pájaro carpintero en los bosques, usándolo para delinear la experiencia de aprendizaje del estudiante. Es menos exitosa cuando se presenta como si el estudiante fuera culpable de alguna manera de la condición actual que le rodea, o fuese parte de un problema a ser resuelto. Funciona mejor cuando enseña a mejorar la observación y el entendimiento desde ambientes de bosques preservados a campos intensamente cultivados.

7.1.3 Manejo y disponibilidad de datos

Para que el manejo adaptativo o la educación ambiental funcione bien, se debe contar con una fuente de información estable y confiable; información sobre las realidades biofísicas, la situación económica, y las condiciones políticas y sociales. Esta información debe estar universalmente disponible para que los tomadores de decisiones de todas partes la puedan usar. Para la comunidad científica en la República Dominicana e internacionalmente, esto requiere de un esfuerzo inicial grande para la construcción y un compromiso de largo plazo para el mantenimiento de bibliotecas, bases de datos, y un ambiente para el conocimiento. El apéndice sobre el SIG (Apéndice B) habla un poco sobre la necesidad de un manejo nacional de datos espaciales, y es uno de muchos ejemplos de cómo organizar, almacenar, analizar y tener acceso a la información requerida. Asumiendo que ya existe la información en alguna parte, en algún formato, es crítico mejorar su disponibilidad.

7.1.4 Necesidades básicas de investigación

Muchas veces la información no existe, por lo menos en forma accesible. Las investigaciones en foresta en la República Dominicana deben concentrarse primero en las brechas más críticas de datos con fines de apoyar la sostenibilidad. La falta de información confiable sobre los suelos —no solamente tipos de suelos, sino también comportamiento

del ecosistema del suelo— limita el éxito de muchos proyectos de foresta tropical. Y la falta de investigaciones sobre las especies endémicas y nativas, al igual que la falta de producción comercial de semillas nativas, limita el uso de especies localmente adaptadas. El Jardín Botánico ha comenzado investigaciones admirables en especies nativas, pero le hace falta un mandato más amplio y un vínculo con la colección, producción y diseminación de semillas a nivel industrial.

7.2 El conversatorio dominicano

El propósito de este libro es ofrecer un marco referencial para un conversatorio nacional sobre los bosques dominicanos y las áreas deforestadas. Se han revisado las complejas y dinámicas características de sistemas tanto naturales como humanos. Se ha ofrecido un entendimiento básico de los conceptos de los procesos sociales, económicos, políticos y biofísicos en juego en los bosques y en la nación. Para avanzar en este conversatorio, usando este libro como punto de partida, requiere lo siguiente:

- La voluntad de tratar el 'manejo adaptativo', anticipando y acomodando cambios y trabajando con información incompleta mientras se mejora.
- El reconocimiento que la sostenibilidad tiene componentes biofísicos, económicos, y sociales, y que no se puede lograr sin cumplir con los requisitos mínimos de cada uno.
- La búsqueda agresiva de soluciones a las causas fundamentales de la deforestación, la erosión y la sedimentación, en vez de paliativos.

Este libro puede ser el comienzo, o la continuación, de la 'educación ambiental' para sus lectores. Si aceptamos que la educación sobre el ambiente es un proceso de exploración y descubrimiento para toda la vida, entonces no tratemos de desarrollar un programa de propaganda a ser impuesto por un grupo sobre otro, no importa lo bien intencionado que sea. En cambio, involucrémonos en un conversatorio de iguales y trabajemos juntos en el desarrollo de soluciones a los problemas nacionales.

Bibliografía

- U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1983. Methods of Rapid, Early Selection of Poplar Clones for Maximum Yield Potential: A Manual of Procedures. St. Paul, MN, USDA USFS North Central Forest Experiment Station.
- Agee, J. K. (1991). Fire History of Douglas-fir Forests in the Pacific Northwest. Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-fir Forests, USDA FS. PNW-GTR-285.
- Barnes, B. V., D. R. Zak, et al. (1998). Forest Ecology, Fourth Edition. New York, John Wiley & Sons.
- Baumer, M. (1990). The Potential Role of Agroforestry in Combating Desertification and Environmental Degradation. The Netherlands, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.
- Becker, C. D. and E. Ostrom (1995). "Human Ecology and Resource Sustainability: The importance of institutional diversity." Annual Review of Ecology and Systematics 26: 113-133.
- Beebe, J. (1995). "Basic concepts and techniques of rapid appraisal." Human Organization 54(1): 42-51.
- Bell, J. F. and J. R. Dilworth (1988). Log Scaling and Timber Cruising. Corvallis, OR, Oregon State University Bookstore.
- Benckiser, G., Ed. (1997). Fauna in Soil Ecosystems: Recycling Processes, Nutrient Fluxes, and Agricultural Production. Soils, Plants, and the Environment. New York, Marcel Dekker, Inc.
- Benda, L. (1994). Stochastic Geomorphology in a Humid Mountain Landscape. PhD Dissertation,. Seattle, WA, University of Washington,.
- Berry, J. K. and W. J. Ripple (1996). Emergence and Role of Geographic Information Systems in Forestry. The Literature of Forestry and Agroforestry. Ithaca, NY.
- Blaikie, P. (1985). The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries. New York, John Wiley & sons, Longman Scientific and Technical, Essex, England.
- Botkin, D. B. (1990). Discordant Harmonies. NY, Oxford University Press.
- Brubaker, L. B. (1991). Climate Change and the Origin of Old-Growth Douglas-Fir Forests in the Puget Sound Lowland. Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-fir Forests. U. F. Service.
- Bruce, J. W. (1989). Community Forestry: rapid appraisal of tree and land tenure. Rome, Italy, FAO.
- Burn, A. J., T. H. Coaker, et al. (1987). Integrated Pest Management. London, Academic Press.
- Castillo, A., Ed. (1991). 25 Años de Fundación. Santo Domingo, Dominican Republic.
- Chrisman, N. R. (1987). "The role of quality information in the long-term functioning of a geographic information system,." Cartographica 21: 79-87.
- Chrisman, N. R. (1997). Exploring Geographic Information Systems. New York.

- Cieswla, W. M. and E. Donabauer (1994). *Decline and Dieback of Trees and Forests*. Rome, Italia, FAO.
- Clark, J. G. (1995). "Economic Development vs. Sustainable Societies: Reflections on the Players in a Crucial Contest." *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 225-248.
- Clements, F. E. (1916). *Plant succession: analysis of the development of vegetation*. Washington, DC, Carnegie Institute.
- Commission, W. C. o. E. a. D.--. T. B. (1987). *Our Common Future*. Oxford, UK, Oxford University Press.
- Corona, P., A. Ferrara, et al. (1997). "Sustainable Management of Forests for Atmospheric CO₂." *Journal of Sustainable Forestry* 5(3/4): 81-91.
- Development, U. N. C. o. E. a. (1993). *Agenda 21: Programme of action for sustainable development*. Rome, Italy, United Nations Conference on Environment and Development.
- Dobler, G., L. E. Peralta, et al. (1995). *Investigación y Manejo de Especies Maderables de Uso Común en la Sierra*. San José de las Matas, Plan Sierra y Servicio Alemán de cooperación social-técnica IDED).
- Dorman, K. W. (1976). *The Genetics and Breeding of Southern Pines*. Washington, DC, USDA USFS.
- Duerr, W. A. (1960). *Forest Economics*. New York, McGraw-Hill.
- Eckhom, E. (1979). *The Dispossessed of the Earth: Land Reform and Sustainable Development*. Washington, DC, Worldwatch Institute.
- Ehrlich, P. R. (1968). *The Population Bomb*. San Francisco, Ballantine Books.
- Elliot, W. J., R. B. Foltz, et al. (1997). *Predicting the Impacts of Forest Roads on the Environment*. III Simposio Brasileiro Sobre Colheita e Transporte Florestal - SIF, Vitoria, ES Brasil.
- Emanuel, W. R., G. G. Killough, et al. (1984). "Modeling Terrestrial Ecosystems in the Global Carbon Cycle with Shifts in Carbon Storage Capacity by Land-Use Change." *Ecology* 65(3): 970-983.
- ESA, C. o. S. I. i. t. (1995). *Science and the Endangered Species Act*. Washington, DC, National Academy Press.
- Firey, W. (1960). *Man, Mind, and Land*. Glencoe, IL, Free Press.
- Forman, R. T. (1986). Ch 12 *The Ethics of Isolation, the Spread of Disturbance and Landscape Ecology*. in Forman, RTT, ed., Wiley & Sons, NY.
- Fortmann, L. (1987). *Tree Tenure: An Analytical Framework for Agroforestry Projects*. Land, Trees and Tenure. J. B. Raintree. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- Foth, H. D. (1984). *Fundamentals of Soil Science*, 7th Ed. New York, NY, John Wiley & Sons.

