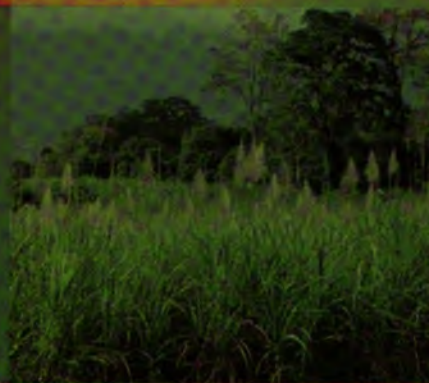


CATIE
ST
IT-341

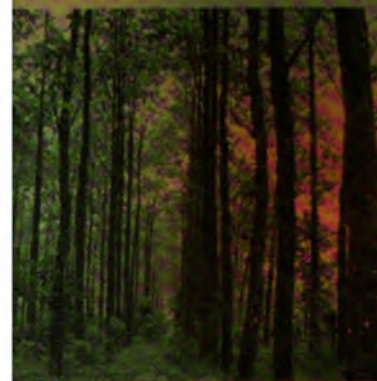


105444

Valoración de los residuos biomásicos en Costa Rica usando Sistemas de Información Geográfica

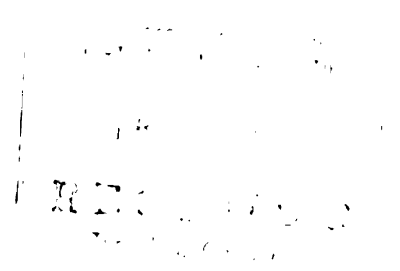


Pablo Imbach
Oscar Coto
Zenia Salinas



C741





Valoración de los residuos biomásicos en Costa Rica usando Sistemas de Información Geográfica

Pablo Imbach
Oscar Coto
Zenia Salinas



ST
31 341

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros regulares son: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana y Venezuela. El presupuesto básico del CATIE se nutre de generosas aportaciones anuales de estos miembros.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2005

ISBN 9977-57-406-5

333.9539

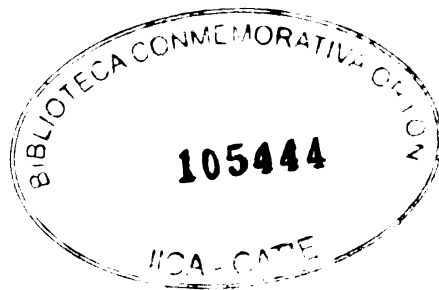
I32 Imbach, P.

Valoración de los residuos biomásicos en Costa Rica usando Sistemas de Información Geográfica / Pablo Imbach, Oscar Coto, Zenia Salinas. -- Turrialba, C.R. : CATIE, 2005.

41 p. ; 24 cm. -- (Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 340).

ISBN 9977-57-406-5

1. Biomasa – Costa Rica 2. Bioenergía – Costa Rica 3. Residuos orgánicos – Costa Rica I. Oscar Coto II. Zenia Salinas III. CATIE IV. Título V. Serie



Este documento se realizó en el marco del Proyecto “Uso Sostenible de la Biomasa y la Bioenergía en el contexto del MDL” (SUBBE por sus siglas en inglés) ejecutado por el Grupo Cambio Global del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la Universidad de Jyväskylä de Finlandia, con el apoyo financiero de la Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica. Esta Alianza es impulsada por los gobiernos de Finlandia y los países de la región centroamericana con el apoyo regional de SG-CICA y CCAD.

Contenido

1. Presentación.....	1
2. Bases de información y trabajos previos relevantes para el estudio de la biomasa	4
2.1. Mapa de cobertura de la tierra en Costa Rica	4
2.2. Mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica.....	6
2.3. Estudios sobre bosques y mitigación del cambio climático en Costa Rica	8
2.4. Atlas bioenergético de residuos orgánicos en Costa Rica	8
3. Mapa nacional de biomasa para Costa Rica	10
4. Mapa de biomasa de la región central de Costa Rica	14
5. Mapa de residuos biomásicos de la región central de Costa Rica.....	18
6. Una aplicación: el cantón de Guácimo.....	25
7. Conclusiones	29
Bibliografía	31
Anexos.....	32

Lista de tablas

Inventario de residuos biomásicos de actividades forestales hipotéticas (ton/ha) en el cantón de Guácimo, 1996	25
Inventario de residuos biomásicos de actividades forestales hipotéticas (ton/ha) fuera de las áreas bajo protección en el cantón de Guácimo, 1996	26
Inventario de residuos biomásicos de actividades agrícolas y reforestación en el cantón de Guácimo, 1996	26
Biomasa aérea en las categorías de uso del suelo de Costa Rica (1996)	32
Contenido de materia seca en los principales cultivos de Costa Rica (más de 10.000 ha sembradas en 1996)	33
Potencial de biomasa por zona de vida en Costa Rica	33
Inventario de residuos biomásicos provenientes de un aprovechamiento hipotético en categorías de manejo forestal sin considerar áreas bajo alguna categoría de protección para el área comprendida en el mapa de cobertura de la razón central de Costa Rica. 1996 (ton).....	41

Lista de figuras

Figura 1 Mapa de cobertura de la tierra en Costa Rica (1997)	5
Figura 2. Mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica (1996)	7
Figura 3. Atlas bioenergético: residuos orgánicos en Costa Rica (1988)	9
Figura 4. Mapa de biomasa aérea de Costa Rica (basado en el mapa nacional de cobertura de la tierra (1997)	12
Figura 6. Mapa de residuos biomásicos (forestales y agrícolas)	20
Figura 7. Mapa de residuos biomásicos de origen agrícola	21
Figura 8. Mapa de residuos biomásicos forestales potenciales	22
Figura 9. Mapa de residuos biomásicos forestales potenciales y categorías de protección para Costa Rica	23
Figura 10. Residuos biomásicos en el cantón de Guácimo.	27

1 | Presentación

El uso predominante de combustibles fósiles para satisfacer la creciente demanda energética ha despertado interés y preocupación mundial debido a que ese patrón de uso compromete el estado ambiental del planeta. En la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible realizada en Johannesburgo en el año 2002, se dio prioridad a las energías renovables y al uso racional de la energía como elementos clave de acción dentro de los principios y acuerdos que guían a los países hacia un desarrollo sostenible. En consecuencia, entre los denominados Objetivos de Desarrollo del Milenio se fijaron objetivos específicos para el tema de energía. Acuerdos derivados de la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible y de otras iniciativas regionales, bilaterales e incluso unilaterales, incluyen actividades que intentan acercar las políticas energéticas a las ambientales. La Alianza en Energía y Medio Ambiente con Centroamérica es una de estas iniciativas, la cual es impulsada por el gobierno de Finlandia en conjunto con los países de la región centroamericana.

En el marco de esta Alianza, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por intermedio de su Grupo de Cambio Global, y la Universidad de Jyväskylä de Finlandia, a través de su Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales y su Programa de Educación e Investigación en Energía Renovable, ejecutan el Proyecto “*Uso sostenible de la biomasa y la bioenergía en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio*” (SUBBE, por sus siglas en inglés). El objetivo de SUBBE es contribuir al fortalecimiento de capacidades locales e incrementar la participación de la biomasa sostenible¹ y de proyectos de bioenergía en el portafolio de proyectos de energía de Costa Rica, particularmente en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio (MDL). Lograr este objetivo requiere acciones de apoyo que contribuyan a eliminar barreras técnicas y de participación, las cuales impiden que el país aproveche el potencial que la biomasa ofrece para alcanzar el desarrollo sostenible. En este documento se presenta una herramienta basada en el sistema de información geográfica (SIG), la cual ayuda a los distintos actores nacionales a valorar el potencial biomásico del país y así orientar la discusión y los esfuerzos relacionados con el aprovechamiento de dichos recursos.

Los resultados de este estudio se presentan en tres contextos: nacional, de la región central del país y de un cantón. Los usos de la tierra son analizados como fuentes de biomasa². Se incluye una revisión de los mapas de cobertura de la tierra disponibles en Costa Rica, con clasificaciones adecuadas para un estudio de la biomasa de origen vegetal, así como revisiones temáticas del contenido de materia seca por categorías de uso del suelo y de la fracción de biomasa generada como posibles residuos de la producción de diversos usos del suelo (agrícolas y forestales). También se analizan trabajos previamente elaborados en Costa Rica

¹ En este estudio el término biomasa se refiere a toda la materia de origen biológico; esto es, *materia orgánica renovable* de origen animal o vegetal o procedente de su transformación natural o artificial.

² Las fuentes de biomasa de un país dependen de las características naturales, así como de su desarrollo agrícola e industrial. La fuente más común de biomasa para producción de energía proviene de los residuos de las actividades agrícolas (generalmente las partes de los cultivos que no se utilizan como alimento). Otras fuentes potenciales son: desechos orgánicos municipales o desechos de madera de actividades de construcción o de árboles en zonas urbanas; estiércol o gases producidos en los rellenos de basura o digestores anaeróbicos; cultivos “energéticos” (pastos o especies forestales de crecimiento rápido); residuos del aprovechamiento forestal y de pulpa en la producción de papel.

relacionados con el tema. Dos mapas de cobertura de la tierra con su respectiva plataforma SIG dan origen a los mapas de inventario de recursos y de residuos biomásicos desarrollados para este estudio: el mapa de cobertura de la tierra en Costa Rica, elaborado por el Instituto Meteorológico Nacional (1997) y el mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica desarrollado por el CATIE (1996).

El mapa de biomasa aérea de Costa Rica es una aproximación a un inventario nacional de biomasa. La información que el mapa ofrece es de carácter indicativo, dada la calidad y disponibilidad de información secundaria existente sobre cobertura de la tierra a nivel nacional. Este mapa presenta clasificaciones generales de densidad y disponibilidad de biomasa acumulada (*stock*) en dicho año.

La existencia de un mapa más preciso de cobertura de la tierra para la región central del país permitió elaborar el mapa de biomasa aérea de esa región. La precisión del mapa de cobertura permitió un análisis más detallado de la cantidad de biomasa existente. El análisis de la región central se detalla aún más con información bibliográfica sobre la fracción de recursos biomásicos de la producción de diversos usos de la tierra; de esta manera, los resultados llegan hasta la estimación de residuos biomásicos³, los cuales se presentan en el mapa de residuos biomásicos forestales y agrícolas. Los cálculos y estimaciones correspondientes aparecen en los anexos, en forma separada para los residuos de origen forestal y agrícola con el objetivo de permitir al lector interesado entender la aplicación de las metodologías de agrupamiento empleadas. La herramienta SIG permite determinar las densidades de disponibilidad de residuos acumulados en un año dado y los totales de biomasa estimados, dependiendo de parámetros de explotación que pueden ser integrados por el usuario de la herramienta.

Una aplicación de la herramienta en el cantón de Guácimo permite ilustrar la distribución de biomasa aérea de origen agrícola y forestal, incluyendo las restricciones de uso establecidas por las políticas de conservación de bosques del país. La información presentada incluye la estimación en toneladas totales de residuos disponibles y su distribución por densidad de disponibilidad.

La estimación de recursos biomásicos en este estudio es preliminar, por lo que los resultados deben interpretarse como inventarios de biomasa aérea en un tiempo dado. El estudio no arroja información dinámica de los recursos biomásicos ni de los patrones de cambio de uso del suelo. Al basarse en análisis SIG, todos los mapas presentan las limitaciones asociadas a la disponibilidad y calidad de los mapas usados, así como también hay limitaciones relativas a calidad y representatividad de la información disponible en la literatura consultada. Con este estudio no es posible determinar el potencial de generación de actividades nuevas que se puedan implementar para producir biomasa o residuos biomásicos, aunque sí se puede generar información relevante en esa dirección.

³ En este estudio, los residuos biomásicos se definen como recursos energéticos provenientes de desechos o residuos de material orgánico de plantas y animales, obtenidos de la cosecha o procesamiento de cultivos o forestería, así como de desechos industriales o municipales.

Estudios futuros podrían utilizar el presente trabajo como base para el diseño de proyectos de aprovechamiento sostenible del recurso biomásico en Costa Rica. Se recomienda analizar más detalladamente la fracción de la biomasa identificada que puede convertirse en residuos aprovechables para distintas aplicaciones, incluidos posibles procesos de conversión de la biomasa en distintos tipos de acarreadores energéticos útiles para procesos de generación eléctrica y calor de proceso, así como para la producción de biocombustibles. Los resultados presentados en forma de mapas pudieran permitir análisis cruzados con otros tipos de mapas nacionales, de manera que se contribuya a mejorar la información sobre acceso, costos, ubicación y distribución de eventuales centros de acopio y/o plantas de producción de bioenergía a partir de biomasa. Tales estudios permitirían mejorar la información clave sobre costos para definir las posibilidades reales de producción de bioenergía a partir de biomasa en Costa Rica.

2 Bases de información y trabajos previos relevantes para el estudio de la biomasa

El análisis de los recursos biomásicos pasa por la identificación de información secundaria como mapas de cobertura o uso del suelo que, combinados con datos publicados, arroja información sobre los residuos biomásicos del área estudiada. Los mapas ofrecen categorías de uso del suelo (por ejemplo, tipos de cultivos o de bosques) y la bibliografía ofrece los contenidos de biomasa, proporción de residuos biomásicos o densidad energética. Las categorías de los mapas se combinan con la información bibliográfica para generar nuevas categorías para el mapa de biomasa y así poder hacer un análisis relevante para los objetivos de este trabajo.

