



Consideraciones ecológicas sobre el uso de biomasa del bosque tropical húmedo¹

Juvenal Valerio*

Estas consideraciones se basan en las experiencias de manejo de bosque en Costa Rica y en resultados de investigaciones realizadas en el Centro de Investigación en Integración Bosque Industria del Instituto Tecnológico de Costa Rica (CIIBI).

En el paradigma de sociedad y recursos, la energía juega un papel crucial para el desarrollo. El manejo de las fuentes de energía debe satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras. Este enunciado debe definir las características de las fuentes de energía y las del manejo que se proponga para ellas.

Al analizar la posibilidad de usar la biomasa del bosque tropical, residuos del aprovechamiento por ejemplo, se debe tener en cuenta que la estabilidad del ecosistema es la que garantiza que se mantenga su potencial de producción.

En este estudio, para determinar las posibilidades de que un bosque tropical, bajo manejo, mantenga su estabilidad, se analizan los siguientes aspectos: su

estructura irregular, la biodiversidad y la dinámica de crecimiento y establecimiento de la regeneración. Se analiza también el tipo de manejo, uniforme o policíclico, adecuado para una producción sostenible del bosque tropical. Se señalan las características de la dinámica de nutrimentos y las estrategias de establecimiento de las especies.

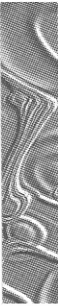
En el marco de un manejo sostenible, se estima el volumen de residuos disponible por hectárea y se hacen las consideraciones tecnológicas, ecológicas y económicas de su utilización.

Se plantea, como una opción alternativa, el uso de plantaciones energéticas y de residuos del aserrío de madera, como fuentes de biomasa.

En un enfoque global, del impacto del uso de residuos para la generación de energía, se discuten las diferencias entre la mineralización biológica y la producida por combustión. En este contexto, el aporte de anhídrido carbónico a la atmósfera, debe ser un factor a tomar en cuenta a la hora de escoger una fuente de energía.

* Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria, Instituto Tecnológico de Costa Rica

¹Presentado en la Conferencia de Energía Renovable en las Américas 94. Puerto Rico 26 de junio al 1 de julio de 1994.



Al analizar la estructura y función del ecosistema bosque húmedo tropical, se concluye que este representa una de las más importantes fuentes de energía disponible. La sostenibilidad de la generación de energía hidroeléctrica depende, en mucho, del manejo que se dé a los bosques que ocupan las cuencas.

Ecological aspects of the use of biomass of tropical forest

This considerations are based on the experiences of forest management in Costa Rica and results of researches done in the Centro de Investigación en Integración Bosque Industria of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (CIIBI).

In the paradigm of society and resources, energy plays a crucial roll for development. The management of energy sources must to compromise the furnishing of today's needs and tomorrow's development possibilities. This statement must to define the characteristics of the energy sources and their management.

In analyzing the possibilities of the use of tropical forest biomass (wastes of logging for instance) one must to take in account that the stability of the ecosystem is the guaranty of the conservation of the production potential.

In this study, in order to determinate the possibilities that one tropical forest, under management, keeps its stability, the aspects analyzed are: the irregular structure, the biodiversity, the dynamics of growth and regeneration establishing. Also it is analyzed the management characteristics, polycyclic or uniform, suitable for a sustainable production in tropical forests. The nutrient cycle characteristics and the strategies of spices establishing are discussed.

In the framework of the sustainable forest management, an estimated is done

of the available wastes volume, per hectare. Technological, ecological and economic considerations are made around their utilization

The use of firewood plantations and sawmill wastes is proposed as an alternative source of energy.

Differences between biological and combustion mineralization, are discussed in a global context. The carbon dioxide outlay have to be taken in account when an energy source is chosen.

When structure and function of tropical rain forest ecosystem is analyzed, it is conclude that this is one of the must important, available energy sources. The sustainability of the hydroelectric energy generation depends, mainly, of the appropriate management of the forests, located in the watersheds.

1. El ecosistema bosque húmedo tropical

Al observar el bosque tropical desde una colina o montaña vemos un mosaico de diversos colores y texturas, originados por las copas de una diversidad de especies, cada una con una arquitectura y aspecto del follaje distintos. El aspecto irregular de la superficie se debe, además de las posibles irregularidades del terreno, a las diferencias de altura de los árboles o los grupos de árboles que componen el dosel, superficie superior del bosque. El aspecto varía durante el año; en diferentes épocas florecen diferentes especies, lo que le da una dimensión dinámica a la diversidad.

