
desarrollo productivo

Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe

Carlos Razo
Carlos Ludeña
Alberto Saucedo
Sofía Astete-Miller
Josefina Hepp
Alejandra Vildósola



NACIONES UNIDAS



Unidad de Desarrollo Agrícola
División de Desarrollo Productivo y Empresarial
Santiago de Chile, noviembre de 2007

Este documento fue elaborado por Sofia Astete-Miller, Carlos Razo funcionarios de la Unidad de Desarrollo Agrícola y Josefina Hepp, Carlos Ludeña, Alberto Saucedo, y Alejandra Vildósola, consultores de la misma Unidad, de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El trabajo fue coordinado por Carlos Razo.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN versión impresa 10205179 ISSN versión electrónica 1680-8754

ISBN: 978-92-1323127-2

LC/L.2803-P

N° de venta: S.07.II.G.136

Copyright © Naciones Unidas, noviembre de 2007. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse al Secretario de la Junta de Publicaciones, Sede de las Naciones Unidas, Nueva York, N. Y. 10017, Estados Unidos. Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Materias primas susceptibles de ser empleadas en la producción de biocombustibles	11
1. Potencial bioenergético en América Latina y el Caribe: reseña bibliográfica	11
2. Cultivos energéticos y rendimientos de la conversión a bioetanol y biodiesel	13
3. El potencial de producción de biomasa convertida a bioetanol y biodiesel a nivel de país.....	19
II. Insumos materiales necesarios para la producción de los cultivos bioenergéticos	35
1. Consumo de fertilizantes	35
2. Consumo de agua.....	37
3. Requerimientos de otros insumos.....	38
4. Requisitos tecnológicos.....	38
III. El potencial bioenergético de la silvicultura	41
1. Producción de biomasa a partir de silvicultura	41
2. Conversión de productos de la silvicultura a combustibles líquidos	43
IV. El potencial bioenergético a partir de los residuos	45
1. Los residuos de cultivos y de la silvicultura	45
2. Rendimientos energéticos de los residuos.....	47
3. Potencial de biocombustibles a partir de residuos en América Latina.....	47
4. Tecnología y sostenibilidad de la recolección de residuos.....	49

V. El manejo post-cosecha de biomasa para la producción de biocombustibles.....	51
VI. Impactos ambientales.....	53
Conclusiones.....	57
Bibliografía.....	79
Anexos.....
Anexo 1 cuadro 1 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIOETANOL A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS DE MATERIA PRIMA.....	60
Anexo 1 cuadro 2 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIODIESEL A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS.....	61
Anexo 1 cuadro 3 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2004): DIFERENCIA ENTRE SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO Y SUPERFICIE COSECHADA ACTUAL.....	62
Anexo 1 cuadro 4 USO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO Y POR PAÍS EN AMÉRICA LATINA.....	63
Anexo 1 cuadro 5 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO PROMEDIO DE PESTICIDAS POR CULTIVO Y POR PAÍS.....	66
Anexo 1 cuadro 6 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO PROMEDIO DE HERBICIDAS POR CULTIVO Y POR PAÍS.....	67
Anexo 1 cuadro 7 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO PROMEDIO DE SEMILLAS POR CULTIVO Y POR PAÍS.....	68
Anexo 1 cuadro 8 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO DE MAQUINARIA POR CULTIVO Y POR PAÍS.....	70
Anexo 1 cuadro 9 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: REQUERIMIENTOS DE AGUA DE RIEGO POR CULTIVO Y PAÍS.....	71
NOTA TÉCNICA PARA EL CUADRO 9.....	72
Anexo 2 cuadro 1 ZONAS AGROECOLÓGICAS (ZAE) Y ÉPOCAS DE SIEMBRA DE CULTIVOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL, POR PAÍS EN AMÉRICA LATINA.....	73
Anexo 3 cuadro 1 ZONAS AGROECOLÓGICAS (ZAE) Y ÉPOCAS DE SIEMBRA DE CULTIVOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL, POR PAÍS EN AMÉRICA LATINA.....	76
Serie desarrollo productivo: números publicados.....	83
Índice de cuadros	
Cuadro 1 CULTIVOS BIOENERGÉTICOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.....	13
Cuadro 2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE CULTIVOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL.....	13
Cuadro 3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE CULTIVOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL.....	14
Cuadro 4 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS PROMEDIO POR CULTIVO Y PAÍS.....	16
Cuadro 5 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): ÁREA NECESARIA Y MÚLTIPLO DEL ÁREA ACTUAL POR CULTIVO Y PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL E5.....	24
Cuadro 6 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): ÁREA NECESARIA Y MÚLTIPLO DEL ÁREA ACTUAL POR CULTIVO Y PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL B5.....	26
Cuadro 7 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): ÁREA REQUERIDA VERSUS SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO PARA UNA MEZCLA DE ETANOL E5.....	32
Cuadro 8 ÁREA REQUERIDA VERSUS SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO PARA UNA MEZCLA DE BIODIESEL B5.....	33
Cuadro 9 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 15 PAÍSES. PROMEDIO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO.....	36