2.1 Mapa de cobertura de la tierra en Costa Rica

El mapa más reciente y completo sobre la cobertura de la tierra en Costa Rica se publicó en 1997 (Fig. 1). Este mapa fue generado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Imágenes Landsat TM⁴ del año 1996 y 1997 (14/53, 14/54, 15/53, 15/54, 16/52 y 16/53), fotos aéreas de 1997 y trabajo de campo para la clasificación de dichas imágenes fueron la base para crear este mapa, en el contexto del proyecto “Mejoramiento de la capacidad nacional para la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero”. Este mapa presenta la cobertura del suelo en categorías generales de uso según la siguiente clasificación:

No.	Categoría	No.	Categoría	No.	Categoría
1	bosque secundario	5	pastos	10	cultivos anuales
2	bosque primario	6	uso mixto	11	terreno descubierto
3	humedales	7	charrales y tacotales	12	nubes y sombras
4	manglares	8	áreas quemadas	13	lagunas y embalses
5	cultivos permanentes	9	áreas urbanas	14	páramo

⁴ Corresponde al sensor 'Thematic Mapper' en el satélite Landsat. Cada imagen del sensor cubre un área de 180x170 km, con un píxel de 28.5 m de lado y 8 bandas del espectro electromagnético.

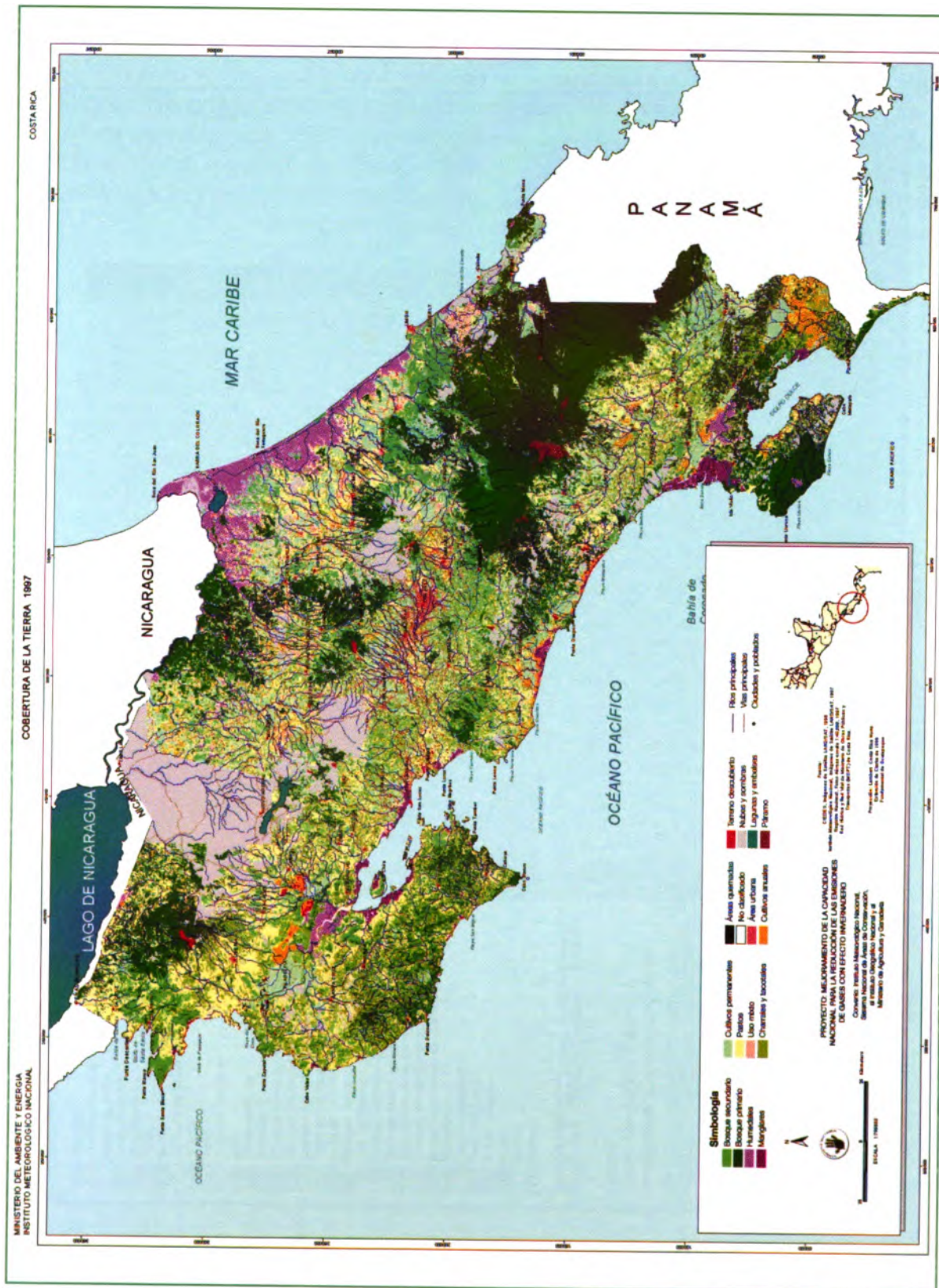


Figura 1. Mapa de cobertura de la tierra en Costa Rica (1997)

2.2 Mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica

Casi al mismo tiempo que se realizaba el mapa nacional, el CATIE (1996) desarrollaba un mapa de cobertura de la tierra que, a pesar de no cubrir todo el país, incluye un mayor número de categorías de uso del suelo. El mapa solo cubre una fracción del área del país porque se desarrolló en el marco de una investigación (estudio de caso) que pretendía probar un método diseñado para mejorar la precisión en la clasificación de imágenes de satélite (15/54) (Pedroni 2003). El área de la imagen Landsat cubierta es TM (15/53) (Fig. 2). La clasificación se apoyó en trabajo de campo para generar las siguientes categorías:

No	Categoría	No	Categoría
1	pasturas	18	bosque húmedo tropical primario
2	cultivos anuales	19	bosque húmedo tropical intervenido
3	suelo agrícola	20	bosque húmedo tropical secundario inicial
4	caña de azúcar	21	bosque húmedo tropical secundario intervenido
5	ornamentales	22	bosque húmedo tropical secundario avanzado
6	piña	23	bosque pantanoso (yolillo)
7	sarán	24	bosque montano primario
8	agricultura mixta	25	bosque montano secundario inicial
9	bambú	26	bosque montano secundario avanzado
10	banano	27	bosque enano montano
11	frutales y nueces	28	sucesión primaria en deslizamientos
12	café	29	suelo expuesto
13	palma africana	30	áreas urbanas
14	pejibaye	31	agua
15	reforestación	32	nubes
16	manglares	33	sombras
17	páramo subalpino		

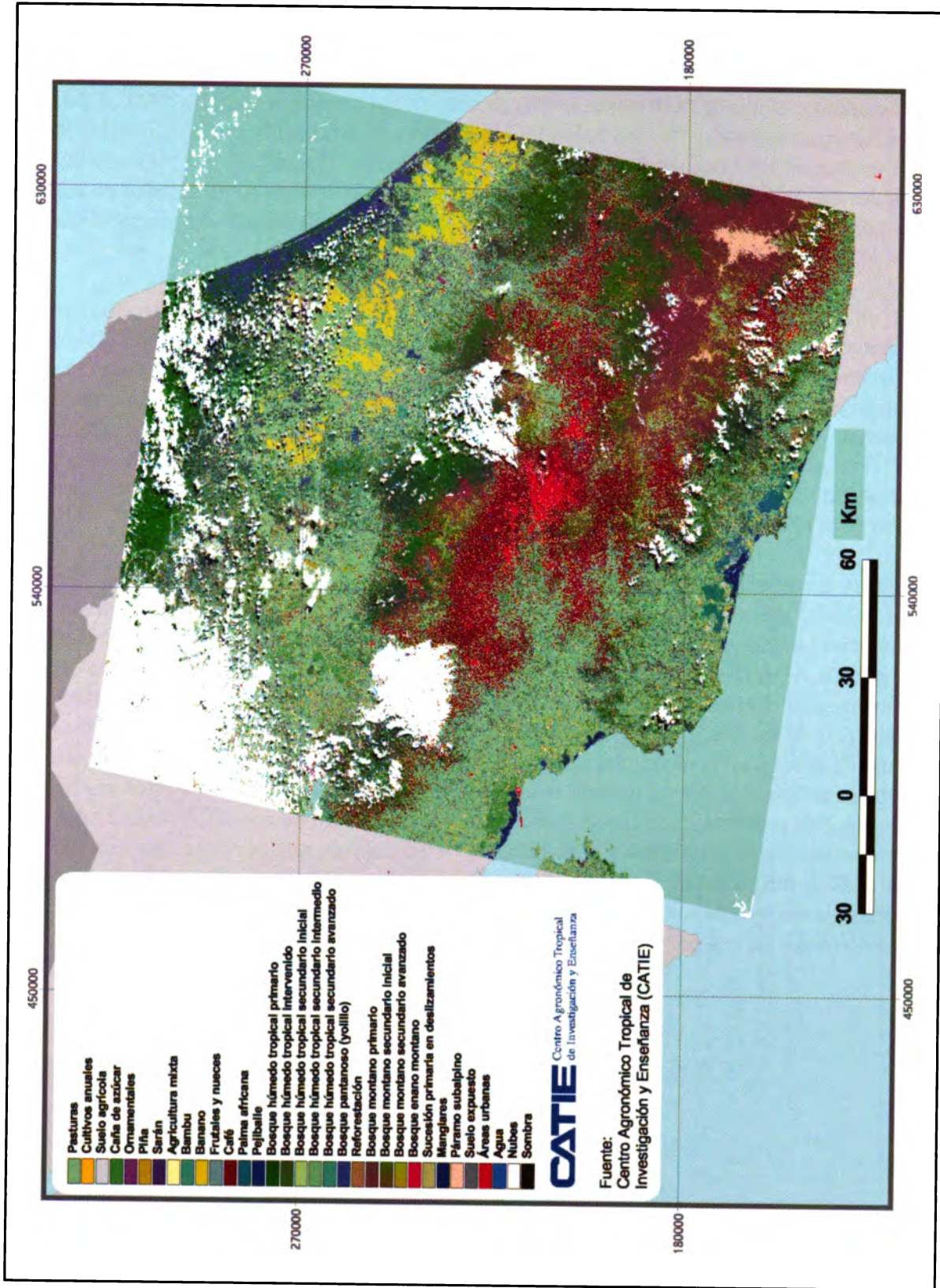


Figura 2. Mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica (1996)

2.3 Estudios sobre bosques y mitigación del cambio climático en Costa Rica

El contenido de carbono de los bosques representa una aproximación a su contenido de biomasa mediante el uso de métodos sencillos de conversión a materia seca. En 1999, el IMN de Costa Rica junto con el gobierno holandés realizaron una estimación preliminar del carbono almacenado⁵ en los bosques de Costa Rica. Se estudiaron 37 tipos de bosques que cubren alrededor del 80% del país (IMN / Gobierno Holandés 1999). El estudio se basó en trabajo de campo complementado con análisis en un SIG. El resultado permite conocer la ubicación de los tipos de bosques y su relación con los contenidos de carbono.

En el 2003, en el contexto del Proyecto Bosques y Cambio Climático, desarrollado por la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y la Comisión Centroamericana del Ambiente y Desarrollo (CCAD), se hicieron valoraciones para la determinación inicial de tierras con potencial para el MDL y para la identificación del potencial de almacenamiento de carbono en diferentes cantones y proyectos potenciales en el contexto del MDL (FAO/CCAD 2003). Hasta la fecha, sin embargo, no se han establecido los valores de definición de bosques que Costa Rica emplearía ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

2.4 Atlas bioenergético de residuos orgánicos en Costa Rica

En el pasado, algunas organizaciones han mostrado interés por entender y dar luces sobre el potencial bioenergético de América Latina. En 1988, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) realizaron una “Evaluación preliminar del potencial bioenergético de América Latina y el Caribe” (OLADE 1988). Para el caso de Costa Rica, dicho estudio ofrece mapas forestales y de caña de azúcar, así como la ubicación aproximada de distintos tipos de residuos orgánicos; el público al que se dirige el estudio son planificadores y autoridades del sector energético. En la Fig. 3 se presenta una reproducción de dicho inventario nacional. Diecisiete años más tarde contamos con información más detallada y tecnología más reciente que nos permite hacer análisis más acertados para contestar a la pregunta: ¿Hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos de aprovechamiento de los recursos biomásicos del país para maximizar su eficiencia, en términos de costos?

⁵ Contenido de carbono presente en los árboles, sotobosque y mantillo de cada tipo de bosque.