- Freedman, B. (1981). Intensive Forest Harvest: A review of nutrient budget considerations. FRedrickton, New Brunswick, Canada, Maritimes For. Res. Cntr.
- Freese, F. (1962). Elementary Forest Sampling. Washington, DC, USDA USFS.
- Freese, F. (1967). Elementary Statistical Methods for Foresters. Madison, WI, USDA USFS.
- García, R., M. Mejía, et al. (1997). Importancia de las Plantas Nativas y Endémicas en la Reforestación. Santo Domingo, RD, Jardín Botánico Nacional.
- Gil, T. and B. Cuevas (1986). Tabla de Volumen Local y General sobre Pinus occidentalis Sw. para el Proyecto La Celestina, San José de las Matas. Instituto Superior de Agricultura. Santiago, Dominican Republic: 61.
- Gittinger, J. P. (1982). Economic Analysis of Agricultural Projects, 2nd ed. Baltimore, MD, Johns Hopkins University Press.
- Golley, F. B. (1998). A Primer for Environmental Literacy. New Haven, CT, Yale University Press.
- Goodchild, M. (1993). Environmental Modelling with GIS. NY, Oxford University Press.
- Goodland, R. (1995). "The Concept of Environmental Sustainability." Annual Review of Ecology and Systematics 26: 1-24.
- Goodman, D. and M. Redclift (1991). Refashioning Nature: Food, Ecology, and Culture. London, Routledge.
- Gordon, J. C. and W. R. Bentley (1990). A Handbook on the Management of Agroforestry Research. New Delhi, India, South Asia Books.
- Gosz, J. R., R. T. Holmes, et al. (1978). "The flow of energy in a forest ecosystem." Scientific American 238: 92-202.
- Grandstaff, T. B. and D. A. Messerschmidt (1995). A Manager's Guide to Rapid Rural Appraisal. Rome, Italy, FAO.
- Griffiths, G. H. (1995). Landscape Ecology: Theory and Application. International Association for Landscape Ecology (UK), Univeristy of Reading.
- Harshorn, G. S. (1995). "Ecological Basis for Sustainable Development in Tropical Forests." Annual Review of Ecology and Systematics 26: 155-175.
- Hartshorn, G., G. Antonini, et al. (1981). La República Dominicana: Perfil Ambiental del Pais: Un estudio de campo. Santo Domingo, Dominican Republic, AID.
- Harvey, D. (1969). Explanation in Geography. London, Edward Arnold,.

- Hoffman, C. A. and C. R. Carroll (1995). "Can We Sustain the Biological Basis of Agriculture?" Annual Review of Ecology and Systematics 26: 69-92.
- Holdridge, L. R. (1967). Life Zone Ecology, 2nd Ed. San Jose, Costa Rica, Tropical Science Center.
- Huntington, T. G. (1995). "Carbon Sequestration in an Aggrading Forest Ecosystem in the Southeastern USA." Soils Science Society of America Journal 59: 1459-1467.
- Jarvis, P. G., Ed. (1991). Agroforestry: Principles and Practice. Amsterdam, Elsevier.
- Jepma, C. J. N. S. A. M. B. Y. L. (1997). "Carbon sequestration and sustainable forest management: common aspects and assessment procedures." : S83-S96.
- Jordan, W. R., M. E. Gilpin, et al. (1987). Restoration Ecology: a synthetic approach to ecological research. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Kang, B. T. and L. Reynolds, Eds. (1989). Alley Farming in the Humid and Subhumid Tropics. Proceedings of an international workshop held at Ibadan, Nigeria 10-14 March 1986. Ibadan, Nigeria, International Development Research Centre, Canada.
- Kellert, S. R. and E. O. Wilson (1998). The Biophilia Hypothesis.
- Kittredge, J. (1948). Forest Influences: the effects of woody vegetation on climate, water, and soil. New York, Dover Publications.
- Konyushkov, D. Y. (1997). Chapter 20. Geochemical History of Carbon on the Planet: Implications for Soil Carbon Studies. Soil Processes and the Carbon Cycle. R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follett and B. A. Stewart. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Kozlowski, T. T., S. G. Pallardy, et al. (1997). Physiology of Woody Plants. San Diego, Academic Press.
- Kuhn, T. S. (1996). The Structure of Scientific Revolutions, Third Ed. Chicago, IL, University of Chicago Press.
- Lal, R. (1990). Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management. New York, McGraw-Hill, Inc.
- Lal, R., Ed. (1994). Soil Erosion: Research Methods, 2nd Edition. Delray Beach, FL, St. Lucie Press.
- Lal, R. (1998). Management of carbon sequestration in soil.
- Lal, R. (1998). Soil processes and the carbon cycle.
- Lal, R., J. Kimble, et al. (1997). Chapter 1. Pedospheric Processes and the Carbon Cycle. Soil Processes and the Carbon Cycle. R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follett and B. A. Stewart. Boca Raton, FL, CRC Press.

- Lal, R., J. Kimble, et al., Eds. (1995). *Soils and Global Change. Advances in Soil Science*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Lal, R. K. J. F. R. (1998). Need for research and need for action. *Management of carbon sequestration in soil* /: . 447-454.
- Ley, E. S. R. A. (1997). "Carbon sequestration and tree plantations: a case study in Argentina." : S185-S192.
- Lugo, A. E. and S. Brown (1993). "Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon." *Plant and Soil* 149: 27-41.
- Lugo, A. E. and C. Lowe, Eds. (1995). *Tropical Forests: Management and Ecology. Ecological Studies*. New York, Springer-Verlag.
- Lundgren, B. O. (1989). Institutional and policy aspects of agroforestry. *Agroforestry Systems in the Tropics*. P. K. R. Nair. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Mann, K. H. (1990). *Towards Predictive Models for Coastal Marine Ecosystems. Landscape Ecology*, Springer-Verlag.
- Mannion, A. M. (1998). "Can Biotechnology Contribute to Sustainable Agriculture?" *Journal of Sustainable Agriculture* 11(4): 51-75.
- Manon, B. (1998). native species seed production.
- Marcucci, J. L. (1990). *Using Social Science Tools in Agroforestry Research*, WINROCK Intl, F/FRED.
- Maser, C. and J. M. Trappe (1984). *The Seen and Unseen World of the Fallen Tree*. Portland, OR, USDA Forest Service, Pacific Northwest Experiment Station.
- Matyas, C., Ed. (1997). *Perspectives of Forest Genetics and Tree Breeding in a Changing World*. Vienna, Austria, International Union of Forest Researchers (IUFRO).
- Medley, K. E. (1995). "Landscape Change with Agricultural Intensification in a Rural Watershed." *Landscape Ecology* 10(3): 161-176.
- Meentemeyer, V. E. O. B. (1986). Ch 2 Scale Effects in Landscape Studies. *Landscape Ecology*. R. Forman. NY, Wiley and Sons,.
- Merchant, C. (1992). *Radical Ecology*. New York, NY, Routledge.
- Nair, P. K. R. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Nair, P. K. R. (1996). *Agroforestry Directions and Literature Trends. The Literature of Forestry and Agroforestry*. P. McDonald and J. Lassoie. Ithaca, NY, Cornell U. Press.
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*, 3rd Ed. Philadelphia, PA, W.B. Saunders & Co.