Cuadro 10	CONSUMO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO Y POR REGIÓN EN BRASIL	36
Cuadro 11	AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: REQUERIMIENTOS DE AGUA DE RIEGO POR CULTIVO	38
Cuadro 12	PRODUCCIÓN DE RECURSOS FORESTALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2005)	42
Cuadro 13	COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CULTIVO Y RENDIMIENTO DE ETANOL	47
Cuadro 14	FUENTES DE DESECHOS DE CULTIVO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (PROMEDIO 1998-2003)	48
Cuadro 15	POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE DESECHOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	49
Cuadro 16	DISPONIBILIDAD ESTIMADA DE BIOMASA A DIFERENTES NIVELES DE PRECIO	50

Índice de gráficos

Gráfico 1	PORCENTAJE DE MEZCLA POTENCIAL DE BIOETANOL EN EL CONSUMO LOCAL DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS DE PRODUCCIÓN (2003-2005)	20
Gráfico 2	PORCENTAJE DE MEZCLA POTENCIAL DE BIODIESEL EN EL CONSUMO LOCAL DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS DE PRODUCCIÓN (2003-2005)	21
Gráfico 3	MÁXIMA EXPANSIÓN POSIBLE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA (CAÑA Y MAÍZ) (1000 HAS)	28
Gráfico 4	MÁXIMA EXPANSIÓN POSIBLE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA (PALMA Y SOJA) (1000 HAS)	30

Resumen

Este documento pretende contribuir a la discusión en torno a la viabilidad de producir biocombustibles en América Latina y el Caribe. Con este propósito se identificaron los cultivos bioenergéticos más propicios para la región y se evaluó, de manera general, el potencial que los países latinoamericanos tienen para responder a un eventual incremento en la demanda por biocombustibles líquidos.

Respecto al potencial de producción de combustibles a partir de cultivos bioenergéticos, el documento aborda esencialmente tres tipos de cálculo: 1) el porcentaje de mezcla actual de bioetanol y biodiesel obtenible a partir de los excedentes de producción; 2) la superficie que habría que cultivar en cada país, para autoabastecer una mezcla del 5% de bioetanol (E5) y de biodiesel (B5) en el total del consumo de gasolina y diesel del país; 3) la superficie que es posible expandir tomando en cuenta las características agro-ecológicas y climáticas de cada país.

Los impactos en los precios de los productos agrícolas y alimentos, al igual que los impactos en la estructura agraria y en el régimen de propiedad, fueron abordados en el documento de la Serie Desarrollo Productivo N° 178 *“Biocombustible y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina”*.

Introducción

Ha habido una cierta efervescencia en el mundo y en la región respecto a la producción de biocombustibles y legislaciones que incentiven u obliguen a su uso, con el alza de los precios del petróleo en el año 2006 acompañado de una percepción de mayor vulnerabilidad en el abastecimiento por tensiones geopolíticas, al punto que para un alto número de países en la región y fuera de ella, el tema de biocombustibles está ahora en su agenda política.

Un biocombustible es aquel combustible obtenido a partir de biomasa; es decir, de materia orgánica originada en un proceso biológico, que puede emplearse como fuente directa o indirecta de energía. Dicha energía puede emplearse para diferentes fines: transporte; conversión en energía eléctrica; calefacción, etc. Este documento se concentra en los biocombustibles líquidos para actividades de transporte, más específicamente en el bioetanol y el biodiesel, cuyo objetivo es sustituir a la gasolina en el caso del bioetanol y el gasóleo o diesel en el caso del biodiesel.