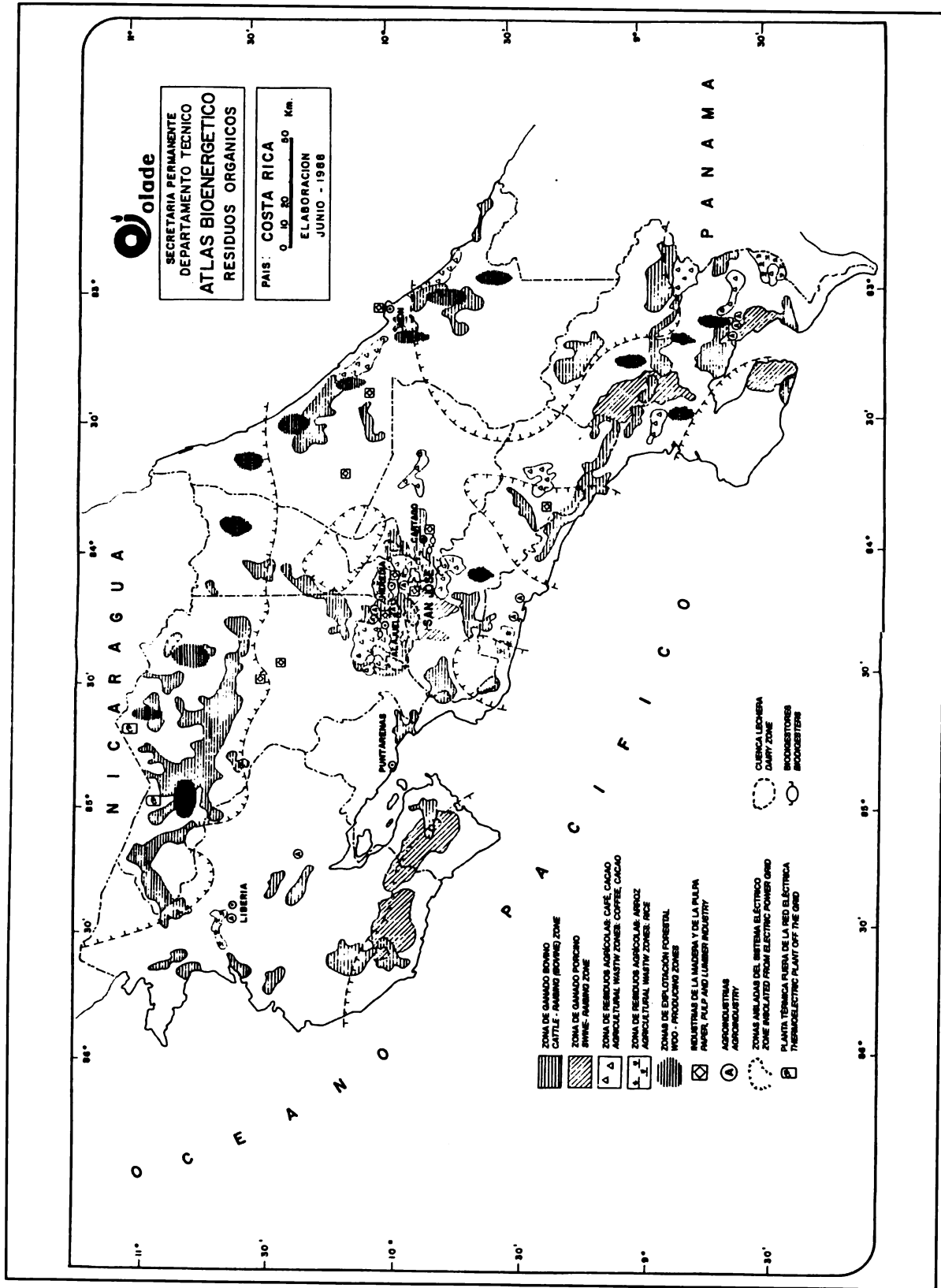


Figura 3. Atlas bioenergético: residuos orgánicos en Costa Rica (1988)

3 | Mapa nacional de biomasa para Costa Rica

Con base en el mapa de la Fig.1, información bibliográfica y consultas sobre contenido de carbono y biomasa, se generó el mapa nacional de biomasa que representa una aproximación a la distribución espacial de la biomasa⁶ en Costa Rica (Fig. 4) en el año 1997.

Para el desarrollo de este mapa se siguieron los siguientes pasos metodológicos:

1. Se identificó y analizó cada categoría en el mapa de cobertura de la tierra en Costa Rica (1997), en términos de biomasa. Ese mapa incluye categorías que requieren de un análisis especial para las conversiones a biomasa. Por ejemplo, 'cultivos anuales' y 'cultivos perennes' son categorías que podrían comprender varios usos del suelo o tipos de cultivos cuyos contenidos de biomasa difieren; para categorías como manglares, zonas urbanas o áreas quemadas se supone un contenido de biomasa que si bien no es constante, varía en un rango relativamente estrecho.
2. Mediante revisión bibliográfica se estimó el contenido de biomasa para cada una de las categorías detalladas en el paso anterior. Los resultados se dan en toneladas por hectárea (Anexo 1, Cuadro 1). A continuación se presentan ejemplos de cómo se llegó a la estimación de biomasa en diferentes categorías y cómo algunas necesitaron más de una estimación directa a partir de datos bibliográficos:
 - Para los bosques primarios, el contenido de biomasa se calculó utilizando el rango de los contenidos de biomasa que tienen los ecosistemas naturales en las zonas de vida existentes en Costa Rica (excepto el páramo que se identifica como una categoría aparte). Se partió del supuesto de que los ecosistemas no han sido perturbados, por lo que su contenido de biomasa corresponde al de la vegetación clímax⁷ del lugar, determinada por la zona de vida (Anexo 1, Cuadro 3).
 - La biomasa de las categorías 'cultivos perennes' y 'cultivos anuales' se estimó con base en los tipos de cultivos que a la fecha de creación del mapa (1996) cubrían las mayores áreas y sus respectivos contenidos de biomasa (Anexo 1, Cuadro 2). Los cultivos con un área sembrada mayor de 10.000 ha se seleccionaron con información de SEPSA (2004) para incluir los cultivos más representativos de cada categoría. El contenido de biomasa de estas dos categorías de cultivos se estimó ponderando el contenido de biomasa de cada cultivo con el área sembrada correspondiente.

⁶ Contenido de materia seca sobre el suelo.

⁷ Vegetación en su máximo punto de desarrollo en sus condiciones climáticas.

- Los humedales representan un caso más complejo, ya que pueden ser marinos, estuarios, ribereños, costa abiertas, llanuras de inundación, pantanos de agua dulce, lagos y lagunas, turberas, bosques de inundación o humedales artificiales (Rojas *et. al.* 2003). La dispersión en los contenidos de biomasa de los posibles tipos de humedales es alta, por lo que sus contenidos de biomasa no se pueden categorizar. Debido a esto, todos ellos fueron agrupados en la categoría 'mixta' junto con la 'agricultura mixta', que presenta una situación similar.
 - El resto de categorías permitieron estimaciones más directas del contenido de biomasa. Por ejemplo, para las pasturas, suelos expuestos y áreas quemadas se hicieron estimaciones simples basadas en datos representativos del contenido de biomasa, encontrados en la información bibliográfica.
 - La presencia de 'nubes' y 'sombras' impide al sensor del satélite obtener datos característicos de la cobertura de la tierra y, por ende, de su contenido de biomasa.
3. El análisis y las estimaciones realizadas en los pasos anteriores demostraron que las categorías del mapa de biomasa resultaron en estimaciones muy dispersas del contenido de biomasa. Por lo tanto, para la generación del mapa nacional de biomasa se reagruparon las categorías en cuatro clases generales de contenido de biomasa: muy baja (0 a 5 ton/ha), baja (5 a 40 ton/ha), media (40 a 100 ton/ha) y alta (>100 ton/ha).

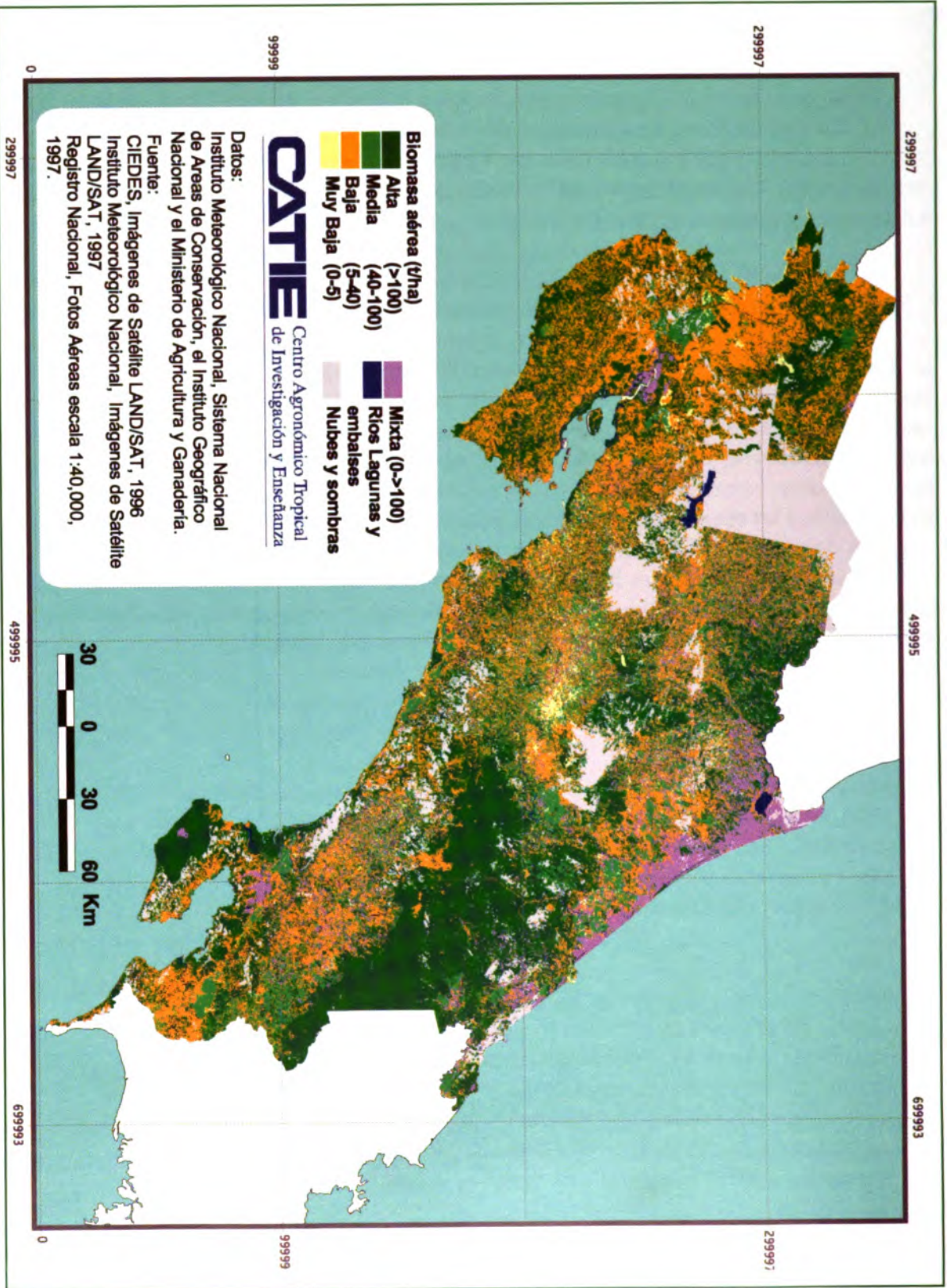


Figura 4. Mapa de biomasa aérea de Costa Rica (basado en el mapa nacional de cobertura de la tierra (1997)

En el mapa nacional de biomasa se observa que, en general, las categorías que representan ecosistemas naturales o poco disturbados (bosques y manglares) son los que tienen contenidos 'altos' de biomasa. Excepciones son los humedales, que no se pueden clasificar, y el páramo que es una vegetación natural con bajo contenido de biomasa. Los cultivos perennes presentan valores 'medios', pues en muchos casos la vegetación llega a ser leñosa. Los cultivos anuales, en cambio, se agrupan junto con las pasturas, charrales, tacotales y el páramo como de contenido 'bajo' de biomasa, ya que son vegetación baja o herbácea. La categoría 'muy baja' agrupa las clases que poseen una cantidad insignificante de biomasa.

La información del mapa nacional permite visualizar en forma general los tipos de biomasa disponibles en el país, pero, al no ser posible distinguir el tipo de cobertura, se hace necesario hacer generalizaciones que podrían resultar en una sobrestimación del recurso. Si bien la información de este primer mapa podría orientar la planificación de acciones para el uso de los recursos biomásicos, es necesario contar con información más detallada para poder hacer consideraciones importantes para el aprovechamiento, como las relacionadas con variables como la densidad de producción de residuos. A continuación se presenta el análisis y los resultados obtenidos usando un mapa que detalla con más precisión la cobertura de la tierra de la región central del país.

4 | Mapa de biomasa de la región central de Costa Rica

Al igual que para el mapa nacional, el objetivo del mapa de biomasa de la región central de Costa Rica (Fig. 5) es mostrar la distribución de la biomasa en el espacio. Este mapa se basa en el de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica (1996) elaborado por CATIE, y abarca el área de la imagen Landsat TM (15/54). Además, presenta un número mayor de clases de uso del suelo que el mapa nacional de cobertura de 1997, lo que permitió identificar categorías de contenido de biomasa con mayor precisión dado que los usos son más homogéneos en cuanto a contenido de biomasa, en comparación con el mapa de cobertura nacional.

Los promedios de biomasa para cada categoría de uso definida en el mapa y los correspondientes a los tipos de cobertura forestal de cada zona de vida se presentan en los Cuadros 1 y 2 del Anexo 2. A continuación se describen los pasos metodológicos seguidos en el análisis:

1. Se identificó lo que representa cada categoría del mapa de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica (1996) en términos de biomasa. Las categorías del mapa corresponden a cultivos específicos y tipos de bosques, lo que simplifica la determinación de los contenidos de biomasa.
2. Se identificó el contenido de biomasa para cada una de las categorías del mapa en toneladas por hectárea mediante revisión bibliográfica (Anexo 2, Cuadro 1). En los casos en que la literatura reporta un rango de valores, se calculó un promedio simple. A continuación se presentan los detalles de los cálculos para algunas de las categorías:
 - Para los bosques, el rango de contenidos de biomasa se definió por aproximación, utilizando el rango de contenidos de biomasa que tienen los ecosistemas naturales en las zonas de vida existentes en Costa Rica. Al igual que en el mapa nacional, se partió del supuesto de que los ecosistemas no han sido perturbados, por lo que su contenido de biomasa corresponde al de la vegetación clímax del lugar, determinada por la zona de vida (Ver información de referencia en Anexo 1, Cuadro 3).
 - Para las categorías de cobertura boscosa, se diferencié el grado de perturbación al que han sido expuestas. Se distinguen, entonces, varios estadios de sucesión que se caracterizan por tener valores menores de biomasa a medida que aumenta el grado de perturbación (Anexo 2, Cuadro 1). Los valores de biomasa corresponden al valor que caracteriza a la zona de vida, multiplicado por un porcentaje que se aproxima al grado de perturbación presente (Anexo 1, Cuadro 4 y Anexo 2, Cuadro 2).