- Oliver, C. D., B C Larson (1996). *Forest Stand Dynamics*, second ed, McGraw Hill Inc.
- Oliver, C. D., A. Osawa, et al. (1993). *Forest Dynamics and resultant plant and animal population changes at the stand and landscape levels. Forest Dynamics and its Mechanisms*, Tsukuba, Japan.
- Parks, P. J. and I. W. Hardie (1995). "Least-Cost Forest Carbon Reserves: Cost-Effective Subsidies to Convert Marginal Agricultural Land to Forests." *Land Economics* 71(1): 122-136.
- Pedroli, G. B. M. and G. J. Borger (1990). "Historical Land Use and Hydrology: A Case Study from Eastern Noord-Brabant." *Landscape Ecology* 4(4): 237-248.
- Pelto, P. and G. H. Pelto (1978). *Anthropological Research*, Cambridge University Press.
- Prigogine, I. and I. Stengers (1984). *Order out of Chaos: Man's new dialogue with nature*. New York, Bantam Books.
- Primack, R. B. (1993). *Essentials of Conservation Biology*. Sunderland, MA, Sinauer Assoc.
- Project, H., Ed. (1985). *Ending Hunger: An Idea Whose Time Has Come*. Praeger Special Studies. New York, Praeger.
- Pyne, S. J. (1982). *Fire in America: A cultural history of wildland and rural fire*. Princeton, NJ, Princeton University Press.
- Raintree, J. B. (1987). *Agroforestry, tropical land use and tenure. Land, Trees and Tenure*. J. B. Raintree. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- Raintree, J. B. (1987). "The state of the art of agroforestry diagnosis and design." *Agroforestry Systems* 5: 217-250.
- Raup, H. M. (1966). "The View from John Sanderson's Farm." *Forest History* Apr-66: pp 2-11.
- Research, C. f. I. F. (1997). *CIFOR's Strategy for Collaborative Forestry Research*. Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research.
- Ringold, P. and P. M. Groffman (1997). "Inferential Studies of Climate Change." *Ecological Applications* 7(3): 751-752.
- Risser, P. G. (1986). "Ch 1 Landscape Ecology: the state of the art." .
- Rocheleau, D., F. Weber, et al. (1988). *Agroforestry in Dryland Africa*. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- Rodiek, J. E. and E. G. Bolen, Eds. (1991). *Wildlife and Habitats in Managed Landscapes*. Covelo, CA, Island Press.
- Rose, C. W. (1994). *Research Progress on Soil Erosion Processes and a Basis for Soil Conservation Practices. Soil Erosion Research Methods*, 2nd Ed. R. Lal. DelRay Beach, FL, St. Lucie Press.

- Ross, H. H., C. A. Ross, et al. (1982). *A Textbook of Entomology*. New York, NY, John Wiley & Sons.
- Santos, B. A. (1992). *Cost Benefit Analysis of Soil Erosion Control: The Case of Plan Sierra*. *Agricultural and Resource Economics*. Berkeley, CA, University of California: 292.
- Sauer, C. O. (1966). *The Early Spanish Main*. Berkeley, CA, University of California Press.
- Scherr, S. J., Ed. (1991). *Methods for Participatory on-Farm Agroforestry Research*. Summary Proceedings of an International Workshop. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- Scherr, S. J. (1992). "Not out of the woods yet: challenges for economics research on agroforestry." *American journal of agricultural economics* 74(3): 802-808, 816-819.
- Sfeir-Younis, A. and A. K. Dragun (1993). *Land and Soil Management: Technology, Economics, and Institutions*. Boulder, Colorado, Westview Press.
- Smith, D. M. (1996). *The Practice of Silviculture*, 8th edition. New York, John Wiley & sons.
- Swinkels, R. A. (1990). Review of methods used for on-farm economic evaluation of agroforestry technologies.
- Turnbull, D. (1993). *Maps are Territories: Science is an Atlas*.
- Turner, M. G. (1986). *Spatial and Temporal Analysis of Landscape Patterns*. *Landscape Ecology*. R. T. T. Forman and M. Godron. New York, Wiley & sons.
- Turner, M. G., V.H Dale, & R.H Gardner (1989). *Predicting Across Scales: Theory development and Testing*. *Landscape Ecology*: 3.
- Turner, M. G. and V. H. Dale (1991). Ch 13 *Modeling Landscape Disturbance*. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. M. G. Turner and R. H. Gardner. New York, Springer-Verlag.
- Vitousek, P. M. (1992). "Global Environmental Change: An Introduction." *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 1-14.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, et al. (1997). "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences." *Ecological Applications* 7(3): 737-750.
- Waldrop, M. M. (1992). *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York, Simon & Schuster.
- Walker, G. (1987). *An Invaded Countryside: Structures of life on the Toronto Fringe*. Toronto, Canada, York U.
- Walters, C. (1986). *Adaptive Management of Renewable Resources*. New York, NY, MacMillan Publishing company

Wenger, K. F., Ed. (1984). *Forestry Handbook*, second edition. A Wiley-Interscience publication. New York, John Wiley & Sons Society of American Foresters.

White, R. (1990). "Environmental history, ecology, and meaning." *Journal of American History* 76(4): 1111-1116.

Winjum, J. K., R. C. Dixon, et al. (1997). "Carbon Storage in Forest Plantations and their Wood Products." *The Journal of World Forest Resource Management* 8: 1-19.

Wischmeier, J. and S. Smith (1958). "Universal Soil Loss Equation." .

Young, A. (1989). *Agroforestry for Soil Conservation*. Nairobi, Kenya, CAB International (UK).

Zinke, P. (1976). *Presentation of Thailand village soil conservation*.

APÉNDICES

- A Secuestro de carbono**
- B Sistemas de Información Geográficos (SIG) en la República Dominicana**
- C Inventario general forestalApéndice A**

APÉNDICES A

El secuestro de carbono en los bosques tropicales

Para calcular el secuestro de carbono de un área forestada dada o proyecto de reforestación, se debe disponer de la siguiente información:

1. El área a ser considerada debe ser estimada o medida en hectárea;
2. Se deben determinar las especies junto a una densidad de madera conocida o estimada (el promedio general es 0.52 toneladas /m³ secada al horno) y probable uso de la madera después de la cosecha (promedio general en los trópicos varía de 10-50% de la madera aérea usada en productos maderables duraderos con 50-90% usado como combustible o perdido);
3. El incremento promedio anual del crecimiento de los árboles (crecimiento neto de la madera aérea) por hectárea debe ser calculado (se ha medido en 3-10 m³/ha/año en *Pinus occidentalis*, mientras que en *Acacia mangium* ha sido medido en 10-50 m³/ha/año). Estas medidas dependen de la especie (y de tasas de crecimiento específicas a las especies), edad, número de árboles por hectárea, y salud de los árboles.

Con esta información disponible, el secuestro total de carbono puede ser calculado como sigue:

$$\text{TACS} = A * \text{MAI} * \text{WD} * 1.6 * 0.5 * 1.5$$

Donde

TACS = secuestro total de carbono anual, asumiendo:

* Cosecha continua y reforestación;

* Biomasa subterránea equivalente al 20% de la biomasa aérea;

* Productos maderables duraderos representan el 30% de la cosecha de madera aérea.

A = área en hectáreas.

MAI = promedio anual del incremento del volumen de madera aérea comercializable, in m³/ha/año.

WD = densidad de la madera, in ton/ m³

1.6 = proporción promedio entre la biomasa aérea y la biomasa arbórea aérea.

0.5 = toneladas de carbón por tonelada de biomasa.

1.5 = crédito adicional por biomasa subterránea a 20% y productos maderables duraderos a 30%.

Bibliografía

Huntington, T. G. (1995). "Carbon Sequestration in an Aggrading Forest Ecosystem in the Southeastern USA." *Soils Science Society of America Journal* 59: 1459-1467.

Lee, J. J. and R. Dodson (1996). "Potential Carbon Sequestration by Afforestation of Pasture in the South-Central United States." *Agronomic Journal* 88: 381-384.

Winjum, J. K., R. C. Dixon, et al. (1997). "Carbon Storage in Forest Plantations and their Wood Products." *The Journal of World Forest Resource Management* 8: 1-19.

Apéndice B

Sistemas de información geográficos en la República Dominicana

Los Sistemas de Información Geográficos, abreviado GIS en inglés y SIG en español son formas de pensar y organizar información sobre áreas geográficas. Aunque muchos piensan que los SIG son programas de computadoras, en realidad son mucho más que eso. En su forma más simple, ni siquiera requieren computadoras.

Cualquier definición útil de SIG debe reconocer que opera dentro un contexto institucional y cultural que influyen su funcionamiento y que a la vez su funcionamiento influye el contexto institucional y cultural. En los Estados Unidos, en que su tecnología ha madurado, el SIG sigue las rutas de huracanes y las evacuaciones requeridas, se envían vehículos de emergencia a lugares de accidentes e incendios usando SIG y vendedores seleccionan vecindarios basados en hábitos de compra conocidos de algunos de sus residentes. Los avances del SIG han sido tales, que su tecnología ha sido modificada para servir mejor a las necesidades comerciales y no meramente las académicas y gubernamentales (Harley, 1990; Curry, 1991; Curry, 1994; Pickles, 1995).