América Latina tiene disponibilidad de tierra así como las condiciones climáticas necesarias para la producción de cultivos energéticos. Por ende, también tiene el potencial de satisfacer una parte importante de la demanda mundial por biocombustibles. Es por esto que el incremento en la demanda abre una oportunidad importante para el sector agrícola de la región. Más allá de los potenciales beneficios de reducción de emisiones de CO₂, la creciente demanda global por esta fuente de energía representa una nueva fuente potencial de empleo e ingreso, especialmente en zonas rurales, donde la proporción de la población que vive bajo la línea de pobreza e indigencia es mayor que en las áreas urbanas.

A lo largo de este documento se considera el potencial de los biocombustibles desde diferentes puntos de vista, partiendo por los excedentes de producción actuales hasta estimaciones si se expandiera la frontera agrícola hacia zonas menos aptas para la producción de cultivos en general, pasando por consideraciones de seguridad alimentaria y otras.

Finalmente, este documento se inserta dentro de un trabajo mayor de CEPAL sobre energías renovables y de diversificación de la matriz energética, y forma parte de una colaboración con la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la FAO que tuvo como resultado un primer documento sobre el tema de biocombustibles y seguridad alimentaria¹. Finalmente, este trabajo se complementa con el documento de la Unidad de Desarrollo Agrícola titulado “*Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina*”.²

¹ FAO/CEPAL (2007): “Oportunidades y Riesgos del uso de la bioenergía para la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe”

² Razo, Carlos “Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina” Serie Desarrollo Productivo N° 178, CEPAL, Naciones Unidas.

I. Materias primas susceptibles de ser empleadas en la producción de biocombustibles

A escala mundial, son varias las fuentes que se han identificado como materia prima potencial de ser empleada para la producción de biocombustibles. Estas son principalmente tres: cultivos agrícolas a ser utilizados directamente como materia prima para la elaboración de combustibles líquidos, cultivos forestales y residuos de cultivos, tanto agrícolas como forestales, al igual que de otras fuentes no agrícolas.

En esta sección, y a lo largo de la primera parte de este capítulo, el análisis se centra en aquellos cultivos que en América Latina y el Caribe son más susceptibles para usarse como materia prima en la elaboración de combustibles líquidos. Es decir, se enfoca únicamente al análisis de 13 potenciales cultivos bioenergéticos que parecen especialmente promisorios para la producción en la región de dos tipos de biocombustibles líquidos: el biodiesel y el bioetanol.

1. Potencial bioenergético en América Latina y el Caribe: reseña bibliográfica

Muchos estudios a nivel mundial mencionan el potencial de la biomasa como fuente energética en América Latina y el Caribe. A continuación se presenta una breve revisión de la literatura reciente sobre el potencial energético a nivel mundial de cultivos, residuos agrícolas y forestales, y la importancia relativa que América Latina tiene respecto a otras regiones del mundo.

Berndes y otros (2003) revisan 17 estudios acerca del futuro de la biomasa como fuente de energía. Los estudios muestran rangos muy amplios debido a la alta incertidumbre en cuanto a la disponibilidad de tierra y niveles de rendimiento de los cultivos bioenergéticos en el futuro. Lo mismo ocurre con la disponibilidad futura de madera para leña y de residuos de la agricultura y la silvicultura.

Smeets y otros (2007) estiman que el potencial energético de biomasa para el año 2050 de América Latina y el Caribe, a partir de tierras agrícolas excedentarias, puede variar entre 47 y 221 exajoule (EJ)³ por año, dependiendo del sistema de producción. Estas cifras representan entre 17% y 26% del total mundial de energía, cifra que es mayor que ninguna otra región en el mundo, con excepción de África Sub-sahariana (dependiendo del sistema de producción).

Las cifras anteriores son una estimación del potencial energético de biomasa, tanto para producción de electricidad como para combustibles líquidos para transporte. De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2000) y la Administración de Información Energética (EIA, 2003), el transporte representa 27% del consumo mundial secundario de energía y 21% del primario,⁴ el cual es suplido casi completamente por petróleo. Debido al aumento del parque automotriz y del transporte en general, estos porcentajes podrían incrementarse a entre 29-32% en 2050.