- En las zonas agrícolas, a pesar de que se distingue un gran número de cultivos específicos, existen categorías genéricas de ‘cultivos anuales’ y ‘agricultura mixta’. Para ‘cultivos anuales’ se utilizaron los valores descritos en el Cuadro 1 del Anexo 1 y se calcularon como se describe en el paso 3; la categoría de ‘agricultura mixta’ no fue considerada debido a la diversidad de usos del suelo que representa y el nivel de precisión que se pretende con este mapa.
 - Las categorías sin potencial para la producción de residuos biomásicos, o cuya biomasa no se puede determinar con base en su significado, se descartaron del análisis. Este es el caso de plantas ornamentales, cobertura de sarán, yolillales, sucesión primaria en deslizamientos, manglares, páramo, áreas urbanas y suelo descubierto. Las nubes, sombras, suelo agrícola arado y agricultura mixta entran en la categoría de no determinados (ND); a los cuerpos de agua se les asignó un contenido nulo de biomasa.
3. Los resultados muestran una agrupación de los valores de biomasa en rangos (Fig. 5). Esto se debe, en primera instancia, a que los valores citados en la literatura por lo general no corresponden a la zona o a condiciones ambientales y de manejo de los cultivos específicos de este estudio. Al agruparlos se pretende crear clases de usos del suelo que tengan contenidos relativamente similares de biomasa y así dejar de lado valores absolutos que no corresponden estrictamente a las condiciones locales. En segundo lugar, se quiere facilitar la interpretación del gradiente de contenidos de biomasa y su ubicación. Es importante acotar que la información instalada en la herramienta de SIG permitiría identificar para cada píxel, zona o región, los rangos de biomasa por tipo de uso del suelo o cobertura considerado.

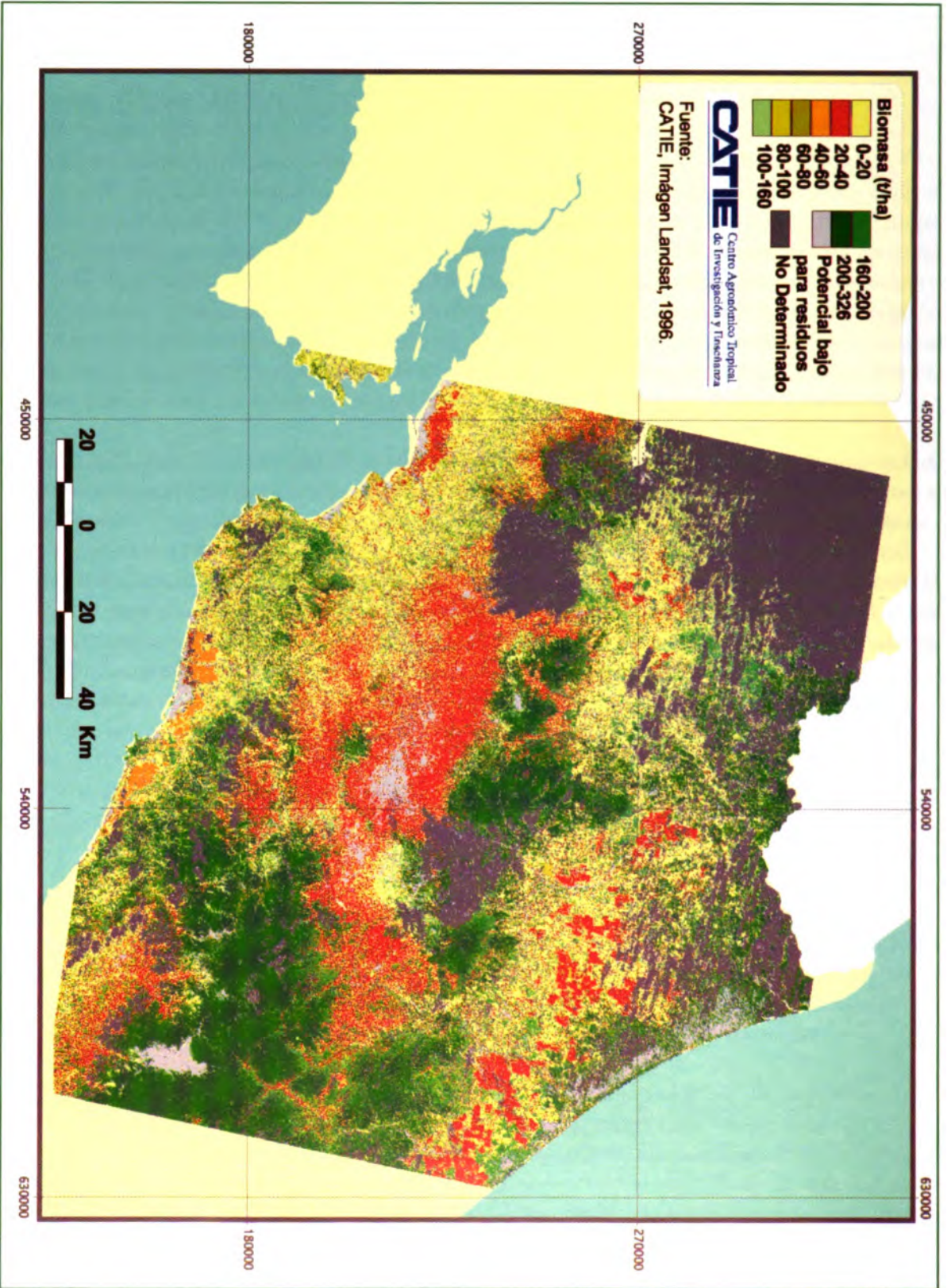


Figura 5. Mapa de biomasa aérea de la región central de Costa Rica (basado en el mapa de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica, 1996)

Hay tres categorías generales que dominan el mapa; los potreros constituyen la de menor contenido de biomasa, seguidos por los cultivos anuales y perennes y, finalmente, los bosques en sus diferentes estados de sucesión. Dado que el mapa de 1996 tiene más categorías, el área cubierta por categorías con valores de biomasa más dispersos (tales como 'cultivos anuales' o 'agricultura mixta') es proporcionalmente menor. No es este el caso en la categoría de 'nubes' y 'sombras', cuyas limitaciones no se pueden resolver con la clasificación de la imagen, sino en el paso previo de selección, aunque este obstáculo no siempre puede resolverse. Esta categoría es la mayor fuente de 'vacíos' en el mapa.

La principal limitación para la elaboración del mapa de biomasa de la región central proviene de la información bibliográfica disponible. Por ejemplo, en algunos casos solo fue posible contar con datos de contenido de biomasa provenientes de estudios realizados en otro país o bajo condiciones de manejo de los cultivos distintas a las que se practican en Costa Rica. En estos casos, los datos se usaron suponiendo que los valores son cercanos a la realidad, o al menos que las diferencias entre los rangos son coherentes con lo que se encuentra en el campo. Se recomienda profundizar el estudio con investigaciones para cuantificar los contenidos de biomasa bajo las condiciones de manejo de los cultivos a nivel local y para determinar los valores de uso de los suelos bajo las nubes y sombras.

El mapa de biomasa aérea de la región central de Costa Rica ofrece una distribución de los recursos biomásicos más detallada que la del nivel nacional. En el siguiente mapa se pretende profundizar en el estudio para conocer la fracción y la ubicación de la biomasa identificada como residuo biomásico potencialmente aprovechable.

5 | Mapa de residuos biomásicos de la región central de Costa Rica

Los residuos biomásicos eventualmente disponibles para la producción energética se calculan con base en la información de biomasa proveniente de residuos generados por las diferentes actividades agrícolas y el aprovechamiento de los bosques. Al igual que en los mapas anteriores, el objetivo es presentar un inventario de los recursos biomásicos para un momento dado; por lo tanto el mapa de residuos biomásicos (forestales y agrícolas) de la Fig. 6 no da estimados de producción de residuos por ciclo de cultivos o ciclos de aprovechamiento forestal. Por separado, se presentan los mapas de residuos biomásicos de origen agrícola (Fig. 7) y de origen forestal (Fig. 8). En la Fig. 9 se profundiza aún más el análisis de los residuos forestales potenciales con la información de las categorías de protección del bosque en el país.

El mapa se construyó a partir del mapa de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica (1996) y la revisión bibliográfica que sustenta los datos obtenidos de producción de residuos biomásicos. Los pasos metodológicos que se siguieron para obtener el mapa fueron los siguientes:

1. Se investigó el potencial productivo de los cultivos con alto contenido de biomasa o de producción de residuos y área cultivada importante (Fig. 2 y Cuadro 3 del Anexo 2). La información de productividad de los cultivos fue necesaria para calcular la cantidad de residuos biomásicos. En los casos en los que se encontró un rango en los valores de producción se utilizó un promedio simple para las etapas posteriores.
2. Se investigó la fracción de la producción de cada cultivo que corresponde a residuos biomásicos (Anexo 2, Cuadro 3); de esta manera los datos obtenidos fueron residuos de biomasa en unidades de masa por hectárea (Fig. 6). Los supuestos más importantes usados para llegar a residuos biomásicos a partir del mapa de biomasa de la región central del país se presentan a continuación:
 - Se descartaron las categorías de bajo potencial, así como las genéricas de las que no se conoce el tipo o cantidad de residuos que producirían (por ejemplo, cultivos anuales, agricultura mixta, bambú).
 - Para la categoría 'cultivos', los residuos corresponden a las partes vegetales que no se aprovechan o que no sirven de alimento (Fig. 7).
3. En las categorías de bosques (Fig. 8), los residuos biomásicos corresponden a los desechos de un hipotético aprovechamiento forestal (desechos de aserrío, en el campo, etc.) Con base en el número de hectáreas de plantaciones forestales o con bosque se aproximó el

total de residuos por hectárea en la fecha de elaboración del mapa usando criterios de opinión experta sobre el porcentaje obtenibles en exportaciones forestales (Anexo 2, Cuadros 3 y 4). De hecho, el mapa de la Fig. 8 representa los residuos biomásicos potenciales, ya que los valores dados no significan que todos estos residuos sean aprovechables simultáneamente (Anexo 2, Cuadro 5). En este caso, al igual que en el mapa de biomasa de la región central de Costa Rica, las categorías bajo diferentes grados de disturbio poseen un gradiente de contenido de biomasa según la zona de vida respectiva. A continuación se detalla el proceso:

- El Cuadro 3 (Anexo 2) muestra los totales de residuos biomásicos provenientes de las categorías de cobertura forestal por zona de vida a la que pertenece el bosque y su grado de perturbación. Para este cálculo se considera que un 7,7% de la biomasa del bosque corresponde a residuos biomásicos en un aprovechamiento forestal. La información del Cuadro 4 (Anexo 2) es el resultado de calcular el contenido de biomasa para cada tipo de bosque según su grado de perturbación y la zona de vida a la que pertenece y, de ese total, se contabiliza un 7,7%. Es decir, que del total de biomasa que corresponde a la zona de vida se hace un descuento según el porcentaje de perturbación (por ejemplo para 'bht secundario inicial' se estima un 10% (Cuadro 1, Anexo 2), luego se calcula el 7,7% para obtener la cantidad de residuos biomásicos por hectárea y, finalmente, se multiplica la cantidad de residuos por hectárea por el número total de hectáreas.
 - Se calculó además el potencial de residuos biomásicos forestales disponibles en un escenario con un ciclo de corta de 15 años y con diferentes porcentajes de madera comercial aprovechable, considerando todas las áreas protegidas como aprovechables (A) o no aprovechables (B). La idea es que no todo el bosque se puede aprovechar simultáneamente sino que, a partir de un ciclo de corta de 15 años, el bosque se aprovecha en secciones de manera que al finalizar el ciclo se haya aprovechado el área total disponible. Para simular esto, el total de residuos biomásicos disponibles se dividió entre 15. En segundo lugar, se asume que no todos los residuos disponibles son aprovechables comercialmente por lo que se estiman diferentes porcentajes de capacidad de aprovechamiento comercial. Los resultados se presentan en el Cuadro 5 (Anexo 2).
4. Debido a que la producción de residuos biomásicos de origen forestal es producto de actividades de aprovechamiento forestal que no siempre son permitidas en áreas de conservación según la legislación vigente, en este estudio se reconocen las áreas bajo alguna categoría de protección. Por lo tanto, con un escenario conservador, se calcularon también los residuos biomásicos forestales, sin tomar en cuenta las áreas bajo alguna categoría de protección (Anexo 2, Cuadro 6 y Fig. 9).