Lo que observamos es la respuesta del ecosistema "bosque húmedo tropical" a las características del sitio. El equilibrio entre la estructura y el ambiente es el producto de la evolución de cada una de las especies y de las relaciones entre ellas.

Esta evolución se ha producido a lo largo de milenios y le ha permitido al

ecosistema adaptarse a los cambios climáticos, tales como los cambios de temperatura experimentados entre los periodos glaciales, por ejemplo.

La palabra *chablis*, del francés antiguo, encierra un significado muy completo: indica que ha caído un árbol, que en el sitio que ocupaba su copa ahora hay una entrada de luz; también quiere decir que al caer el árbol las raíces removieron una porción del suelo orgánico y que al otro extremo se presenta una acumulación de materia orgánica, producto de la descomposición de las ramas. Esta palabra se refiere a la apertura de una diversidad de microambientes, definidos por diferentes intensidades de luz y condiciones de suelo.

La diversidad de especies presentes en el bosque tropical, permite que al caer un árbol estén a tiempo las semillas necesarias para repoblar cada uno de los ambientes que se han abierto; esto además es posible porque existen individuos de especies arbóreas y herbáceas, con diferentes estrategias de establecimiento y que fructifican en distintas épocas del año; también, porque están presentes los animales que dispersan las semillas y antes, los que han polinizado las flores.

El bosque tropical es, sin lugar a dudas, el ecosistema más eficiente; la magnitud de biomasa producida por unidad de tiempo y superficie no se puede igualar en esas condiciones.

El potencial de producción del bosque está distribuido en muchas especies y en individuos de diferentes dimensiones, pero a cambio de grandes volúmenes de madera ofrece estabilidad y posibilidades de una producción sostenible.

Para evitar la pérdida del suelo, por efecto de la erosión, la estructura aerodinámica del dosel y la distribución vertical de los árboles permiten disipar la energía de las gotas de lluvia. El intrincado sistema de raíces y la intensa actividad biológica en el suelo, propician las

condiciones físicas que permiten la infiltración del agua y su conducción subsuperficial así como su movimiento por mantos acuíferos profundos.

Al almacenar en la biomasa la mayor proporción de minerales del ecosistema, se impide la pérdida de los mismos por lixiviación, esto es posible por la diversidad de especies, capaces de compartir en forma óptima el espacio y distribuir equilibradamente la energía disponible. La estructura y biodiversidad del bosque garantizan su estabilidad.

2. Manejo sostenible del bosque húmedo tropical

El manejo del bosque, al igual que el de cualquier recurso, consiste en satisfacer las necesidades que tiene la sociedad de bienes y servicios y las expectativas económicas de los grupos humanos asociados con el bosque: propietarios, obreros, etc. La satisfacción de estas necesidades y expectativas no debe comprometer la posibilidad de satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.


El desarrollo de sistemas silviculturales tropicales para la producción de madera se originó en las colonias de las potencias europeas, a mediados del siglo pasado.

El objetivo de producción se definía de acuerdo con los gustos y preferencias de una población acostumbrada a la homogeneidad de los bosques o plantaciones europeos.

Los tratamientos, inicialmente, fueron diseñados de acuerdo con la experiencia en el manejo de bosques de regiones templadas. Se pretendió manejar determinadas especies y no un ecosistema complejo, como es el bosque tropical.

Por las características de dominación colonial en las que se inició el manejo del





bosque, se pretendió que generara grandes ingresos, tanto a las empresas que lo explotaban como a las arcas del Estado, vía impuestos.

El bosque tropical es heterogéneo y por esto se deben esperar productos diversos de él, además de los bienes nos ofrece servicios, sin duda muy importantes, pero que nunca se tomaron en cuenta a la hora de evaluar la rentabilidad del bosque.

Por la insatisfacción de objetivos realmente inalcanzables y la aplicación de fórmulas financieras que no son capaces de valorar objetivamente al bosque, se ha creado el mito de que el bosque tropical no se puede manejar. De la experiencia acumulada se están desarrollando las herramientas y modelos que permiten manejar el bosque de manera sostenible, ofreciendo la mayor cantidad y calidad de bienes y servicios para la mayor cantidad posible de personas y en forma sostenible.

Si el aprovechamiento corresponde a una intensidad adecuada y se realiza planificando la extracción para minimizar el tránsito de maquinaria por el bosque, si se controla la dirección de caída de los árboles y se disminuye el daño al suelo y a la regeneración vecina, entonces el ecosistema soporta el impacto de la operación y rápidamente se reproducen los procesos naturales de regeneración.