El SIG puede entonces ser definido como "la actividad organizada por la cual la gente:

- Mide los aspectos de fenómenos y procesos geográficos;
- Representa esas mediciones, usualmente en forma de base de datos computarizada, para enfatizar temas espaciales, entidades y relaciones;
- Opera bajo estas representaciones para producir más mediciones y para descubrir nuevas relaciones al integrar fuentes dispares; y
- Transforman estas representaciones para conformar otros marcos de entidades y relaciones. (Chrisman, 1997), página 5"

El SIG es mucho más que un sistema de mapeo asistido por una computadora, sino una forma de almacenar, analizar, integrar y presentar información espacial. Para un área en particular, digamos la provincia de Santiago Rodríguez, podríamos tener informaciones de cobertura vegetal, suelo, propiedad de la tierra, caminos, arroyos, localización de escuelas, pozos, hospitales públicos, y la ubicación del último brote de disentería. Esta información puede ser mapeada de alguna manera, pero probablemente estará en papel

en diferentes archivos en algún lado entre Santiago Rodríguez, Santiago o Santo Domingo, o tal en Miami. Los funcionarios de salud estarían bien servido con mapas actualizados e informaciones sobre la provincia y su gente. Los trabajos públicos podrían ser mejor administrados con mejores datos. Y los forestales, quienes ayudan a los administradores públicos y dueños de propiedades a manejar sus bosques, también necesitan mucho estas informaciones. La organización y el uso de estas informaciones se ha convertido en un componente importante de cualquier proyecto-muchas veces la parte más costosa y la que mayor tiempo consume. Y cuando el proyecto ha sido completado, el conocimiento es archivado y en la mayoría de las veces se pierde.

El SIG ofrece un sistema para recolectar, almacenar y utilizar este tipo de información, no sólo para un proyecto o un propietario, sino para una gran variedad de áreas para prolongados períodos de tiempo. El SIG puede ser, y actualmente es, usado aislado por unos pocos académicos o departamentos del gobierno sin saber o sin interesarse por el tipo de información que otros están recolectando o usando. Lo más común es que los esfuerzos de recolección de datos son innecesariamente duplicados, desperdiciando tiempo y dinero.

Para que el SIG sea realmente una herramienta efectiva en la República Dominicana, por lo menos para el manejo de recursos naturales, los siguientes elementos deben ser desarrollados:

1. Una base de datos nacional para información geográfica;
2. Disponibilidad universal de los datos de la base de datos y un mecanismo para diseminar información acerca de los datos disponibles;
3. Una fuente de imágenes de satélite a precio razonable, que ofrezca información histórica y actual de localización y todo tipo de información espacial (vegetación, caminos, hidrología, centros poblados, etc.);
4. Por lo menos un laboratorio nacional de SIG capaz de realizar análisis avanzados y que esté disponible para tales trabajos;
5. Disponibilidad general de softwares y computadoras para profesionales de recursos naturales (quizás conectadas con varias localidades alrededor del país);
6. Entrenamiento en todos los aspectos de este sistema para permitir que todos los profesionales de recursos naturales del país tengan la oportunidad de usar esta poderosa herramienta.

En los párrafos siguientes me referiré brevemente a los tres primeros elementos del plan para desarrollar y hacer disponible información geográfica. Aunque enfatizo la necesidad para profesionales en recursos naturales, el mismo plan servirá todas las profesiones que requieran información espacial actualizada. Elaborar y ejecutar completamente este plan está fuera del alcance de este libro, pero es un reto para la alianza publico-privada en los próximos dos o tres años.

Unos años atrás una "base de datos nacional" habría implicado un esfuerzo de centralización enorme para recolectar y almacenar información en un lugar. Ahora, debe significar un esfuerzo de localización y catalogación enorme pero menos costoso. La base de datos nacional debe contener metadatos acerca de bases de datos computarizadas y en papel, mapas y otras informaciones espaciales, no necesariamente la información misma.

Metadatos son "datos acerca de datos" o información que dice qué datos han sido recolectados, cuándo, sobre cuál área, por quién, con qué técnica, para cuál propósito, con cuáles atributos de registro y también me dice cómo localizarlos y adquirirlos. El generador de los datos mantiene y actualiza la información, supliendo solamente nuevos metadatos (casi siempre generados automáticamente) a la base de datos nacional.

Esta base de datos nacional debe ser universalmente accesible en la misma forma que deben ser universalmente accesibles los catálogos en las bibliotecas públicas. Existen sistemas de softwares en la Web que hacen posible tal accesibilidad. El esfuerzo del CEDAF de catalogación en bibliotecas podría ser fácilmente ampliado para incluir información geográfica.

Las *imágenes de satélites* son globales, frecuente y cada vez con mayor resolución. También son cada vez más comerciales-lo que es bueno, porque hay menos o ninguna limitación de confidencialidad gubernamental en su distribución, pero mala en el sentido que puede ser muy costosa. Un esfuerzo nacional coordinado para adquirir y hacer disponible imágenes específicas a un país será beneficioso para todas las agencias e interesados, tanto públicos como privados. Es importante reconocer (y presupuestar) la necesidad de interpretar esas imágenes o completar una serie de esfuerzos de procesamiento computarizado con mediación humana para hacerlas útil.

SPG y SIG

Para que el SIG sea efectivo, la información de localización debe ser precisa. Por ejemplo, si uno está tratando de estimar cambios en la vegetación a través del tiempo en,

digamos Los Haitises, necesita estar seguro de que está mirando la misma área cada vez. Para hacerlo con un SIG, mi información sobre vegetación debe ser georeferenciada con precisión, o estar atada a puntos conocidos en el terreno. La República Dominicana es rica en marcas y señales, pero relativamente pobre en puntos de control geodésico. Un sistema de localización precisa para esas marcas y señales, visibles a través del tiempo tanto sobre el terreno y en imágenes que uno pueda usar, sería de una gran ayuda.

El Sistema Global de Posicionamiento (SGP o GPS en inglés) puede ofrecer tal información a un costo razonable. Su uso se complica por la reducción deliberada de la calidad de los datos del satélite disponible a la población civil, pero hay maneras de evadir esta dificultad. El SGP puede ser, si usado adecuadamente, un tremendo aliado en el desarrollo de información de localización precisa en un SIG dominicano.

Bibliografía

Chrisman, N. R. (1997). *Exploring Geographic Information Systems*. New York.

Curry, M. R. (1991). "On the possibility of ethics in geography: writing, citing, and the construction of intellectual property." *Progress in Human Geography* 15(2): :125-147.

Curry, M. R. (1994). "Image, Practice, and the hidden impacts of Geographic Information Systems." *Progress in Human Geography* 18(1):: 441-459.

Harley, J. B. (1990). "Cartography, Ethics, and Social Theory." *Cartographica* 27(2):.

Pickles, J., Ed. (1995). *Ground Truth. Social Implications of Geographic Information Systems*, The Guilford Press.

Apéndice C

Inventario general forestal

1 Por qué realizar un inventario forestal general

Aunque inventarios especializados que producen, por ejemplo, listas de especies o volúmenes disponibles de madera para la venta, son un poco más económicos y fáciles de realizar que un inventario general, los primeros sólo contestan una pregunta. Con bastante frecuencia surgen otras preguntas durante la fase de planeación de un pedazo de terreno en particular que requerirá visitar de nuevo el campo para contestarlas. Con un inventario general, esas preguntas ya habrán sido contestadas. El inventario general descrito aquí es fácilmente modificable para cumplir con un conjunto diverso de necesidades para el manejo del bosque.

Un administrador de parque, por ejemplo, podría estar interesado en saber la variación de biodiversidad, la localización y frecuencia de especies muy raras que puedan estar en peligro de extinción. Pero, para considerar las necesidades de restauración se debe realizar una evaluación más general que catalogue los suelos y los tipos generales de vegetación. Podría ser necesaria información sobre erosión y protección vegetativa del suelo antes de planificar cualquier camino o sendero. Un administrador de cuenca encontrará que información sobre erosión y cobertura vegetativa es esencial y necesitará conocer sobre biomasa y composición vegetativa para poder predecir cambios a través del tiempo. Un gerente de madera necesitará saber sobre la distribución de especies, no sólo de árboles comerciales, sino también de especies raras cuya presencia pueda influir el acceso a donde está la madera. Por lo tanto, aún los administradores especializados del bosque necesitan información tanto general como específica relevante a su especialidad.

2 Cómo realizar un inventario general forestal

Un inventario general forestal consta de cuatro fases. La primera fase, reconocimiento, a menudo ocurre en la oficina cuando no hay tiempo ni dinero para hacer un reconocimiento de campo, o ya se ha hecho porque la persona que conducirá el inventario ya conoce el terreno. La segunda fase es la importante estratificación del terreno en áreas vegetativas relativamente homogéneas, mientras que la tercera es el inventario mismo de campo. La última y crítica fase, es la toma de datos de campo y darle sentido según los fines para los cuales se hace el inventario.