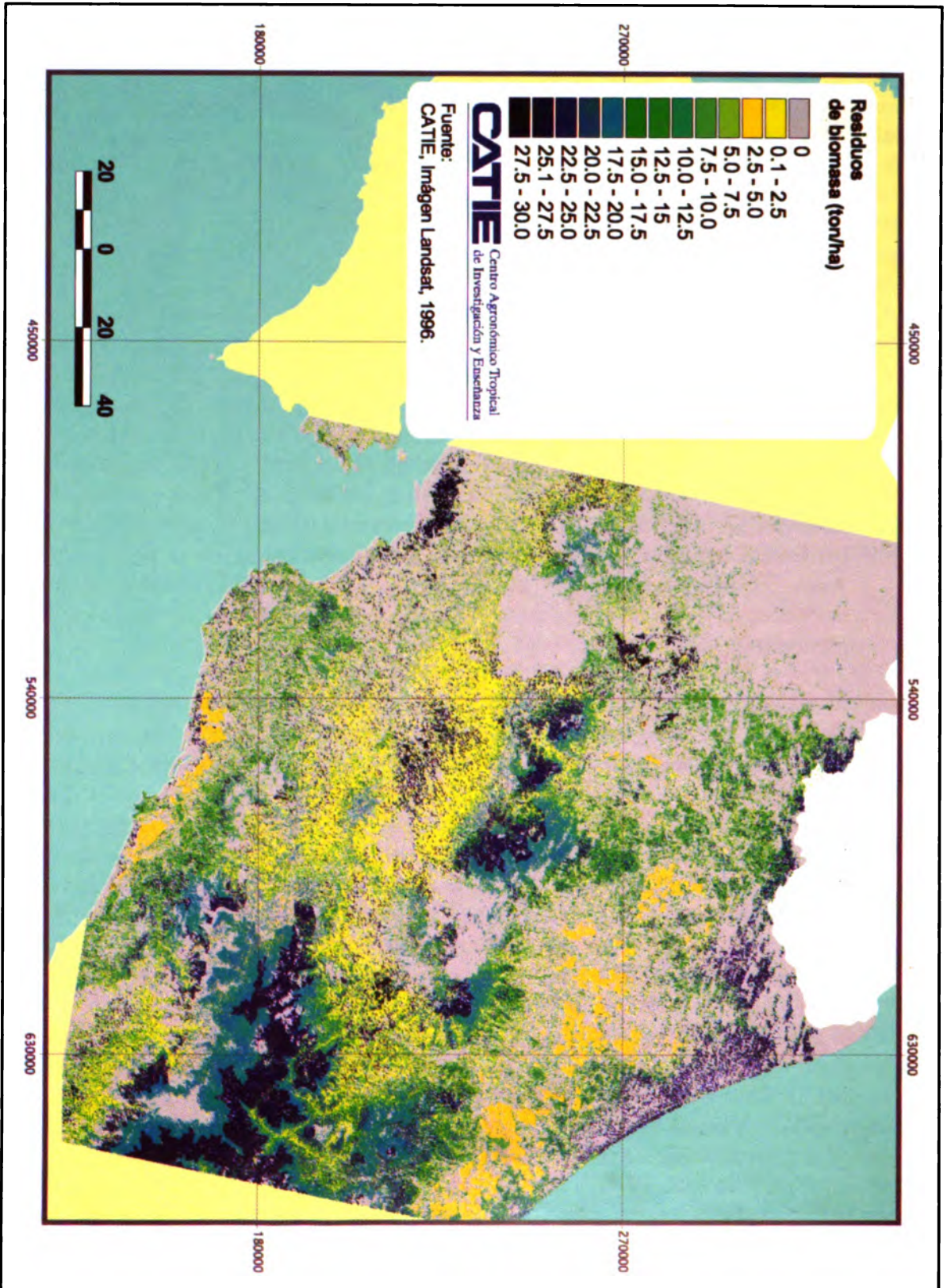


Figura 6. Mapa de residuos biomásicos (forestales y agrícolas)

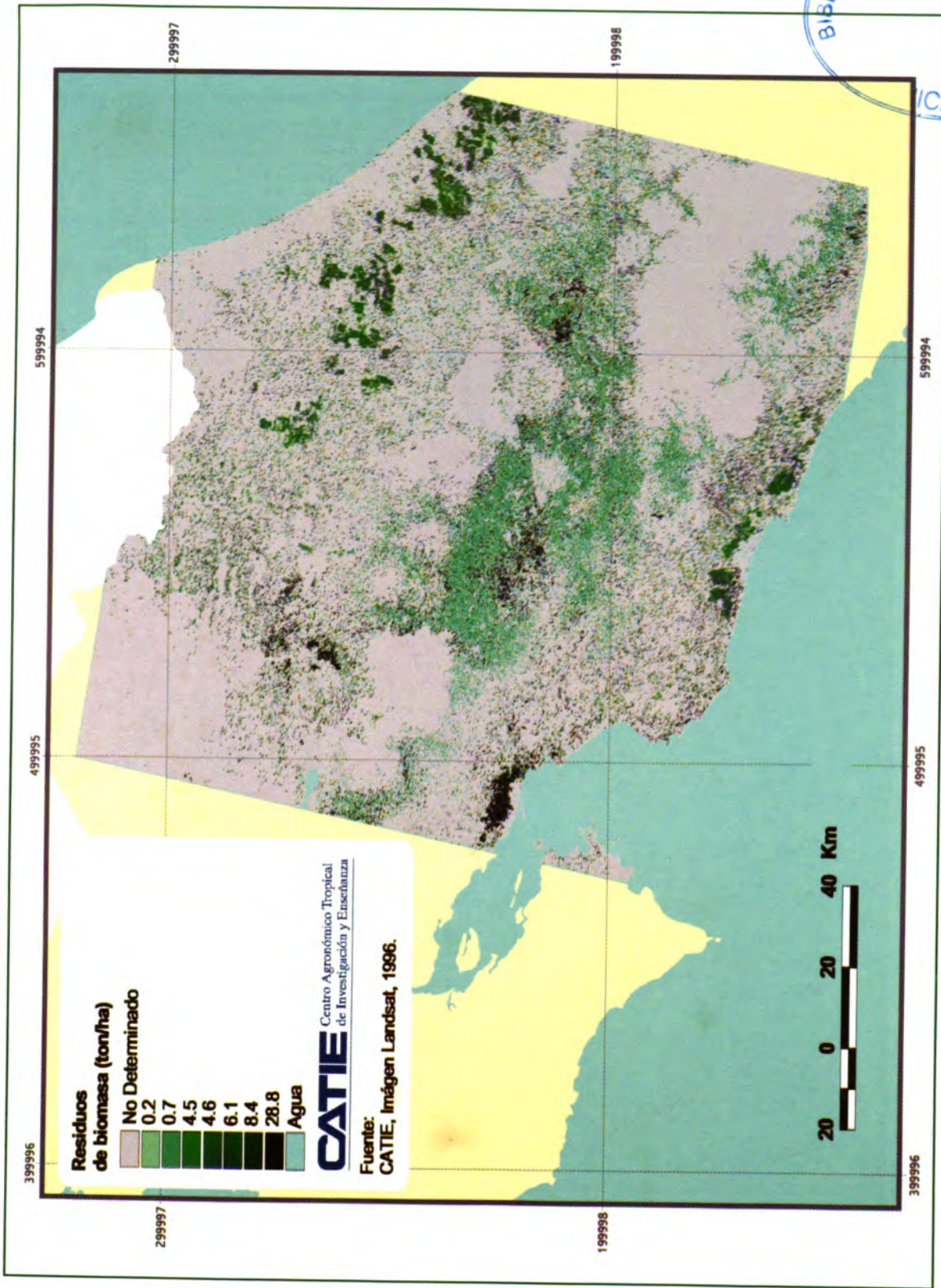


Figura 7. Mapa de residuos biomásicos de origen agrícola

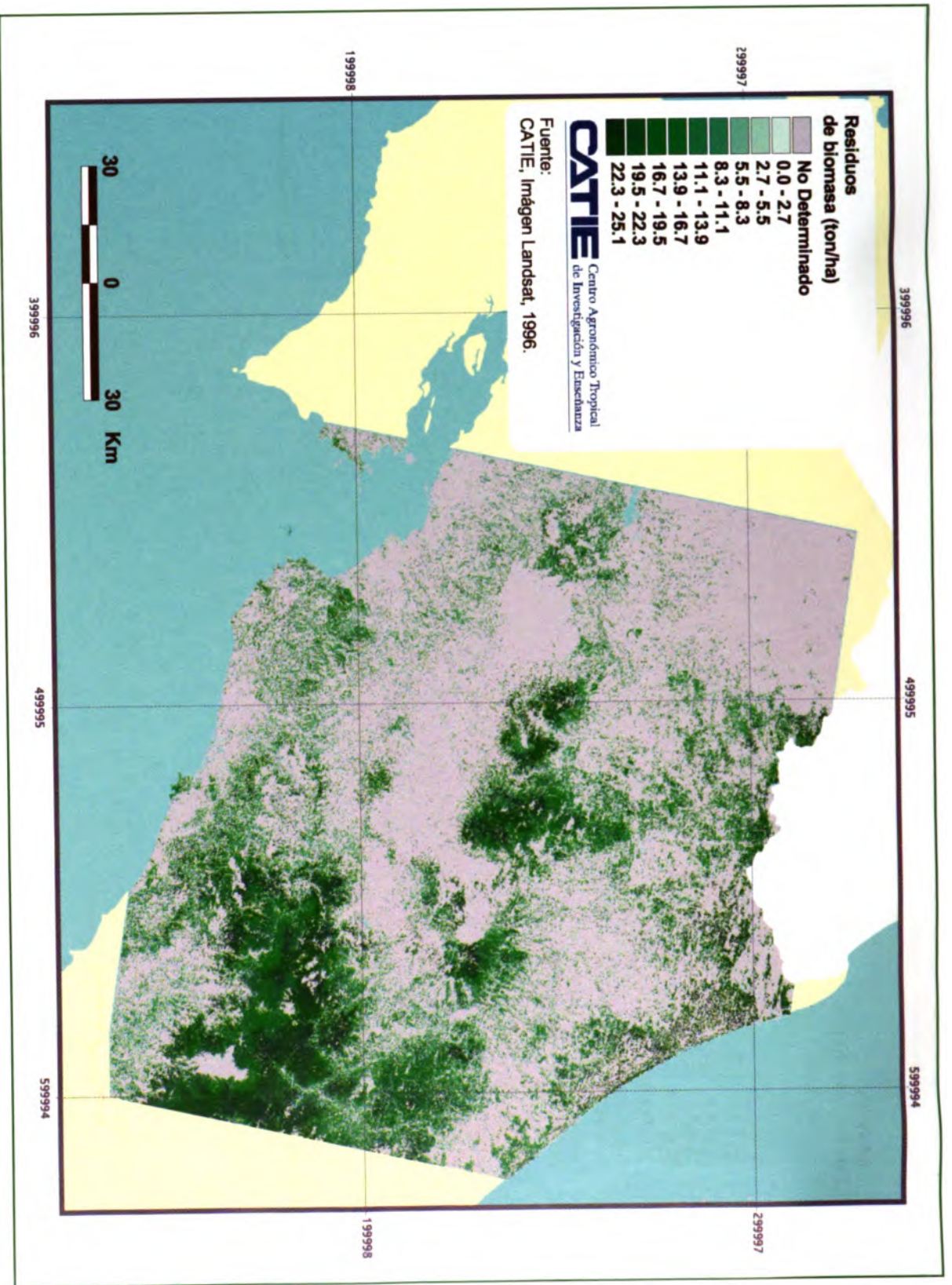


Figura 8. Mapa de residuos biomásicos forestales potenciales

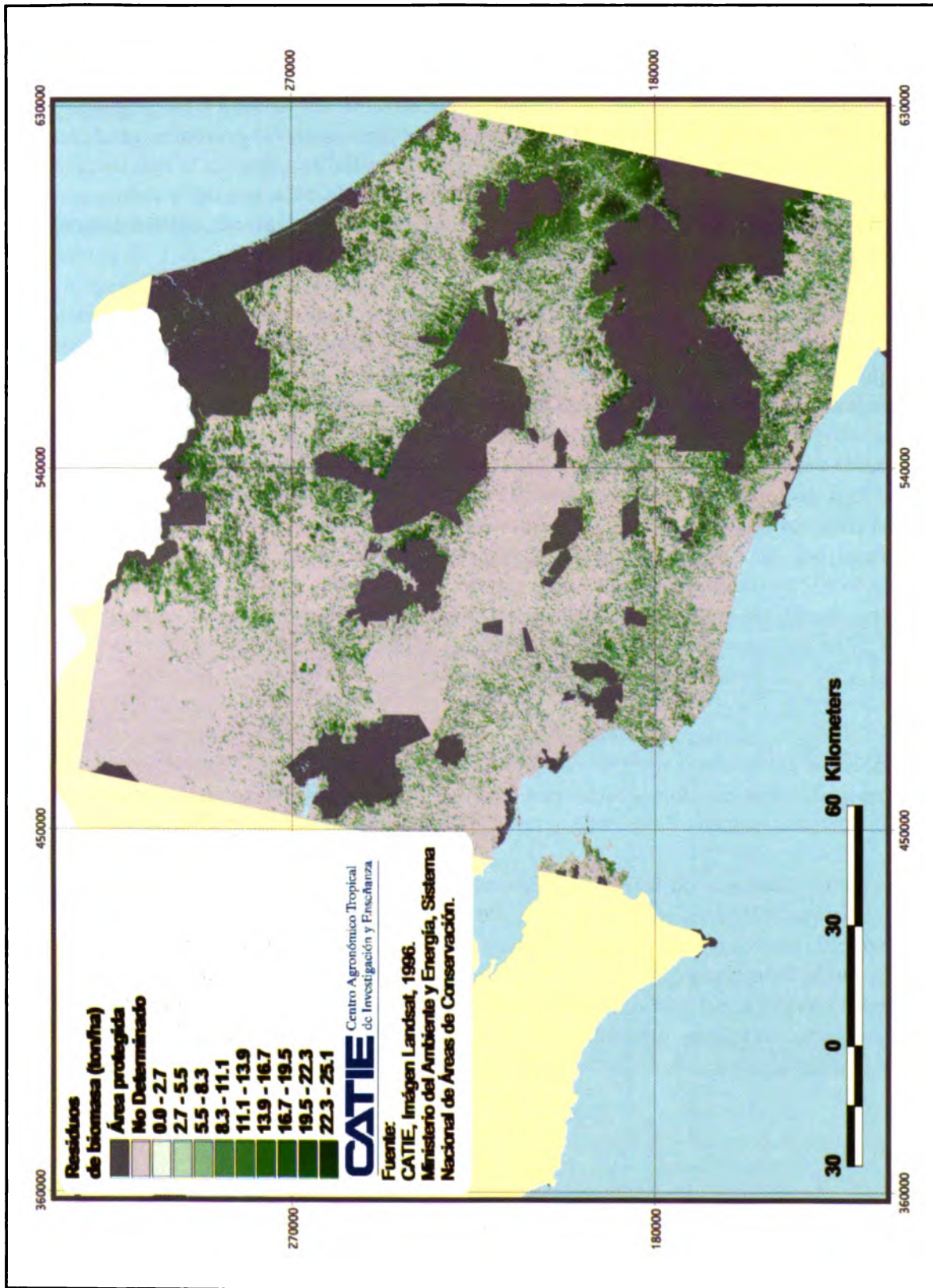


Figura 9. Mapa de residuos biomásicos forestales potenciales y categorías de protección para Costa Rica

Aunque las áreas forestales presentan el potencial más alto de residuos biomásicos, se debe tomar en cuenta que estas áreas se encuentran en gran proporción bajo alguna categoría de protección que no permite su aprovechamiento. En el caso de cultivos, aquellos con grandes extensiones (caña de azúcar, café, banano y palma aceitera) presentan producciones totales significativas de residuos biomásicos (Fig. 2). La caña de azúcar es la que tiene mayor potencial en términos de residuos producidos, seguida por la piña, banano y palma aceitera. La menor producción de residuos se obtiene del café y árboles frutales -el cultivo de la naranja es representativo de esta categoría (Fig. 4).