A la hora de realizar el aprovechamiento se pueden provocar desbalances en el equilibrio de las poblaciones de especies. Por esto se debe planificar, tomando en cuenta la estructura de las diferentes poblaciones y la distribución espacial de los individuos que se van a reservar como semilleros, para que se garantice que los claros abiertos en el aprovechamiento sean llenados por individuos de especies de interés económico.

Para que el manejo sea sostenible se deben mantener la estructura y la biodiversidad del ecosistema.

3. Disponibilidad sostenible de biomasa

Para cuantificar la biomasa correspondiente a los residuos del aprovechamiento del bosque húmedo tropical, se utilizaron los modelos alométricos desarrollados por Ortiz (1989) en bosque muy húmedo tropical en la Región Norte de Costa Rica. Estos modelos permiten estimar el peso seco de la biomasa, tanto del fuste como de las ramas.

Para los casos estudiados se determinó el peso de la biomasa de las ramas en la sección en la que el diámetro es mayor a diez centímetros. Para los árboles aprovechados en la cosecha se cuantificó únicamente la biomasa de las ramas, mientras que en los casos de aquellos dañados como consecuencia del aprovechamiento, se cuantificó tanto el fuste como las ramas.

La determinación del número de árboles cosechados y dañados se hizo mediante la medición, antes y después del aprovechamiento, de parcelas permanentes, en las que se ha identificado y medido cada uno de los árboles cuyo diámetro sea mayor a 10 cm, medido a la altura de pecho (1,3 m de altura)

En un aprovechamiento tradicional en el que no se hace la debida planificación y la intensidad obedece al interés de maximizar los ingresos inmediatos, y no a los principios de la administración responsable del recurso, se tienen situaciones como la que se ilustra en el Cuadro 1.

Al ajustar la intensidad del aprovechamiento a las posibilidades del bosque y reducir el impacto del aprovechamiento mediante el control de la caída de los árboles y la planificación de la extracción, se reduce el volumen de residuos, tal como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Distribución diamétrica de los residuos (en kilogramos) de materia seca en un aprovechamiento tradicional.


Categoría diamétrica	Árboles cosecha	Árboles dañados	Residuos (kg/ha)
10 - 20		45	2708
20 - 30		20	3734
30 - 40		7	2755
40 - 50	0,5	2	1466
50 - 60	1	1	1361
60 - 70	0,5	1,5	2537
70 - 80			0
80 - 90	2	1	4330
90-100	2		1943
100-110	1		1213
110-120	1		1484
Total	8	77,5	23531

Fuente: Adaptado de Castillo, 1991.

Cuadro 2. Distribución diamétrica de los residuos (en kilogramos) de materia seca en un aprovechamiento mejorado.

Categoría diamétrica	Árboles cosecha	Árboles dañados	Residuos (kg/ha)
10-20		27	1625
20-30		10	1867
30-40		3	1181
40-50			0
50-60			0
60-70	3		1257
70-80	1		575
80-90			0
90-100	2		1943
Total	6	40	8448

Fuente: Adaptado de Méndez, 1993.



Una fuente sostenible de biomasa de residuos debe corresponder con aprovechamientos mejorados y por lo tanto, se debe trabajar con volúmenes por hectárea del orden de las ocho toneladas. Para satisfacer una determinada demanda de residuos habrá que recorrer mayores distancias y esto hace crecer los costos de la operación.

En la biomasa que se extrae del ecosistema se exportan minerales, por lo que se incrementa el desbalance en el ciclo de nutrimentos, ya producido por la cosecha. Este hecho amenaza la sostenibilidad de una fuente de biomasa de este tipo, por lo que habría que contemplar la posibilidad de redistribuir las cenizas o alguna forma de fertilización para compensar la exportación de nutrimentos.

La extracción de los fustes se hace, en una primera fase, por arrastre hasta un patio de acopio; esto reduce la proporción de caminos por área y así disminuye el impacto de la operación en el ecosistema. Para la extracción de leña, al menos en escala industrial, sería necesario incrementar la cantidad de caminos, de manera que el equipo para el transporte de leña llegue hasta cada claro. Una actividad de este tipo haría necesaria la construcción de obras de conservación, para disminuir el efecto de la construcción de nuevos caminos principales.

Las expectativas de producción de biomasa en plantaciones manejadas para la producción de leña, pueden superar las de los residuos del aprovechamiento de bosque natural. Además de este hecho, el manejo de plantaciones energéticas representa una excelente opción de uso de la tierra, en casos de suelos empobrecidos por un uso anterior inadecuado, como la ganadería o cultivos de subsistencia.