2.1 Reconocimiento

Idealmente, la persona que conducirá o liderará el inventario debe conocer el terreno mucho antes que comience el mismo. Si no conoce bien el área, pasarse unos cuantos días caminando los alrededores y familiarizándose con las condiciones del bosque y la ubicación de las principales señales topográficas, pagará con creces en la segunda fase de planeación del inventario. Sin embargo, esto no siempre es posible. Algunas veces el reconocimiento se debe limitar a la información disponible de satélite, fotografías, mapas o información histórica de oficina. En ese caso, y cuando sea posible, obtenga una imagen reciente del área, fotográfica o electrónica (satélite). El propósito principal del reconocimiento es obtener una idea preliminar de la ubicación y distribución de las clases vegetativas o estratos en el área de interés.

2.2 Planeación y estratificación

El propósito principal de la fase de planeación es estratificar el área en subáreas homogéneas y preparar la estrategia de muestreo y el sistema de recolección de datos a ser realizado en el campo.

2.2.1 Estratificación

La forma más simple de estratificación es trazar líneas alrededor de áreas con tipos similares de vegetación en una foto o imagen de satélite. Cuando no hay imágenes o están muy desactualizadas, hacer un croquis durante el reconocimiento de campo y transferirlo a algún tipo de mapa topográfico puede ser la mejor base disponible para la estratificación. El propósito de la estratificación es limitar la variabilidad inherente en cualquier bosque a la variabilidad entre estratos y minimizar la variación dentro un estrato. Esto permite un tamaño de muestra más pequeño para el mismo intervalo de confianza.

2.2.2 Área de medición

Cuando se complete la estratificación, el área contenida dentro de cada estrato debe ser medida o calculada. Esto puede ser hecho con una cuadrícula, un planímetro polar, directamente de la imagen de satélite o a través de un SIG. Delineando las áreas en el campo y midiendo su extensión es el método más preciso y costoso. Mientras más precisa sea la delimitación y la medición de las áreas, mayor probabilidad habrá de que el inventario resulte en información útil.

2.2.3 Desarrollo del sistema de recolección de datos

La siguiente fase del proceso de planeación, aunque presumiblemente ya fue tomado en cuenta, por lo menos en teoría, cuando se estableció la necesidad de realizar el inventario, es determinar qué datos deben ser recolectados y con qué densidad de muestreo. Como llegar al centro de cada parcela es lo que cuesta más dinero, se debe recolectar la mayor cantidad posible de datos por parcela. Por ejemplo, aún cuando un gerente de madera no le de mucha importancia a especies no comercializables, la recolección de datos básicos de todas las especies hace el inventario útil para contestar una serie de preguntas sobre biodiversidad, hábitat silvestre y quizás hasta éxitos reproductivos de especies comercializables. Estas son preguntas que probablemente un gerente de madera tendrá que contestar a reguladores y financieros de proyectos maderables.

Los tipos de datos siguientes son considerados básicos para un inventario general forestal:

- **GENERAL:** pendiente, aspecto, descripción general del tipo de vegetación y cualquier evidencia de incendio, insectos, enfermedades, o cosechas previas.
- **SUELOS:** profundidad de la roca madre, color, material parental, textura, porcentaje de roca, profundidad de las capas orgánicas en la superficie y en el horizonte A.
- **VEGETACIÓN:** porcentaje de cierre de la copa de cobertura por nivel (nivel alto mediano y bajo), especies presentes, conteo de árboles por especie y tamaño de las clases, un estimado de la proporción de cobertura de las principales especies en cada nivel de copa, y medidas de los árboles para estimados posteriores de volumen de madera, biomasa y biomasa total del estrato.

2.2.4 Intensidad de muestreo

Idealmente deberíamos conocer todo lo que hay en cada metro cuadrado de tierra bajo nuestro manejo. En forma realista, sin embargo, debemos tomar muestras para tener una idea de la población general y estimar valores de las variables que queremos conocer. Una estrategia de muestreo apropiadamente diseñada puede darnos suficiente precisión y exactitud para una buena planeación. La determinación de la intensidad de muestreo está basada tanto en nuestra necesidad de tener buena información como en las restricciones financieras de nuestro presupuesto.

La intensidad de muestreo está basada idealmente en la variación de la población, la cual se adivina un poco durante el reconocimiento (Freese, 1962). Una determinación

más rápida de la intensidad de muestreo es considerar las densidades generales en foresta, la cual varía entre 5 y 10 por ciento del área examinada. Para la mayoría de los propósitos, una muestra de 5 por ciento es adecuada si la estratificación ha podido aislar la mayor parte de la variación de la población entre, no en, los estratos.

2.2.5 *Tamaño de parcelas*

Existen métodos para realizar inventarios sin parcelas y para parcelas de radios variables, pero están basados solamente en inventario de madera (Bell and Dilworth 1988) y tienen aplicación limitada para un inventario general de vegetación. La determinación del tamaño de parcela es un poco arbitrario; mientras más grande sean las parcelas, menor será el número a estudiar para lograr la densidad de muestreo deseada y menor el tiempo para preparar un nuevo centro de parcela (el aspecto que más tiempo consume). Sin embargo, parcelas grandes son más difíciles de completar y los errores en conteo y en la estimación de cobertura son mayores (especialmente cuando existen matorrales densos) y los registros con frecuencia contienen errores debido a la gran cantidad de individuos que deben ser tomados en cuenta. Parcelas muy pequeñas tienden a omitir especies raras, no toman en cuenta las variaciones dentro de un rodal y por lo general son un poco más costosas debido al mayor número de veces que hay que prepararse para una densidad de muestreo dada. Los tamaños de parcelas en foresta tienden a fluctuar entre 1/50 y 1/10 de hectárea, con las áreas y radios siguientes:

Tamaño de parcela (ha)	Metros cuadrados	Radio en metros
1/50	200.0	8.0
1/30	333.3	10.3
1/20	500.0	12.6
1/10	1000.0	17.8

El tamaño de parcela de 1/20 hectáreas tiene la ventaja que es fácil de recordar: una muestra de 5 por ciento requiere una de esas parcela por hectárea para ser muestreada.

2.3 Trabajo de campo

2.3.1 Conocimiento necesario para un inventario de campo

Realizar un inventario de campo requiere un buen conocimiento de las especies que probablemente se encontrarán. Si uno no posee este conocimiento de primera mano, sería buena idea encontrar un personal local que conozca los nombres comunes de las especies. Una buena referencia, como la flora publicada por Liogier (Liogier, 1982; Liogier, 1983; Liogier, 1985; Liogier, 1986; Liogier, 1989), junto a un diccionario de nombres botánicos comunes (Liogier, 1981) pueden proveer los nombres científicos para tal experiencia local.

Se requiere el conocimiento básico de la evaluación de suelos, pendiente, aspecto y otras especialidades elementales de la biología. Finalmente, la habilidad para estimar distancia por pasos simplificará y acortará el tiempo requerido para moverse entre centros de parcelas. La mayor parte del trabajo de campo puede realizarse con el conocimiento necesario, observación cuidadosa y buena capacidad para registrar. Sin embargo, se requieren algunos equipos.

2.3.2 Equipos necesarios para un inventario de campo

Los más importantes dentro de los equipos están el clinómetro y la cinta para medir diámetro. Esta última es una cinta de medir con un lado delineado en diámetro equivalente de circunferencia. Un centímetro de diámetro se muestra en la cinta como 3.14159 centímetros de circunferencia, y el diámetro del árbol puede ser leído directamente con una medida de la circunferencia.

El clinómetro es un instrumento óptico que lee ángulos desde el horizonte en varias escalas. Puede ser usado para medir la altura de los árboles y la pendiente de lomas, caminos y drenajes. Los clinómetros vienen con una escala derecha y otra izquierda que varían dependiendo del uso que se pretenda hacer del mismo. Los clinómetros americanos usualmente vienen con escalas de grados y porcentajes, o de porcentaje y "topo". La escala de grados mide el ángulo en grados, mientras la escala de porcentaje permite una lectura directa del porcentaje de pendiente y una lectura indirecta de la altura del árbol.

Cuando se use la escala de porcentaje para medir la altura de los árboles, el observador debe multiplicar el porcentaje leído en la escala por la distancia horizontal entre el observador y el árbol. Por ejemplo, si el observador está a 20 metros del árbol y la escala lee 120, entonces el árbol tiene 120% de 20, es decir 24 metros de altura. También hay clinó-

metros disponibles que leen la altura directamente en metros basado en la premisa de que el observador está ubicado a 15 o 20 metros del árbol. La escala de porcentaje es la más versátil y es la recomendada a comprar. Tales clinómetros cuestan alrededor de US\$100. Clinómetros más recientes que traen localizador de distancia (de modo que usted no tiene que medir con una cinta la distancia del árbol a su punto de observación) cuestan US\$260.