Los residuos biomásicos resultantes de aprovechamientos forestales presentan gradientes importantes de acuerdo a las etapas sucesionales y de explotación factible (Fig. 5), destacándose que dentro de una misma categoría de bosque pueden haber variaciones en la producción de residuos según la zona de vida en la que se encuentre.

A partir del mapa regional presentado, es posible obtener información relativa a los totales de residuos disponibles en dicha región. El Cuadro 3 (Anexo 2) presenta parte de la información para los residuos biomásicos disponibles en la región comprendida por el mapa; se identifican, por ejemplo, un total de 1.345.000 toneladas de residuos de caña de azúcar en un área de 46.632 ha (incluye residuos como bagazo y potencial de residuo verde de campo, si no se quemara); 62.299 toneladas de residuos de palma aceitera en un área de 15.974 ha y entre 63.738 y 212.805 toneladas de residuos de café en un área de 205.609 ha (incluye cascarillas y pulpa, según el impacto de rango detectado en productividad a nivel de la región).

Los Cuadros 4 y 6 (Anexo 2) presentan información referente a las estimaciones de residuos potenciales de los distintos tipos de bosques del país, bajo un escenario hipotético de explotación, contrastándose el valor de dicho potencial entre el potencial bruto (considerando toda el área forestal de la región) y el potencial donde la intervención forestal podría ser factible.

El análisis realizado en forma académica permite comparar los potenciales biomásicos hipotéticos que podrían generarse de la explotación forestal en esta zona; se reconoce la complejidad inherente al tema de explotaciones forestales en el mosaico de un país. Un análisis más profundo deberá considerar las restricciones así como los instrumentos de promoción al desarrollo forestal existentes o futuros. La plataforma de análisis planteada permite a tomadores de decisión explorar el impacto de sus decisiones sobre la base espacial del país.

6 Una aplicación: el cantón de Guácimo

Para generar el inventario de recursos biomásicos del cantón de Guácimo se tomaron los datos del mapa de residuos biomásicos de la región central de Costa Rica y se calculó la cantidad de residuos de origen forestal y agrícola en el área siguiendo el procedimiento metodológico de la sección 5. Los cálculos de residuos forestales aparecen en los Cuadros 1 y 2; en el Cuadro 3 se presentan los correspondientes a las actividades agrícolas. Los residuos biomásicos totales del cantón de Guácimo se presentan en tres mapas en la Fig. 10.

Los residuos biomásicos forestales del cantón se calcularon primero como el total de residuos biomásicos proveniente de actividades de aprovechamiento forestal, incluyendo áreas bajo categorías de protección (Cuadro 1). Para hacer un análisis más realista, se excluyeron las áreas bajo categorías de protección, las cuales aparecen en el Cuadro 2.

Cuadro 1.

Inventario de residuos biomásicos de actividades forestales hipotéticas (ton/ha) en el cantón de Guácimo, 1996

Zona de Vida/ Cobertura forestal	Bht secundario inicial	Bosque montano secundario inicial	Bht secundario intermedio	Bosque enano montano	Bosque montano secundario avanzado, Bht secundario avanzado, Bht intervenido	Bht primario, Bosque montano primario
Bosque pluvial montano, Bosque pluvial premontano	127	19	2.346	0	17.546	73.182
Bosque muy húmedo premontano	2.623	0	7.692	0	46.012	11.018
Bosque pluvial montano bajo	2	490	50	138	1.368	47.053
Bosque muy húmedo tropical	1.884	0	9.345	0	62.732	27.290

Bht: Bosque húmedo tropical

Cuadro 2.

Inventario de residuos biomásicos de actividades forestales hipotéticas (ton/ha) fuera de las áreas bajo protección en el cantón de Guácimo, 1996

Zona de Vida/ Cobertura forestal	Bht secundario inicial	Bosque montano secundario inicial	Bht secundario intermedio	B enano montano	Bosque montano secundario avanzado, Bht secundario avanzado, Bht intervenido	Bht primario, B montano primario
Bosque pluvial montano, Bosque pluvial premontano	115	0	1.803	0	12.356	14.396
Bosque muy húmedo premontano	2.610	0	7.665	0	45.817	10.947
Bosque muy húmedo tropical	1.853	0	8.717	0	55.363	21.863

Bht: Bosque húmedo tropical

Cuadro 3.

Inventario de residuos biomásicos de actividades agrícolas y reforestación en el cantón de Guácimo, 1996

Uso del suelo	Producción (ton/ha)	Proporción de residuos biomásicos (%) ²	Residuos biomásicos (ton/ha)	Promedio residuos biomásicos (ton/ha)	Área por categoría de uso del suelo (ha)	Residuos biomásicos totales (ton)
Cultivos anuales	NA*	-	-	-	57,0	-
Caña de azúcar	96,15 ³	30,0	28,8	28,8	22,0	634,0
Piña	60,0-120,0 ⁴	5,0	3,0-6,0	4,5	46,0	207,0
Bambú	87,0	NA*	-	-	467,0	-
Agricultura mixta	NA*	-	-	-	1.050,0	-
Banano	22,1-40,0 ⁵	15,0	3,3-6,0	4,6	6.058,0	27.867,0
Árboles frutales o nueces	0,41-0,47 ⁶	50,0 ⁸	0,2-0,24	0,2	2.597,0	519,0
Café	0,69-2,3 ⁵	45,5	0,31-1,03	0,7	1021,0	715,0
Palma aceitera	6-25 ⁷ (racimos)	42,0 ⁹	2,52-10,5	6,51	3,0	20,0
Reforestación ¹	68,0-150,0	3,3-12,1 ¹⁰	5,2-11,5	8,4	2.362,0	19.841,0

* No aplica: debido a la diversidad factible en esta categoría y a la información disponible, la misma no es considerada.

¹ Se incluye la reforestación en este cuadro de actividades agrícolas ya que quedan fuera del análisis en que se discriminan las áreas protegidas.

² Coto, O. 2004. Especialista en bioenergía. Grupo Cambio Global, CATIE. Comunicación personal.

³ Imbach *et al.* 2004.

⁴ Quesada 1994. Variación entre 18 y 88 meses.

⁵ Montero, JC. 2004. Productor costarricense de café y banano. Sarapiquí. Comunicación personal.

⁶ Para una plantación de 13 años. Promedio calculado del promedio de peso de la fruta y el número de frutas por hectárea (MAG/DRHN 1989, SEPSA 1995, respectivamente).

⁷ Castro 1994. Ciclo de vida del cultivo entre 18 y 24 meses.

⁸ Corresponde a cítricos en general.

⁹ Lacrosse y Mathias 1999.

¹⁰ Del contenido de carbono en los residuos bajo diferentes estrategias de manejo forestal (Bámaca Figueroa 2002).

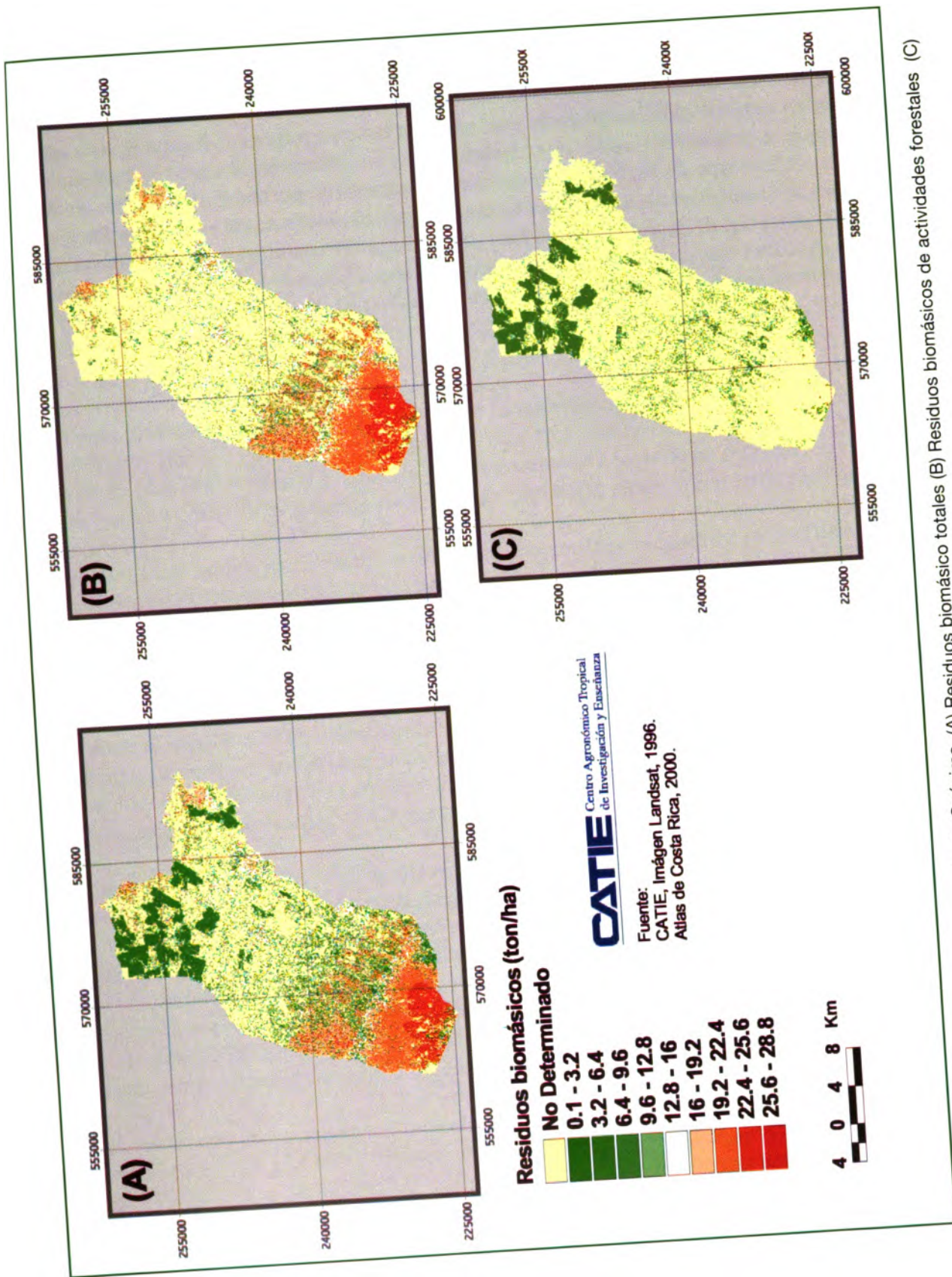


Figura 10. Residuos biomásicos en el cantón de Guacimo. (A) Residuos biomásicos totales (B) Residuos biomásicos de actividades agrícolas (C) Residuos biomásicos de actividades forestales

El mayor potencial de residuos biomásicos del cantón proviene del posible aprovechamiento forestal, incluso si se excluyen las áreas protegidas. Esta afirmación, sin embargo, considera la explotación completa de las áreas con cobertura forestal, lo cual es un supuesto que requiere una investigación más profunda que considere otros aspectos económicos y sociales de este tipo de explotación. En segundo lugar de importancia significativa están los residuos biomásicos provenientes del banano y de actividades de reforestación. Para considerar el potencial de explotar los residuos provenientes de cualquiera de estas actividades se deben evaluar otros criterios tanto económicos y sociales como de manejo de los cultivos y reglamentaciones referentes a la explotación forestal.

7 | Conclusiones

Este trabajo representó un primer esfuerzo por ubicar el recurso biomásico así como sus residuos basándose en información geográfica disponible en el país. Utilizando una plataforma de Sistemas de Información Geográfica, se han presentado una serie de mapas relativos a la dimensión espacial de la biomasa en el país, tomando en cuenta las características de la información geográfica así como de fuentes bibliográficas secundarias. La información geográfica generada consiste de: un mapa nacional de biomasa, un mapa de biomasa de la región central de Costa Rica y mapas de residuos biomásicos para la región central de Costa Rica y un caso específico para el cantón de Guácimo, presentado como ejemplo de aplicación de la herramienta.