En el caso de plantaciones energéticas que se establezcan en suelos degradados o empobrecidos, son necesarios la aplicación de fertilizantes y enmiendas y el

acondicionamiento físico del suelo. En estos casos es necesario seleccionar especies rústicas que se adapten a las condiciones limitantes del sitio, por ejemplo la *Casuarina equisetifolia* que ha demostrado un buen comportamiento, comparativamente con otras especies, en este tipo de situaciones (National Research Council, 1984). Existe una gran variedad de especies que se adaptan a condiciones adversas y que se pueden contemplar en proyectos energéticos en estas situaciones (Little, 1980).

De todos modos, hay que enfocar el manejo de las plantaciones como agroecosistemas y no como monocultivos, que raras veces son capaces de adaptarse a las condiciones climáticas y edáficas. Los monocultivos requieren una gran inversión de energía en el sistema para modificar las condiciones ambientales que los limitan. Esta energía se introduce en el ecosistema en forma de altas dosis de fertilizantes, herbicidas, nematicidas, insecticidas, etc. La experiencia indica que después de un determinado tiempo la cantidad de energía que es necesario introducir en el sistema es tan grande, que ya no es rentable seguir haciéndolo; también se ha observado que, por ejemplo, aplicaciones masivas de fungicidas a base de cobre durante varios años en plantaciones de banano, han provocado acumulaciones que alcanzan niveles de toxicidad que inhabilitan el suelo para el desarrollo de cultivos.

En Centroamérica se ha evaluado el comportamiento de varias especies con capacidad para producir leña, entre otras se puede mencionar: *Caesalpinea velutina*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E saligna* y *Leucaena leucocephala*. Otras especies, como *Gmelina arborea*, se plantan para la producción de madera o pulpa, pero en casos de un desarrollo pobre, atribuible a mala adaptación al sitio, se pueden aprovechar como fuente de leña. Así mismo el producto de raleos que, por sus

Cuadro 3. Posibles rendimientos de biomasa (en kilogramos) por hectárea.

Especie	Rotación	Volumen (m ³ /ha)	Biomasa (kg/ha)
Aripin	4	55,2	27600
Casuarina	6	44	35200
Camaldulensis	7	197,6	118560
Saligna	7	264,5	158700
Melina	10	187,3	89904
Melina*	4, 8	49,44	23520, 21120

Fuente, Adaptado de: CATIE, 1992; CATIE, 1991; National Research Council, 1984; Martínez, 1990; CATIE, 1991 b; Murillo y Valerio, 1991.

* Se refiere al producto de raleos en plantaciones para madera.

dimensiones o calidad de forma, se puede destinar a un uso energético.

Basados en la experiencia de Centroamérica se han estimado posibles rendimientos de biomasa (Cuadro 3), partiendo de rendimientos volumétricos y el peso específico de la madera.

En el caso de la melina se aplicó un factor de 1,2 al volumen de fuste para contemplar la biomasa de ramas, que en esta especie es considerable, principalmente en los casos en los que no se ha aplicado una adecuada poda de formación.

Para la generación de energía existe la posibilidad de utilizar los residuos del aserrío, sin embargo hay que tomar en cuenta el volumen disponible de los mismos y las distancias que hay que recorrer para su recolección, en caso de que la producción de un solo aserradero no sea suficiente para abastecer una determinada planta.

En un estudio realizado por Winrock International Institute for Agricultural Development (1993) en Honduras, se exploraron seis posibles opciones de generación de energía eléctrica a partir de la combustión de residuos. En este caso de estudio se contempló la generación de electricidad únicamente en las horas de


mayor consumo, en parte, por limitaciones en el volumen de combustible. Este tipo de limitantes no permite que la rentabilidad del proyecto sea atractiva.

En el caso de proyectos de generación de energía, basados en la combustión de biomasa, hay que seleccionar el equipo de manera que se pueda utilizar a su máxima capacidad con las diversas fuentes de leña disponibles, y además que estas fuentes sean sostenibles.

4. La energía en el ecosistema y el dióxido de carbono

Del total de energía solar que incide sobre un bosque, únicamente un dos por ciento es fijado por el proceso fotosintético. Del total de energía fijada, un 45% corresponde a producción neta, mientras que el 55% es consumido por el proceso mismo y disipado por la fotorrespiración. De lo anterior se desprende que, de la energía disponible, únicamente el 0,9% pasa a formar parte del ecosistema (Jordan, 1980).