De Vries y otros (2007) estiman que el potencial mundial de biocombustibles líquidos en el año 2000 era de 30-40 EJ por año. Los autores prevén que para el año 2050, el potencial se expanda entre 75 y 300 EJ por año, basados en los cuatro escenarios del IPCC. Al igual que en Smeets y otros (2007), el estudio considera que América Latina es una de las regiones con mayor potencial. En un escenario con alto crecimiento y alta tecnología, el potencial es de más de 65 EJ por año es decir, un poco más del 20% de la producción mundial de 300 EJ por año.

Comparando el potencial de combustibles para transporte con la demanda global para el año 2050 (80-250 EJ por año), de Vries y otros (2007) prevén que se podrá cubrir en 100% esta demanda en 3 de los 4 escenarios considerados por estos autores, si toda la tierra considerada apta/disponible para plantaciones de biomasa fuera usada para la producción de combustibles para transporte. Por otro lado, Smeets y otros (2007) prevén que para América Latina y el Caribe en particular, la bioenergía (no solamente combustibles líquidos) cubra en más de 100% la demanda de energía, con rangos que varían entre 120% y 580%.

De este potencial técnico, es importante también determinar el potencial económico real de producción. De Vries y otros (2007) mencionan que el costo de producción de biocombustibles en el año 2000 era de entre 10 hasta más de 20 dólares de los Estados Unidos por gigajoule (GJ) de energía. Para el año 2050 se prevé que este costo se reduzca sustancialmente, incrementando el potencial económico de producción de los biocombustibles. Se estima que bajo ciertas circunstancias, en 2050, más del 25% del potencial mundial sería con costos menores a 12 dólares por GJ. Para América Latina, este porcentaje sería de más del 70% de la oferta potencial en el año 2050, haciendo atractiva la exportación de biocombustibles desde la región.

Sin embargo, de Vries y otros (2007) mencionan que este potencial para América Latina y otras regiones tropicales se puede ver reducido en más del 80% en circunstancias en donde haya alto crecimiento poblacional y un menor crecimiento en rendimientos de cultivos, esto debido a la

³ Un joule es el trabajo realizado, o energía gastada, por la fuerza de un newton al mover un objeto un metro en la dirección de la fuerza. 1 joule es exactamente 107 ergs. Un exajoule (EJ) es igual a 10¹⁸ J.

⁴ La energía primaria: son recursos energéticos no renovables como el petróleo, gas metano, carbón y uranio y renovables como la leña, energía hídrica, energía solar y energía eólica, geotérmica, etc. La energía secundaria: son energéticos derivados de las fuentes primarias, y se obtienen en los centros de transformación, con características específicas para su consumo final. Estos productos son coque (carbón), gas licuado de petróleo, gasolinas y naftas, querosenos, diesel, combustóleo, productos no energéticos, gas natural y electricidad.

presión sobre la demanda de alimentos y de tierra para su producción. La interrelación de la producción de biocombustibles con otros factores, se discutirá más adelante.

2. Cultivos energéticos y rendimientos de la conversión a bioetanol y biodiesel

Los 13 cultivos analizados en esta sección son aquellos que, considerando aspectos productivos, tecnológicos y financieros, presentan un mayor potencial para la producción de biocombustibles líquidos.⁵ Los cultivos en estudio se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1
CULTIVOS BIOENERGÉTICOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Bioetanol		Biodiesel	
Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Caña de azúcar	Saccharum officinarum	Palma aceitera	Elaeis guineensis Jacq.
Maíz	Zea mays L.		Glycine max L.
Trigo	Triticum aestivum L.	Girasol	Helianthus annuus L.
Remolacha azucarera	Beta vulgaris var. saccharifera	Ricino / Mamona / Castor	Ricinus communis L.
Yuca / Mandioca	Manihot sculenta	Semilla de Algodón	Gossypium spp.
Sorgo	Sorghum bicolor L.	Colza / Raps / Canola	Brassica napus L.
		Jatropha	Jatropha curcas

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL.