Los resultados obtenidos se convierten en un apoyo para distintos tipos de “actores” así como para tomadores de decisión interesados en la visibilización de la biomasa y la bioenergía en el país. Siendo la biomasa un recurso que está muy relacionado al manejo del uso del suelo de un país, la descripción geográfica de este recurso se convierte en un paso fundamental para poder incorporar esta fuente energética en la planificación y la estructuración de políticas sectoriales relevantes. Desde la perspectiva de la contribución al desarrollo sostenible, este primer paso facilita poner en contexto distintos elementos requeridos para el desarrollo de una senda de participación de la bioenergía.

El desarrollo de estos mapas requirió de distintos enfoques metodológicos que al ser implementados junto con el sistema de información geográfico permite tener una primera aproximación de los inventarios de biomasa y sus residuos para la información geográfica disponible al año 1996-1997. Aún cuando en este trabajo se presenta una serie de mapas, es conveniente mencionar que el sistema de información geográfica utilizado permite a los usuarios establecer relaciones entre variables disponibles en ese mismo formato, convirtiéndolo en una herramienta poderosa para los distintos tipos de interesados.

El trabajo realizado está fundamentado en una revisión de literatura referente a los contenidos de biomasa asociados a distintas categorías de cobertura de la tierra, de tipo agrícola así como forestal. En el documento se describen los supuestos que conducen a la generación de categorías y selección de rangos representativos de la biomasa en el país. Se presentan además las consideraciones necesarias que permiten la determinación de totales de residuos de biomasa para la región central del país, así como para un cantón de Guácimo. Los supuestos y consideraciones utilizados en el desarrollo metodológico de este trabajo son adecuados a la escala de interés nacional y regional del mismo.

Los resultados presentados son indicativos y dependientes de la información geográfica disponible en el país a la fecha. Existen amplios espacios para adecuar la información geográfica a los objetivos de un estudio más detallado, tanto en el ámbito de las categorías de cobertura geográfica generadas así como de información de campo referente a las actividades con potencial de producción de residuos biomásicos.

Nuevos esfuerzos en la generación de información geográfica deben responder a las necesidades particulares de estudios de este tipo, dada la importancia que este tema tiene para el desarrollo en Costa Rica. A nivel nacional se deberá tratar de reducir algunos de los vacíos de información geográfica existentes en el país (áreas del país no clasificadas en su cobertura de la tierra), así como lograr categorías de cobertura de la tierra desagregadas (actualmente solo disponibles para la región central del país).

A nivel sub-nacional la discusión puede enfocarse en identificar y valorar zonas con vocación bioenergética para así generar nueva información geográfica relevante para la toma de decisiones de inversión, y determinación de las relaciones sociales y ambientales asociadas al uso del suelo y la producción de bioenergía. De la misma manera y con interés de precisar información nacional del tipo de actividades agrícolas y forestales con potencial de residuos biomásicos se podrían realizar evaluaciones y estudios de campo más precisos sobre rendimientos, cantidades de residuos por unidad de área así como características energéticas específicas de los tipos de biomasa en el país.

Bibliografía

- Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuvelodp, J; Enríquez, GA; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I Biomasa y reservas nutritivas. *Revista Turrialba* 35(3): 233-242.
- Bámaca Figueroa, EE. 2002. Dinámica del carbono en los residuos forestales producidos durante el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 75 p.
- Beer, J; Bonnemann, A; Chavez, W; Fassbender, HW; Imbach, AC; Martel, I. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. *Agroforestry Systems* no. 12: 229-249.
- BIOSIT. 2003. A GIS based methodology for sustainable and efficient exploitation of biomass for energy use. ETA, DEART, Departamento di Energetica. 25 p.
- Castro, Z. 1994. Cultivo de la piña. En Enríquez, G. (ed). Atlas Agropecuario de Costa Rica. San José, Costa Rica. EUNED. p 193-204.
- Duke, JA. 1983. Handbook of Energy Crops. Consultado 29-Set-2004. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Saccharum_officinarum.html
- FAO/CCAD. 2003. Costa Rica frente al cambio climático. Serie Centroamericana de Bosques y Cambio Climático.
- Guzmán, P; Cordero, A; Mata, R. 1996. Respuesta del arroz a seis fuentes de nitrógeno bajo anegamiento. In ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva? Bertsch, F; Badilla, W; García, J. (eds). Memoria. Tercer Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. Segundo Congreso Nacional de Fitopatología. Congreso Nacional de Suelos. San José (Costa Rica) 8-12 Jul 1996. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatólogos. San José, Costa Rica, EUNED/EUNA. v. 1. 240 p.
- Henon, I; Dolmat, MT. 2003. Physiological analysis of an oil palm density trial on a peat soil. *Journal of Oil Palm Research* 15(2):1-27.
- Holmann, F; Estrada, R. 1997. Alternativas agropecuarias en la región pacífico central de Costa Rica: Un modelo de simulación aplicable a sistemas de doble propósito. In Lascano, CE; Colman, F. (eds). Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Cali, Colombia, CIAT. p. 138.
- Imbach, P; Salinas, Z; Pedroni, L. 2004. Cultivation practices, varieties, yields and pest management of main crop types in the Central Volcanic Mountain Range Conservation Area (AACVC) and in the Turrialba watershed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Decision Support System for Sustainable Ecosystem Management in Atlantic Rain Forest Rural Areas (ECOMAN). Draft Report. 42 p.
- Instituto Meteorológico Nacional / Gobierno Holandés. 1999. Estimación preliminar del carbono almacenado en los bosques de Costa Rica. San José, Costa Rica, MINAE. 49 p.
- Lacrosse, L; Mathias, AJ. 1999. Biomass Cogeneration in ASEAN: GHG Mitigation Potential and barriers. UNIDO Expert Group Meeting on Industrial Energy Efficiency, Cogeneration and Climate Change proceedings. Viena. 206 p.
- MAG/DRHN. 1989. Análisis de la naranja en la Región Huetar Norte. Comité Sectorial Agropecuario, Región Huetar Norte. 12 p.
- Mattos, D; Quaggio, JA; Cantarella, H; Alva, KA. 2003. Nutrient content of biomass components of Hamlin Sweet orange trees. *Scientia Agricola* 60(1):155-160.
- Meléndez, G; Briceño, J; Amador, M; Ocampo, R. 1997. El sistema de frijol tapado y la biodiversidad vegetal. En Seminario sobre biodiversidad vegetal y manejo local. Alvarez, O; Becerra, C; Ugalde, R. (Eds). Instituto para el Desarrollo y la Acción Social (IDEAS). p. 59-69.
- Mora Urpí, J; Gainza Echeverría, J. (Eds). 1999. Palmito de pejobaye [*Bactris gasipaes* Kunth]: su cultivo e industrialización. San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 260 p.
- OLADE / IICA. 1988. Evaluación preliminar del potencial bioenergético de América Latina y el Caribe: Costa Rica. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 31 p.
- Pérez, H; Duarte, J; Pezo, D; Arze, F; Romero, F; Argel, P. 1994. Producción de maíz (*Zea mays* L.), soya (*Glycine max* L.) y caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sembrados en asocio con pastos en el trópico húmedo. Turrialba. 18 p. será la revista???
- PROARCA/CAPAS. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) por los bosques de Costa Rica. Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA), Central American Protected Area System (CAPAS). 50 p.
- Quesada, G. 1994. Cultivo de palma africana. En: Atlas Agropecuario de Costa Rica. Enríquez, G. (ed). San José, Costa Rica, EUNED. p 255-266.
- Riaño, NM; Londoño, X; López, Y; Gómez, JH. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca - Colombia. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 43-51.
- Romero Coto, A. 1973. Nutrición mineral de la piña cultivada en el campo vs. producción y calidad de la fruta. Tesis Ing. Agrónomo. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 63 p.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario (SEPSA). 2004. Boletín Estadístico No. 12. www.mideplan.go.cr/Sides/ambiental/21-5.html
- Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario (SEPSA). 1985. Los cítricos en Costa Rica. San José Costa Rica, SEPSA. 170 p.
- Soto, M. 1995. Bananos: cultivo y comercialización. 2 ed. San José, Costa Rica, casa editora??.
- UNME. año?? Energías renovables: descripción, tecnologías y usos finales. Bogotá, Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética. 47 p.
- United States Department of Energy. 2003. Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow. U.S. Department of Energy. 89 p. Revisado 20-feb-2005. <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioProductsOpportunitiesReportFinal.pdf>

Anexos

Anexo 1

Información de referencia para los cálculos de biomasa y residuos biomásicos

Cuadro 1.

Biomasa aérea en las categorías de uso del suelo de Costa Rica (1996)

Uso del suelo (1996/97)	Biomasa (ton/ha)	Clase	Fuente
Bosque primario	170,76-326,2	Alta	PROARCA/CAPAS 1998
Bosque secundario	85,38-163,1	Alta	PROARCA/CAPAS 1998
Charral/tacotal	10,0	Baja	PROARCA/CAPAS 1998
Cultivos anuales	20,0	Baja	Anexo 1, Cuadro 2
Cultivos perennes	40,0	Media	Anexo 1, Cuadro 2
Pasturas	0,87-5,0	Baja	Holmann y Estrada 1997
Uso mixto	9,4-104,8	Mixta	del rango de valores de los cultivos (Anexo 1, Cuadro 2)
Áreas urbanas	Muy baja	Muy baja	Opinión experta
Áreas quemadas	Muy baja	Muy baja	Opinión experta
Páramo	20,0	Baja	IMN / Gob. Holandés 1999*
Manglar	229,5	Alta	PROARCA/CAPAS 1998
Humedal	Mixta	Mixta	Rojas <i>et al.</i> 2003
Suelos expuestos	Muy baja	Muy baja	Opinión experta
Cuerpos de agua, nubes/sombras	0,0	ND	

* Se supone un contenido de 10 toneladas de carbono por hectárea convertidas a biomasa usando un factor de conversión de 0,5 t C/t biomasa.

Cuadro 2.

Contenido de materia seca en los principales cultivos de Costa Rica (más de 10.000 ha sembradas en 1996)

Cultivo	Materia seca (ton/ha)	Tipo de cultivo	Fuente
Banano	27,5-31,3	Perenne	Soto 1995
Frijol	9,41-9,51	Anual	Meléndez <i>et al.</i> 1997
Maíz	11,18	Anual	Pérez <i>et al.</i> 1994
Café (sin sombra)	38,0	Perenne	Alpízar <i>et al.</i> 1985
Café (sombra)	39,06-41,53	Perenne	Alpízar <i>et al.</i> 1985
Cacao	104,8	Perenne	Beer <i>et al.</i> 1990
Arroz	16,0-17,5	Anual	Guzmán <i>et al.</i> 1996
Naranja	8,4**	Perenne	Mattos <i>et al.</i> 2003
Palma aceitera	41,8-73,6	Perenne	Henon y Dolmat 2003
Caña de azúcar	35,0	Anual	Duke 1983

** Árboles de seis años de edad.

Cuadro 3.

Potencial de biomasa por zona de vida en Costa Rica

Nombre	Biomasa (ton/ha)
Bosque húmedo montano bajo	170,7
Bosque húmedo premontano	218,6
Bosque húmedo tropical	281,5
Bosque muy húmedo montano	271,7
Bosque muy húmedo montano bajo	326,2
Bosque muy húmedo premontano	275,8
Bosque muy húmedo tropical	324,1
Bosque pluvial montano	254,0
Bosque pluvial montano bajo	295,1
Bosque pluvial premontano	253,9
Bosque seco tropical	198,1
Páramo pluvial subalpino	20,0*

Fuente: PROARCA/CAPAS 1998

* IMN / Gob. Holandés 1999

Cuadro 4. Área (ha) de cada cobertura forestal por zona de vida en el área comprendida en el mapa de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica. 1996.

Zona de vida/ Cobertura forestal	Bht' primario	Bht intervenido	Bht secundario inicial	Bht secundario intermedio	Bht secundario avanzado	Bosque montano primario	Bosque montano secundario inicial	Bosque montano secundario avanzado	Bosque montano secundario avanzado
Parámo pluvial subalpino	0	0	0	0	0	198	2	6	0
Bosque húmedo montano bajo	731	704	18	19	38	574	2.566	519	3
Bosque seco tropical	3	6	0	21	4	0	0	0	0
Bosque húmedo premontano	825	1.038	347	3.261	817	27	400	30	0
Bosque pluvial montano y premontano	73.541	1.4512	2.865	12.915	16.879	54.118	3.773	3.635	1.121
Bosque muy húmedo montano	2	1	0	0	0	288	183	216	12
Bosque muy húmedo premontano	31.732	32.829	13.049	36.667	44.208	68	837	61	0
Bosque húmedo tropical	1.550	6.598	1.782	15.824	7.056	0	0	0	0
Bosque pluvial montano bajo	62.975	6.450	233	1.077	1.229	54.287	8.252	3.911	560
Bosque muy húmedo tropical	66.987	47.348	18.610	26.440	55.113	0	0	0	0
Bosque muy húmedo montano bajo	7.980	4.217	165	345	553	13.997	11.045	3.761	84

¹ Bht: Bosque húmedo tropical

Anexo 2

Cálculos de biomasa y residuos biomásicos

Cuadro 1.