La utilización de combustibles fósiles y el efecto del cambio de uso del bosque a otras formas de uso de la tierra, hacen que el incremento de la concentración de



dióxido de carbono en la atmósfera sea cada vez mayor. Póngase la atención al hecho de que el incremento es creciente, esto es importante porque determina que la velocidad con que ocurren los cambios ambientales también es creciente. Si el cambio de las condiciones climáticas es más rápido que la capacidad de adaptación de las especies y de los ecosistemas, estos no podrán continuar evolucionando y desaparecerán (Worm, 1994). El mayor problema con la pérdida de biodiversidad es que disminuye la estabilidad del ecosistema y se incrementa el riesgo de desaparición masiva de especies y del ecosistema como tal.

En el caso de los residuos del aprovechamiento del bosque, por ejemplo, sufrirán una oxidación biológica que provocará la reintegración de minerales al suelo. El anhídrido carbónico se liberará paulatinamente y al mismo tiempo crecerá la regeneración que lo fijará, por lo que el balance del proceso es equilibrado. Por otra parte, la combustión de residuos provoca una liberación masiva no solo de dióxido de carbono, sino también de aerosoles y otros gases contaminantes.

El establecimiento de plantaciones, o el manejo de bosques secundarios, para capturar carbono de la atmósfera, es una responsabilidad que corresponde a los proyectos de generación de energía, basados en la combustión de biomasa. El consumo de plantaciones energéticas para la generación de electricidad es una alternativa en la que se libera el carbono que previamente ha sido fijado, con lo que se llega a un estado de equilibrio aceptable.

En el balance de radiación, en promedio, un 23% de la energía solar recibida en la atmósfera, es consumida como energía latente en los procesos de evaporación y transpiración. Esta cantidad de energía es devuelta, en forma de radiación de onda larga, al condensarse el agua e iniciar el proceso de precipitación (Heuvel dop *et al*, 1986).


Se puede decir, que la generación hidroeléctrica es la forma más sostenible de aprovechar la energía que fluye por el ecosistema bosque húmedo tropical.

Agradecimientos

Se agradece al Ing. William Cordero, Investigador Principal del Proyecto "Alternativas de Sistemas de Aprovechamiento en Bosque Natural Tropical", por el uso de información de ese proyecto. Al US Export Council for Renewable Energy, por el soporte necesario para la participación en REIA'94.

Referencias

- CATIE. 1991. Casuarina (*Casuarina equisetifolia*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica No. 173. 63 p.
- CATIE 1991 b. Saligna (*Eucalyptus saligna*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica No. 184. 66 p.
- CATIE. 1992. Aripín (*Caesalpinia velutina*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica No. 197. 45 p.
- CASTILLO, M. 1991. Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en bosque natural, para evaluar el aprovechamiento forestal, Península de Osa, Costa Rica. Práctica de Especialidad, (Grado Bachiller). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 155 p.
- HEUVELDOP, J; PARDO, J; QUIROS, S; y ESPINOSA, L. 1986. Agroclimatología Tropical. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 378 p.
- JORDAN, C. 1980. Los flujos y ciclos de nutrientes, agua, y energía en ecosistemas. Boletín Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales. 35(137): 79-101.

- 
- LITTLE, E. 1980. Common Fuelwood Corps. Communi-Tech Associates. Parsons, West Virginia. 354 p.
- MARTINEZ, H. 1990. Camaldulensis (*Eucalyptus camaldulensis*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica No. 158. 68 p.
- MENDEZ, J. 1993. Manejo del bosque natural en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. 6(2):42-49.
- MURILLO, O. y VALERIO, J. 1991. Melina (*Gmelina arborea*). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica No. 181. 72 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. Casuarinas: Nitrogen Fixing Trees for adverse Sites. National Academy Press. Washington, D.C. 118 p.
- ORTIZ, E. 1989. Desarrollo de una técnica no-destructiva para estimar biomasa en el bosque muy húmedo tropical. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Informe presentado a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. 44+21 p.
- WINROCK INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT. 1993. Energie from Sawmill Waste in Honduras: Teaupasenti Case Study. Arlington VA. United States Agency for International Development. Biomass Energy Systems and Technology Project DHR-5737-a-00-9058-00. 50+71 p.
- WORM, K. 1994. Climate Change and Biodiversity. Tropical Forest UPDATE (Newsletter from International Tropical Timber Organization). 4(1):4-5.