En el cuadro 2 y cuadro 3 se detallan características ecofisiológicas, productivas y de rendimiento de los cultivos en estudio. La cantidad de bioetanol obtenido de los cultivos que pueden producirse con menos recursos hídricos es de 98 lt/ton para la remolacha, 362 lt/ton para el trigo y 359 lt/ton para el sorgo. Aunque la remolacha tiene un menor rendimiento de bioetanol, sus altos rendimientos por hectárea hacen que la cantidad de litros obtenidos por unidad de superficie sea la más alta de los tres.

Cuadro 2
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CULTIVOS UTILIZADOS PARA OBTENCIÓN DE BIOETANOL

Ítem	Caña de Azúcar	Maíz	Remolacha Azucarera	Trigo	Yuca / Mandioca	Sorgo
Temp. (°C)	25 – 26	25 – 30	20 – 25	10 – 24	Alta	27 – 28
Zona Climática	37° N – 31° S	58° N – 40° S	templado	templado y subtropical	trópicos húmedos (30° N - 30° S)	trópico con lluvias de verano
Acidez de Suelo (pH)	6 – 7,8	5,5 – 7,5	7 – 8,5	5,5 – 7,2	6 – 6,5	5 – 8,5
Producción después de	9 – 24 meses	4,7 meses	6 – 7 meses	3,6 – 5,5 meses	6 – 9 y 18 – 24 meses	2,6 – 3 y 4 – 8 meses
Reposición después de	5 años	Anual	Anual	Anual	0,5 – 2 años	Anual
Nutrientes (kg/ton)						
N	1,2	24	4,5	30	3	50
P	0,3	4	0,9	8	1	9
K	2,5	23	4 – 7	28	7	45

(Continúa)

⁵ El aspecto productivo comprende las características edafoclimáticas de cada país y los rendimientos por cultivo; el aspecto tecnológico comprende factores como las variedades existentes de semillas, grado de mecanización del cultivo, disponibilidad y tipo de fertilizantes, pesticidas, etc. Por último, el aspecto financiero, el cual es determinado por aspectos productivos y tecnológicos, se refiere a la rentabilidad potencial de la producción de biocombustible usando como materia prima uno de los cultivos mencionados.

Cuadro 2 (conclusión)

Ca	0,6	3	1,5	3	2	
Mg	0,4	3		3	1	
Agua mm/año (lt / m2)	1500 – 1800 (>2500 irrigada)	> 500	500	250 – 300 (400 – 900 HYV)	1000 – 2000	500 – 600
Etanol (lt/ton)	85	396	98	362	280	359
Rendimiento medio mundial (ton/ha)	40 – 80	3,6	30 – 40	2,3	9 – 10	1,3

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a Rehm y Espig (1991), Suttie (2003) y otras fuentes.

Nota: Las zonas climáticas aquí reportadas representan las zonas donde el rendimiento por cultivo es mayor, esto no implica que no se desarrollen en otro tipo de condiciones climáticas.

Para biodiesel, en la actualidad los cultivos más utilizados en la región por su área plantada y rendimientos de aceite son la palma aceitera y la soja. Sin embargo, recientemente países como Colombia y Brasil vienen desarrollando el cultivo de la jatropha (llamado Piñon Manso en Brasil) como potencial materia prima alternativa.

Cuadro 3
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE CULTIVOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

Cultivos	Palma Aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Colza	Jatropha
Temp. (°C)	24 – 28	24 – 25	20 – 30	20 – 25	27	20 – 24	20 – 28
Zona Climática	Trópico (10° N - 10° S)	Subtrópico húmedo	Trópico - subtrópico	Trópico húmedo - subtrópico seco	Región semiárida con lluvias de verano	Zonas templadas	Trópico – subtrópico
Acidez de Suelo (pH)	5,5 – 7	6,1 – 7,2	6 – 7,2	5 – 8	6 – 8	5,8 – 7,1	5 – 7
Producción después de	4 – 5 años	4 – 5 meses	2,5 – 3 meses	4,5 – 6 meses	5 meses	4,7 meses	1 – 5 años
Reposición después de	30 años	Anual	anual	anual	Anual	anual	30 – 50 años
Nutrientes en kg/ton							
N	6	80	40	30	60	50	
P	1	8	5	5	25	20	
K	8	33	28	12	45	70	
Ca		16	18	4			
Mg		9	11	3		15	
Agua mm/año	1500 – 3000	500 – 750	250	750 – 1000	600 – 1500	450 – 500	300 – 1000
Rendimiento Aceite (lt/ton)	401	194	343	412	194	418	380
Rendimiento medio mundial (ton/ha)	10 – 30	2,2	1,5 – 4	1 – 1,5	1,6 – 2,5	3	0,5 – 12
Aceite (%)	38 – 45	18 – 22	32 – 40	40 – 48	18 – 22	38 – 45	35 – 40
Contenido de proteína en torta (porcentaje)	15 – 16	46	43	fert. org.	> 40	52	55 – 58

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a Rehm y Espig (1991) y otras fuentes.