Cobertura del suelo y contenido de biomasa de las categorías presentes en el mapa de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica (1996)

Uso del suelo	Biomasa (ton/ha)	Promedio (ton/ha)	Ha'	Fuente
Potreros	0,87-5,0	2,9	586.581	Holmann y Estrada 1997
Cultivos anuales	1,2-39,1	20,15	13.121	Anexo 1, Cuadro 1
Suelo agrícola arado	NA*	-	24.485	-
Caña de azúcar	35,0	35,0	46.632	Duke 1983
Ornamentales	Bajo potencial	Bajo potencial	1.908	Opinión experta
Piña	89,4-110,1 ²	20,0 ³	3.559	Coto 1973
Sarán	Bajo potencial	Bajo potencial	2.404	Opinión experta
Agricultura mixta	NA*	-	8.232	-
Bambú	87,0	87,0	2.710	Riaño, <i>et al.</i> 2002 ⁴
Banano	27,5-31,3	29,4	44.875	Soto 1995
Árboles frutales	104,8 ⁵	104,8	56.190	Opinión experta
Café	38,0-41,53	39,7	205.609	Alpizar <i>et al.</i> 1985
Palma africana	41,8-73,6	57,7	15.974	Henon y Dolmat 2003
Pejibaye	21,2	21,2	6.187	Urpí y Echeverría 1999
Bht primario	100% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	270.554	PROARCA/CAPAS 1998
Bht intervenido	70% de la zona de vida e	Anexo 1, Cuadro 4	114.813	PROARCA/CAPAS 1998
Bht secundario inicial	10% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	37.158	PROARCA/CAPAS 1998
Bht secundario intermedio	30% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	96.801	PROARCA/CAPAS 1998
Bht secundario avanzado	70% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	127.124	PROARCA/CAPAS 1998
Bosque pantanoso (yolillo)	Bajo potencial	Bajo potencial	32.590	Opinión experta
Reforestación	68,0-150,0 ⁶	109,0	92.739	PROARCA/CAPAS 1998
Bosque montano primario	100% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	123.558	PROARCA/CAPAS 1998
Bosque montano secundario inicial	20% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	27.058	PROARCA/CAPAS 1998

Continua...

Continuación...

Uso del suelo	Biomasa (ton/ha)	Promedio (ton/ha)	Ha ¹	Fuente
Bosque montano secundario avanzado	70% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	12.138	PROARCA/CAPAS 1998
Bosque enano montano	50% de la zona de vida	Anexo 1, Cuadro 4	1.779	PROARCA/CAPAS 1998
Sucesión primaria en deslizamientos	Bajo potencial	Bajo potencial	6.717	Opinión experta
Manglar	Bajo potencial	Bajo potencial	8.039	Opinión experta
Páramo subalpino	Bajo potencial	Bajo potencial	9.965	Opinión experta
Suelo descubierto	Bajo potencial	Bajo potencial	18.977	Opinión experta
Áreas urbanas	Bajo potencial	Bajo potencial	21.906	Opinión experta
Agua	0	0	543.980	-
Nubes	NA*	-	435.717	-
Sombras	NA*	-	107.977	-

* No aplica: debido a la diversidad factible en esta categoría y a la información disponible, la misma no es considerada.

¹ Según mapa de cobertura de la tierra (1996)

² Materia húmeda

³ Se asumió un contenido de agua del 80%

⁴ Estimado para 400 cepas/ha

⁵ La naranja y la macadamia son los cultivos más comunes en esta categoría¹. Se asumen contenidos similares a los del cacao en esta categoría debido a que es un árbol de tamaño similar al de naranja o macadamia y con escasa cobertura del suelo bajo condiciones de cultivo

⁶ Promedio calculado para una plantación de diez años con diferentes especies.

¹ Lucio Pedroni, Grupo Cambio Global, CATIE. Comunicación personal. 2005

Cuadro 2.

Biomasa (ton/ha) de los tipos de cobertura forestal en cada zona de vida para la categorías del mapa de cobertura de la tierra de la región central de Costa Rica. 1996

Zona de Vida/Tipo de cobertura forestal	Bht' primario (100) ²	Bht intervenido (70) ²	Bht secundario inicial (10) ²	Bht secundario intermedio (30) ²	Bht secundario avanzado (70) ²	Bosque montano primario (100) ²	Bosque montano secundario inicial (20) ²	Bosque montano secundario avanzado (70) ²	Bosque enano montano (50) ²
Páramo pluvial subalpino	20,0	14,0	2,0	6,0	14,0	20,0	4,0	14,0	10,0
Bosque húmedo montano bajo	170,7	119,5	17,1	51,2	119,5	170,7	34,1	119,5	85,4
Bosque seco tropical	198,1	138,7	19,8	59,4	138,7	198,1	39,6	138,7	99,1
Bosque húmedo premontano	218,6	153,0	21,9	65,6	153,0	218,6	43,7	153,0	109,3
Bosque pluvial montano y premontano	254,0	177,8	25,4	76,2	177,8	254,0	50,8	177,8	127,0
Bosque muy húmedo montano	271,7	190,2	27,2	81,5	190,2	271,7	54,3	190,2	135,9
Bosque muy húmedo premontano	275,8	193,1	27,6	82,7	193,1	275,8	55,2	193,1	137,9
Bosque húmedo tropical	281,5	197,1	28,2	84,5	197,1	281,5	56,3	197,1	140,8
Bosque pluvial montano bajo	295,1	206,6	29,5	88,5	206,6	295,1	59,0	206,6	147,6
Bosque muy húmedo tropical	324,1	226,9	32,4	97,2	226,9	324,1	64,8	226,9	162,1
Bosque muy húmedo montano bajo	326,2	228,3	32,6	97,9	228,3	326,2	65,2	228,3	163,1

¹ Bosque húmedo tropical

² Porcentaje de perturbación

Cuadro 3.

Estimación del potencial de residuos biomásicos de actividades agrícolas y reforestación en el área comprendida en el mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica. 1996

Uso del suelo	Productividad (ton/ha)	Proporción de residuos (%) ¹	Residuos (ton/ha/año)	Promedio de rangos de residuos (ton/ha/año)	Área (ha)	Total de residuos (ton)
Cultivos anuales	NA*	-	-	-	13.121	-
Caña de azúcar	96,15 ²	30,0	28,8	28,8	46.632	1.345.100
Piña	60-120 ³	5,0	3,0-6,0	4,5	3.559	16.015
Bambú	87,0	NA*	-	-	2.710	-
Agricultura mixta	NA*	-	-	-	8.232	-
Banano	22,1-40,0 ⁴	15,0	3,3-6,0	4,6	44.875	148.087-269.250
Árboles frutales o nueces	0,41-0,47 ⁵	50,0 ⁶	0,2-0,24	0,2	56.190	11.238-13.204
Café	0,69-2,3 ⁴	45,5	0,31-1,03	0,7	205.609	63.738-212.805
Palma aceitera	6,0-25,0 ⁷ (racimos)	42,0 ⁸	2,52-10,5	6,51	15.974	62.299
Bht primario	100 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	270.554	Anexo 2, C. 2 y 3
Bht intervenido	70 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	114.813	Anexo 2, C. 2 y 3
Bht secundario inicial	10 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	37.158	Anexo 2, C. 2 y 3
Bht secundario intermedio	30 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	96.801	Anexo 2, C. 2 y 3
Bht secundario avanzado	70 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	127.124	Anexo 2, C. 2 y 3
Reforestación	68,0-150,0	3,3-12,1 ⁹	5,2-11,5	8,4	92.739	779.008
Bosque montano primario	100 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	123.558	Anexo 2, C. 2 y 3
Bosque montano secundario inicial	20 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	27.058	Anexo 2, C. 2 y 3
Bosque montano secundario avanzado	70 % de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	12.138	Anexo 2, C. 2 y 3
Bosque enano montano	50% de zona de vida	3,3-12,1 ⁹	7,7 % de la zona de vida	7,7 % de zona de vida	1.779	50% de zona de vida

* NA: No aplica debido a diversidad factible en esta categoría.

¹ Coto, O. 2004. Especialista en bioenergía. Grupo Cambio Global, CATIE. Comunicación personal.

² Imbach et al. 2004.

³ Quesada 1994. Variación entre 18 y 88 meses.

⁴ Montero, JC. 2004. Productor costarricense de café y banano. Sarapiquí. Comunicación personal.

⁵ Para una plantación de 13 años. Promedio calculado del promedio de peso de la fruta y número de frutas por hectárea (MAG/DRHN 1989 y SEPSA 1995, respectivamente).

⁶ Corresponde a cítricos en general.

⁷ Castro 1994. Ciclo de vida del cultivo entre 18 y 24 meses.

⁸ Lacrosse y Mathias 1999.

⁹ Del contenido de carbono en los residuos bajo diferentes estrategias de manejo forestal (Bámaca Figueroa 2002).

Cuadro 4.

Inventario de residuos biomásicos provenientes de un aprovechamiento hipotético en categorías de manejo forestal para el área comprendida en el mapa de cobertura de la tierra en la región central de Costa Rica (ton).

Zona de vida/Tipo de cobertura forestal	Bht ¹ primario (100) ²	Bht intervenido (70) ²	Bht secundario inicial (10) ²	Bht secundario intermedio (30) ²	Bht secundario avanzado (70) ²	Bosque montano primario (100) ²	Bosque montano secundario inicial (20) ²	Bosque montano secundario avanzado (70) ²	Bosque enano montano (50) ²
Páramo pluvial subalpino	0	0	0	0	0	278	1	5	0
Bosque húmedo montano bajo	8.738	5.890	21	68	317	6.856	6.132	4.343	16
Bosque seco tropical	47	60	0	87	39	0	0	0	0
Bosque húmedo premontano	12.618	11.116	530	14.970	8.747	411	1.224	317	0
Bosque pluvial montano y premontano	1.307.558	180.615	5.094	68.889	210.074	96.2216	13.418	45.240	9.964
Bosque muy húmedo montano	37	9	0	3	0	5.486	694	2.871	110
Bosque muy húmedo premontano	612.626	443.658	25.199	212.366	597.437	13.172	3.234	831	1
Bosque húmedo tropical	30.545	91.004	3.511	93.542	97.329	0	0	0	0
Bosque pluvial montano bajo	1.300.869	93.266	481	6.676	17.771	1.121.411	34.092	56.560	5.784
Bosque muy húmedo tropical	1.519.732	751.926	42.221	179.956	875.244	0	0	0	0
Bosque muy húmedo montano bajo	182.225	67.404	376	2.364	8.839	319.606	50.441	60.109	963

¹ Bosque húmedo tropical

² El número entre paréntesis indica la fracción de biomasa de la zona de vida que se considera para cada cobertura de suelo

Cuadro 5.

Potencial de residuos biomásicos forestales para la región central de Costa Rica con diferentes porcentajes de madera hipotéticamente aprovechable en un ciclo de corta de 15 años (ton)

A: incluye toda la versión; B: no incluye áreas bajo alguna categoría de protección

Porcentaje %*	(A) (ton)	(B) (ton)
10	78.707	36.715
20	157.414	73.430
30	236.120	110.145
40	314.827	146.861
50	393.534	183.576
60	472.241	220.291
70	550.948	257.006
80	629.654	293.721
90	708.361	330.436
100	787.068	367.151

* comercialmente aprovechable

A. Total de residuos biomásicos de actividades forestales = 11.806.018 toneladas

Total de residuos biomásicos por año = 787.067 t (total/15 años)

B. Total de residuos biomásicos de actividades forestales = 5.507.269 toneladas

Total de residuos biomásicos por año = 367.151 t (total/15 años)

Cuadro 6.

Inventario de residuos biomásicos provenientes de un aprovechamiento hipotético en categorías de manejo forestal sin considerar áreas bajo alguna categoría de protección para el área comprendida en el mapa de cobertura de la razón central de Costa Rica, 1996 (ton)

	Bht ¹ primario (100) ²	Bht intervenido (70) ²	Bht secundario inicial (10) ²	Bht secundario intermedio (30) ²	Bht secundario avanzado (70) ²	Bosque montano primario (100) ²	Bosque montano secundario inicial (20) ²	Bosque montano secundario avanzado (70) ²	Bosque montano secundario avanzado (70) ²
Bosque húmedo montano bajo	7.233	4.777	14	63	290	6.338	5.539	4.180	16
Bosque seco tropical	36	56	0	83	35	0	0	0	0
Bosque húmedo premontano	8.288	10.205	523	13.654	7.883	374	1.067	299	0
Bosque pluvial montano y premontano	449.432	84.612	3.252	41.185	129.876	62.829	2.749	6.224	110
Bosque muy húmedo montano	25	4	0	3	0	1.531	490	1.306	12
Bosque muy húmedo premontano	437.574	393.286	24.068	195.987	525.960	1.131	2.663	664	1
Bosque húmedo tropical	27.251	85.179	3.354	88.999	90.502	0	0	0	0
Bosque pluvial montano bajo	226.820	26.997	140	2.360	6.756	78.618	9.664	14.581	115
Bosque muy húmedo tropical	629.895	600.939	37.098	155.085	696.298	0	0	0	0
Bosque muy húmedo montano bajo	94.433	49.818	303	1.673	5.944	80.182	28.375	29.732	236

¹ Bosque húmedo tropical

² El número entre paréntesis indica la fracción de biomasa de la zona de vida que se considera para cada cobertura de suelo

Autores: Pablo Imbach
Oscar Coto
Zenia Salinas

**Diseño de
la portada:** Wen Hsu

Fotografías: Bruno Locatelli

Diagramación: Esteban Montero
Unidad de Comunicación, CATIE



Grupo Cambio Global

El Grupo Cambio Global trabaja en los temas que se discuten en las Convenciones de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Biodiversidad, Desertificación, en el Foro de Bosques y en las cumbres mundiales sobre desarrollo sostenible. Uno de los principales objetivos del grupo es promover y facilitar la discusión científica y ética entre los actores involucrados en el manejo y uso de los recursos naturales sobre cambio global de manera que en la planificación sea posible tomar en cuenta los retos y las oportunidades que dichos cambios representan para el desarrollo sostenible de nuestras sociedades. A través de la investigación, el Grupo Cambio Global busca contribuir al desarrollo de la ciencia en los temas de cambio global y recursos naturales, facilitando el uso de dicha información por medio de actividades de educación, capacitación y asistencia técnica a los países latinoamericanos.