Además del clinómetro y una cinta de diámetro, también son útiles un barrenador de incremento para determinar el ancho de los anillos en árboles con facilidades para leer fácil el crecimiento de los anillos y una pala para realizar análisis de suelos. Los formularios de las parcelas deben ser hechos con antelación de modo que sólo requieran ser llenados en el campo.

2.3.3 Realización del inventario de campo

La localización del centro de la parcela es el primer ejercicio de un inventario de campo. Requiere que la parcela sea marcada en el mapa y que se encuentre esa ubicación en el campo. Esto es por lo general más difícil de lo que parece, particularmente si uno no está familiarizado con el área. Una vez el centro de la parcela es localizado, éste debe ser marcado con banderas o con pilas de rocas. El radio del círculo de la parcela debe ser marcado y rotado, comenzando siempre en una dirección dada (yo siempre inicio mirando la pendiente o mirando al norte en terrenos llanos. El radio se va rotando, usualmente teniendo una persona parada en el centro de la parcela y otra sosteniendo la cinta a 12.6 metros (o cualquier otro diámetro elegido) y se va caminando en dirección a las manecillas del reloj alrededor de la parcela.

Por supuesto, esto es imposible porque en la mayoría de las áreas de bosque se interpone todo tipo de árboles. Por lo tanto, el ejercicio real es tratar de caminar en la dirección del reloj, requiriendo usualmente regresar al centro de la parcela varias veces, y luego moverse hacia fuera de nuevo. La idea es identificar los límites exteriores de la parcela. En áreas boscosas con árboles dispersos, se pueden recordar los árboles cercanos a los bordes, pero en áreas de bosques densos podría ser útil marcar algunos de los árboles que forman el borde exterior de la parcela para recordar dónde se detuvo el conteo o la medición.

Una vez todos los árboles y la vegetación dentro de los límites de la parcela han sido localizados, normalmente se inicia el proceso de identificar especies. Mientras una persona completa las informaciones sobre el suelo y toma notas sobre las condiciones del ro-

dal, tipo de vegetación, pendiente, aspecto, etc., la otra persona puede ocuparse de la identificación de especies, realizar el conteo o estimar la cobertura de la copa, por especie y por nivel.

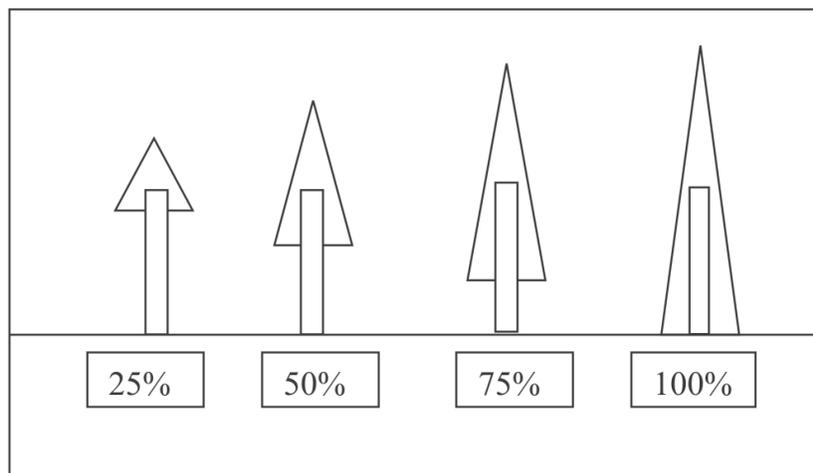
Cuando se trata de conteo de árboles por especie y clase, es útil agrupar por tamaño de clase que reflejen los varios estados de crecimiento del árbol por especie. Para coníferas las tres clases que he encontrado útil son:

Clase	Altura	Diámetro
1	<1 m	--
2	1-3 m	<3 cm
3	>3 m	>3 cm

El porcentaje de cobertura puede ser calculado estimando el área en metros cuadrados cubierta por la copa de una especie particular, dividiéndola luego por el área de la parcela. En el caso de una parcela de 1/20 hectárea, se haría dividiendo el área cubierta entre 500. Sin embargo, es mejor registrar todas las observaciones directamente y realizar cualquier conversión que se requiera (como dividir entre 500) al regreso a la oficina. Por lo tanto, la cobertura puede registrarse en metros cuadrados y luego convertidos a porcentaje en la oficina.

Medición individual de árboles

Las tres mediciones más importantes, además de las especies, son diámetro, altura y porcentaje de corona. El porcentaje de corona es la longitud del tronco con ramas y con



hojas vivas o agujas. Árboles de crecimiento abierto (aislados) pueden tener 100% de cobertura de corona; aquellos enfermos, viejos o dañados pueden tener apenas 10%. La mayoría de árboles sin podar tienen por lo menos 25% de cobertura de corona. El diagrama anterior puede ayudar en la estimación de los porcentajes de corona para coníferas.

El diámetro se mide parado en el lado más alto del árbol y a 4.5 pies (1.37 metros, o "altura de pecho") de la superficie del suelo. La altura se mide, ya sea directamente para árboles pequeños de hasta 2-3 metros de alto, o indirectamente, utilizando un clinómetro o herramienta similar. El clinómetro mide óptimamente el ángulo entre el horizonte y el tope del árbol. El observador se para a una distancia horizontal estándar (usualmente 15 a 20 metros, para facilitar el cálculo posterior y también para ver el tope del árbol más fácil) del árbol. La altura del árbol entonces se puede leer ya sea directamente en metros del clinómetro, si es que está preparado así, o indirectamente para ser convertido en la oficina de grado, o porcentaje, a altura.

Los datos deben ser registrados exactamente como se leen en el campo. Las conversiones que se intentan en el campo son una fuente clásica de significativos errores cuyos orígenes muchas veces no se pueden detectar.

2.4 Dando sentido a los datos

Después de completado el trabajo de campo, comienza la tarea de darle sentido al grueso de los datos. Es fácil olvidar el objetivo fundamental de recolectar suficiente información para tomar decisiones gerenciales bien informadas y de empezar a recolectar y manipular datos sólo por tener muchos datos. Debido a que el inventario es relativamente costoso, yo le sugiero que recoja la mayor cantidad de datos posible en el campo cuando se haga el inventario, evitando la necesidad de repetir inventarios para cada especialidad (por ejemplo, vida silvestre, cuenca, ecología, etc.). Sin embargo, sólo datos de utilidad deben ser recolectados y procesados, el esfuerzo dedicado a la recolección debe ser proporcional al uso que probablemente se dará a los datos.

El concepto esencial de la fase post campo es hacer generalizaciones del estrato y del bosque en general a partir de serie de datos específicos de parcelas pequeñas. Esta generalización lleva consigo un riesgo de incertidumbre---haber ignorado especies importantes que simplemente no parecieron en la limitada muestra tomada, o representar inapropiadamente un área como si fuera el todo, y así sucesivamente. Por lo tanto, la meta no es sólo presentar un estimado de las distintas variables recolectadas (volumen de madera, biomasa o distribución de especies, por ejemplo) sino también un estimado de la

confiabilidad de los valores de las variables. Este estimado de confiabilidad se representa normalmente por un intervalo de confianza, en el cual se señala que los valores de las variables caen dentro de un rango de valores con un cierto grado de certeza. Con mucha frecuencia en foresta, en que la variabilidad natural del mundo entorpece la precisión, ese rango es muy grande, o el porcentaje de certeza es más pequeño que el encontrado en ciencias más controladas. En el ejemplo que sigue, una de muchas variables está seguida con un intervalo de confianza.

Antes de empezar a hacer generalizaciones de la muestra al estrato, se requiere convertir algunas mediciones. Una variable común de interés en la producción de madera es el volumen de madera disponible en metros cúbicos por hectárea. Para estimar el volumen de madera disponible en un árbol, se utilizan las ecuaciones de volumen que han sido desarrolladas para cada especie comercial. Todas las ecuaciones de volumen están basadas en la relación fundamental de que el volumen es proporcional al área en la base del árbol (área basal) y a la altura. El área puede ser calculada si se sabe el diámetro.

Por lo que

$$\text{volumen} \propto d^2 \times h \times \text{constante}$$

La constante refleja la naturaleza de los troncos de los árboles de parecerse más a conos que a cilindros y a las características de las especies. Buenas ecuaciones de volumen también toman en cuenta las características específicas del sitio, reflejadas a menudo en el grado de la forma de conos. Las ecuaciones de volumen que dan volumen cúbico total pueden ser usadas en el mundo entero, mientras que aquellas ecuaciones que reflejan utilización estándares (ancho de la sierra usada, tipos de productos maderables comercializables, etc.) son más precisos, pero más limitados al área y al tiempo de utilización de esos estándares.

Una ecuación de volumen a nivel global para *Pinus occidentalis* se ofrece en (Dobler, Peralta et al. 1995) como:

Volumen (con corteza) = Área Basal * Altura * Factor de Forma, donde:

Área Basal = $0.7854 * (\text{DBH})^2$, Diámetro medido en centímetros

Factor de Forma = 0.46 (del trabajo de la Celestina)

Altura = altura total del árbol en metros hasta el ápice

Esto resulta en volumen por árbol. ¿Cuál es la mejor forma de promediar volumen a través de una hectárea o un estrato? Usualmente se calcula un volumen promedio por parcela y luego se hace un estimado del estrato basado en el promedio de los volúmenes

de la parcela. Otros métodos, incluyendo proporciones del área volumen-basal pueden encontrarse en libros de texto más avanzado de mensura forestal.

Otro ejemplo de conversión es la estimación de la biomasa total de un sitio boscoso. La biomasa, o la masa total de todas las cosas vivas en un área dada, es muy difícil de medir. Abarca todos los organismos por debajo y por encima del suelo, incluyendo los microorganismos del suelo, los hongos que son comensales con raíces de árboles y toda vegetación herbácea efímera que pueda estar presente en el sitio por algunas semanas hasta un año. Por suerte, la biomasa que está por encima del suelo en un bosque está concentrada en la vegetación arbórea, principalmente árboles. Por lo tanto, la biomasa total puede ser estimada aproximadamente de la biomasa maderable conocida. Una regla práctica es que la biomasa total es como el doble de la biomasa maderable, medida en toneladas por hectárea (Lee and Dodson 1996; Winjum, Dixon et al. 1997).

El volumen de madera, calculado de la manera indicada, resulta en un estimado de volumen expresado en metros cúbicos por hectárea. Para convertir a toneladas por hectárea, multiplíquese por el promedio de la densidad de la madera (toneladas por metro cúbico) Los pinos, como género, varían en densidad de 0.46 a 0.66 toneladas por metro cúbico (Wenger 1984). Por lo tanto, si un volumen promedio por hectárea fue calculado en 200 m³/ha, la biomasa en madera podría ser estimada en 112 toneladas por hectárea y la biomasa total en aproximadamente 224 toneladas por hectárea.

Una vez han sido derivados los estimados "puntos" o promedios para cada variable de cada estrato, entonces comienza el trabajo de determinar la confiabilidad de esos estimados. El gran propósito del muestreo estratificado es aumentar la confiabilidad de los estimados sin aumentar la frecuencia de muestreo o densidad. Si el área ha sido apropiadamente estratificada, la siguiente ecuación mostrará que la mayoría de la variación se va a encontrar entre estratos y relativamente poca de la variación en la muestra es atribuible a la variación muestra-muestra dentro de cada estrato.

El primer paso es determinar la varianza dentro del estrato, la cual se calcula por

$$s^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

donde cada x representa el promedio de la parcela para cada variable.

El error estándar de la media del estrato se calcula entonces usando los resultados de la ecuación anterior:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)}$$

donde $s_{\bar{x}}$ = el error estándar de la media del estrato,

s^2 = varianza del estrato, n = conteo de la muestra dentro del estrato,

y N es el conteo de la población dentro del estrato (estimado).

La media a través de todos los estratos se calcula por

$$\bar{X}_{st} = \sum \frac{N_h \bar{X}_h}{N}$$

donde h representa el estrato h .

El error estándar al cuadrado de la media para el estrato h viene dado por

$$s_{\bar{x}_h}^2 = \frac{s_h^2}{n_h} \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right)$$

y el error estándar de la media estratificada es:

$$s_{\bar{x}_{st}} = \sqrt{\frac{1}{N^2} \left[\sum N_h^2 s_{\bar{x}_h}^2 \right]}$$

Finalmente, el intervalo de confianza está basado en el valor t-student, el cual a su vez está basado en el número de la muestra y el nivel de certeza deseado. Los valores t se ofrecen en la mayoría de las hojas electrónicas para una muestra dada. En realidad, la varianza de la muestra también se puede calcular para cada una de las parcelas y para cada estrato usando fórmulas "enlatadas" dentro de hojas electrónicas, como Excel.

Límites de confianza al 90 percent $\cong \bar{X}_{st} \pm 1.96 s_{\bar{x}_{st}}$ (Freese, 1967).

3 Estimando crecimiento

El bosque de la zona templada depende mucho de la presencia confiable en el tronco de los árboles de un simple anillo anual de crecimiento. Basado en la medida de los anillos de crecimiento, se puede estimar la producción de madera ((Wenger 1984). Los anillos de coníferas son fáciles de detectar y la medida es más confiable que en especies de maderas duras, pero aún en estos últimos los anillos de crecimiento pueden ser también calculados en base a los cambios en los anillos.

En los trópicos, donde el crecimiento de los brotes dependen más de la humedad disponible que de la temperatura diferenciada que limita los períodos de crecimiento, los árboles de madera dura pueden que no muestren anillo, mientras que las coníferas pueden mostrar de uno a siete anillos por año (Dobler, Peralta et al, 1995). Por lo tanto, mediciones precisas de crecimiento dependen de parcelas permanentes donde el investigador regresa a los mismos árboles cada año a medir cambios en diámetro y altura y consecuentemente estimando crecimiento.

Las mediciones de crecimiento son críticas para el manejo forestal debido a que es el potencial de crecimiento del bosque, no su volumen en pie, el que deberá dictar los niveles de aprovechamiento. Si el bosque está creciendo sólo 3 m³/ha/año, entonces en el largo plazo, el aprovechamiento debe ser restringido a no más de 3 m³/ha anualmente. Si por el contrario, el bosque está creciendo 20 m³/ha anualmente, entonces el aprovechamiento puede llegar teóricamente a 20 m³/ha/año.

Estimados preliminares de crecimiento del bosque pueden hacerse de fotografías aéreas en secuencia o de imágenes de satélite. Esto es más factible cuando el bosque es muy joven y la copa no se ha cerrado. Los cambios en el cierre de copa pueden ser asociados con el crecimiento de árboles y vegetación en una serie de parcelas de investigación en sitios específicos del campo y permite que las imágenes de satélites ofrezcan estimados aproximados de crecimiento. Cuando ya ha ocurrido el cierre de copa (a menudo dentro de 5-10 años en los trópico), es muy difícil, sino imposible, detectar crecimiento en madera o biomasa desde el aire.

Aunque el análisis de los anillos es algo rutinario en el inventario forestal en las zonas templadas, es de utilidad limitada en los trópicos. Donde no hay una forma "instantánea" confiable de evaluar crecimiento, las mediciones de crecimiento no pueden ser parte del inventario. La falta de estimados de crecimiento confiables es un serio problema para la planificación forestal en la República Dominicana. Es muy importante que parcelas permanentes de largo plazo sean establecidas en todos los tipos de bosques, con diferentes

especies y edades, y mantenidas durante la vida del bosque. A veces se hacen estimados de productividad a largo plazo de respuestas de crecimiento en los primeros años de una plantación. En realidad, el crecimiento en muchas especies de árboles disminuye dramáticamente después de un período inicial de rápido crecimiento. Se necesitan con urgencia mediciones de largo plazo para predecir realísticamente crecimiento en el bosque. Sin predicciones confiables de crecimiento, hablar de "sostenibilidad" es sólo eso-hablar.

Ya sea que se mida crecimiento a través de los anillos anuales o de las parcelas permanentes, es una medición del comportamiento pasado, no necesariamente del futuro. Un bosque de árboles viejos con muy poca producción neta primaria puede mostrar tasas de crecimiento cerca de cero. ¿Cuál sería la tasa de crecimiento si se cortaran los árboles viejos y se plantaran árboles nuevos y vigorosos? Es imposible decirlo con certeza. Basado en plantaciones cercanas con tipos de suelos similares, podemos aventurarnos a adivinar la productividad futura, pero no sería más que una estimación educada. Los resultados finales dependerán de cómo los árboles viejos fueron cosechados, qué tipo de perturbación ocurrió en el suelo, y qué tipos de árboles fueron plantados en su lugar.

Podemos también basar nuestro estimado en la altura promedio de los árboles dominantes en el área, ya que se ha demostrado que la altura de árboles maduros depende fuertemente de la productividad general del sitio (Wenger, 1984). También se pueden hacer extrapolaciones de tasas de crecimiento, después de la cosecha, de otras áreas con árboles maduros de altura similar a nuestro rodal de interés. Los investigadores han desarrollado curvas de índice de sitio, las cuales dan una idea general de la productividad esperada. Muy pocas curvas de índice de sitio han sido desarrolladas para la República Dominicana, limitándose sólo a áreas particulares (e.g. (Gil and Cuevas, 1986)).

4 Ejemplo de muestreo estratificado

Suponga que usted tenía un área de bosque de 100 hectáreas. Por experiencia en la propiedad o porque ha hecho un reconocimiento, usted ha determinado la presencia de varios estratos distintos. El propósito de esta estratificación es maximizar la eficiencia y exactitud del inventario que hará, cuyo propósito es estimar los valores de varios tipos de variables, desde biodiversidad hasta biomasa.

Usted ha delineado estos estratos en una fotografía aérea, o en un mapa con cierta descripción y ha encontrado la forma de medir el área, ya sea en el terreno, en un mapa o por foto. Ha determinado que 15 hectáreas están en bosques a lo largo de un arroyo, 30 hectáreas son de pinos de 10 años que crecen en un potrero abandonado, 20 hectáreas

son de pinos maduros que han sufrido fuegos y cortes ilegales en los últimos 20 años, 10 hectáreas son de pinos jóvenes con menos daños, y 25 hectáreas están en pinares maduros dispersos con pinos densos de 5 años.

Suponga que usted se decide por una muestra de 5 por ciento con un tamaño de parcela de 1/20 hectárea. Esto significa que usted debe examinar 5 hectáreas (5 por ciento de 100 hectáreas), o parcelas de un tamaño de 100 x 1/20 hectáreas (parcelas circulares de un radio de 12.61 metros).

El próximo paso es distribuir los centros de parcela a través del estrato y localizarlos en un mapa. Por simplicidad, usted puede poner una parcela por hectárea por estrato, por lo que:

Estrato	Hectáreas	Parcelas
Ribereño	15	15
10 años de edad	30	30
Maduro	20	20
Jóven	10	10
Maduro/5 años edad	25	25
TOTALES	100	100

Podría ser más eficiente, si se tiene una idea de la variación en cada tipo de bosque, asignar por variación, poniendo más parcelas en las áreas más variables (Freese, 1967). La asignación por área es rápida y fácil de calcular, y será usada en este ejemplo.

El paso final en el trabajo preliminar de oficina antes de iniciar el inventario en el campo, es ubicar aproximadamente cada centro de parcela. Utilizaremos el sistema de cuadrícula, trazando los centros de parcelas a cada 100 metros a lo largo de los contornos de las colinas y espaciando la siguiente línea de parcelas como a 100 metros debajo de la primera. A lo largo de estratos largos y delgados como los bosques ribereños, las parcelas deberán ser colocadas deliberadamente a por lo menos 13 metros dentro del borde (para mantener el radio de la parcela dentro del estrato) y que corran paralelas al arroyo.

Cuando vamos al campo, tomamos el mapa y localizamos el primer centro de parcela. Ponemos una bandera o marcamos el centro de la parcela y luego tomamos una muestra allí. Después de registrar toda la información relevante, entonces encontramos el siguiente centro de parcela caminando cerca de 100 metros a lo largo del contorno, se marca, se toma la próxima muestra y así sucesivamente hasta que terminamos. Cuando to-

dos los datos han sido registrados para cada parcela, regresemos a la oficina para completar los cálculos y obtener un estimado del número, distribución, densidad y confiabilidad del estimado de las distintas variables que hemos muestreado.

Supongamos que, entre muchas características, registramos un conteo de pinos mayores de 3 cm DBH, junto con sus porcentajes de diámetro, altura y corona. Una página típica de un formulario de una parcela se vería como:

Parcela:	Fulano de tal				
Estrato:	Pinos Jóvenes		Tamaño de parcela:	500 m ²	
Parcela # 4	Total Parcelas:	10	Diámetro de Parcela	12.61 m	
Arbol #	Especie	DBH (cm)	Altura (m)	Corona %	Volumen (m ³)
1	PiOc	15	12	50	
2		20	15	35	
3		18	16	30	
4		24	18	50	
5		15	14	25	
6		16	15	30	
7		16	15	25	
8		26	20	45	
9		28	21	50	
10		20	18	30	
11		18	16	40	
12		16	15	35	
13		16	15	40	
14		20	18	30	
15		20	18	30	
16		20	18	30	
17		20	18	30	
18		20	18	30	
19		20	18	30	
20		26	20	45	
21		10	10	15	
22		8	8	15	
23		9	9	15	
24		10	11	15	
25		32	28	45	

Lo primero que haríamos al regresar a la oficina sería calcular el volumen de cada árbol, luego el volumen promedio por parcela. Usando la ecuación de volumen aproximado, volumen (m³) = (dbh)² * ht * f*u, donde dbh y la altura están en metros, el factor de forma varía de 0.46 a 0.6 dependiendo del tamaño del árbol, y u representa una utilización constante de 0.8. Supongamos que concluimos que los volúmenes en cada una de las parcela para cada tipo de bosque comercializable fueran como sigue:

Pinos jóvenes		Pinos maduros		Maduros dispersos		Ribereños	
Parcela #	vol/parc.	Parcela #	Vol/parc.	Parcela #	Vol/parc	Parcela #	Vol/parc
1	9.5	1	15	1	5	1	2
2	6.1	2	6	2	4	2	7
3	12.1	3	20	3	0	3	0
4	4.5	4	9	4	3	4	3
5	10.3	5	12	5	2	5	2
6	5.9	6	6	6	0	6	0
7	8.9	7	8	7	15	7	2
8	9.9	8	13	8	5	8	5
9	12	9	8	9	2	9	2
10	8	10	14	10	2	10	2
Prom./	8.72	11	12	11	0	11	0
parcela							
Desv. Es-	2.58	12	7	12	8	12	8
tánd.		13	8	13	4	13	4
n	10	14	7	14	1	14	1
		15	9	15	5	15	5
		16	14	16	5	Prom./	2.87
						parcela	
		17	16	17	3	Desv. Estánd.	2.47
		18	12	18	2	n	15
		19	8	19	2		
		20	9	20	0		
		Prom./	10.65	21	5		
		parcela					
		Desv. Es-	3.8	22	7		
		tánd.		23	2		
		n	20	24	4		
				25	0		
				Prom./	3.44		
				parcela			
				Desv. Es-	3.28		
				tánd.			
				n	25		

Concluiremos entonces como sigue:

Volumen promedio en 70 hectáreas:

6.13 media estratificada

1.72 Error estándar de la media estratificada

Intervalo de confianza para el muestreo estratificado

2.75 <media verdadera< 9.51

La precisión es entonces mayor que la que hubiésemos podido encontrar sin estratificar, lo que nos habría dado un intervalo de confianza de $0 < \text{media verdadera} < 15.25$

Bibliografía

- Bell, J. F. and J. R. Dilworth (1988). Log Scaling and Timber Cruising. Corvallis, OR, Oregon State University Bookstore.
- Dobler, G., L. E. Peralta, et al. (1995). Investigación y Manejo de Especies Maderables de Uso Común en la Sierra. San José de las Matas, Plan Sierra y Servicio Alemán de cooperación social-técnica IDED).
- Freese, F. (1962). Elementary Forest Sampling. Washington, DC, USDA USFS.
- Freese, F. (1967). Elementary Statistical Methods for Foresters. Madison, WI, USDA USFS.
- Gil, T. and B. Cuevas (1986). Tabla de Volumen Local y General sobre *Pinus occidentalis* Sw. para el Proyecto La Celestina, San José de las Matas. Instituto Superior de Agricultura. Santiago, Dominican Republic: 61.
- Lee, J. J. and R. Dodson (1996). "Potential Carbon Sequestration by Afforestation of Pasture in the South-Central United States." *Agronomic Journal* 88: 381-384.
- Liogier, A. H. (1981). Diccionario de nombres vulgares de la Española. Santo Domingo, Impresora UNPHU.
- Liogier, A. H. (1982). La Flora de la Española I. San Pedro de Macorís, República Dominicana, Universidad Central del Este.
- Liogier, A. H. (1983). La Flora de la Española II. San Pedro de Macorís, República Dominicana, Universidad Central del Este.
- Liogier, A. H. (1985). La Flora de la Española III. San Pedro de Macorís, República Dominicana, Universidad Central del Este.
- Liogier, A. H. (1986). La Flora de la Española IV. San Pedro de Macorís, República Dominicana, Universidad Central del Este.
- Liogier, A. H. (1989). La Flora de la Española V. San Pedro de Macorís, República Dominicana, Universidad Central del Este.

Wenger, K. F., Ed. (1984). Forestry Handbook, second edition. A Wiley-Interscience publication. New York, John Wiley & Sons Society of American Foresters.

Winjum, J. K., R. C. Dixon, et al. (1997). "Carbon Storage in Forest Plantations and their Wood Products." The Journal of World Forest Resource Management 8: 1-19.