En aquellos cultivos bioenergéticos dedicados a la producción de biodiesel, los cultivos con menores requerimientos hídricos son: girasol, colza y jatropha (mínimo 250 a 450 mm/año). Pese a que sus semillas contienen elevados volúmenes de aceites (entre 32% y 45%) los rendimientos medios por hectárea son relativamente bajos; en la región fluctúan para el girasol entre 0,96 y 1,78 ton/ha y para la colza entre 1,15 y 2,63 ton/ha. La cantidad de biodiesel obtenido por unidad de superficie es por lo tanto relativamente baja. En el caso de la jatropha (dependiendo de la edad del cultivo) se registran rendimientos en Brasil de 0,5 ton/ha (1er año) a 5 ton/ha (5to año) siendo mayor el potencial de este cultivo en relación a los anteriores.

Los cultivos aceiteros con requerimientos medios de agua son la soja, el ricino y el algodón (mínimo 500 a 750 mm/año). De estos tres cultivos, el mayor contenido de aceite lo tiene el ricino con 40-48%, mientras la soja y la semilla de algodón llegan sólo a un 18-22% de contenido de aceite.

Finalmente, la palma aceitera es la especie que requiere la mayor cantidad de agua, con un mínimo de precipitación anual de 1.500 mm. Esta planta tiene gran potencial para la obtención de biodiesel gracias a su alto contenido de aceite (38% a 45%), extraído tanto del mesocarpio como de la almendra del fruto y gracias a su alto rendimiento de frutos por hectárea.

a) Rendimientos agrícolas actuales

Esta sección hace primero una revisión de los rendimientos actuales y potenciales de los cultivos bioenergéticos. De los 13 cultivos bioenergéticos seleccionados, el promedio regional en cuanto a rendimientos sobrepasa o está dentro del rango del promedio mundial en el caso de la yuca, el sorgo, la palma aceitera y la soja. En cambio, los demás están por debajo de los rangos promedios a nivel mundial. Es el caso del trigo, maíz, girasol, ricino, algodón y colza, no obstante, hay uno o varios países de la región que se encuentran por encima del rango mundial.

El cuadro 4 muestra los rendimientos actuales promedio de cada cultivo bioenergético para cada país de América Latina y el Caribe. Se puede observar que éstos son bastante heterogéneos. Así por ejemplo, en el caso de los cultivos usados en la producción de bioetanol, el rango de rendimientos para la caña de azúcar a nivel mundial está entre 40 y 80 ton/ha. El promedio de América Latina y el Caribe es de 59 ton/ha, y la mayoría de los importantes países productores de la región se encuentra por sobre este promedio. Los con mayores rendimientos promedio son Perú (128 ton/ha), Guatemala (92 ton/ha) y Colombia (86 ton/ha), los tres con valores superiores al promedio mundial y regional.

Es necesario notar que detrás de los promedios nacionales se esconden grandes diferencias regionales y agricultores mucho más eficientes que otros.⁶ Por otro lado, una mayor eficiencia productiva en términos de rendimientos no necesariamente conduce a una mayor eficiencia de costos, por la intensidad del uso de factores para llegar a estos rendimientos y por los precios relativos de los factores e insumos utilizados. Pero los rendimientos sí dan una indicación de cuánta tierra es necesaria para alcanzar una cierta producción de biodiesel y cuánto se podría avanzar sin necesidad de grandes innovaciones tecnológicas.

⁶ Ver discusión al respecto en CEPAL, División de Desarrollo Productivo, "Progreso técnico y cambio estructural en América Latina", (2007).

Cuadro 4
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000 – 2003): RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS PROMEDIO POR CULTIVO Y PAÍS
(en toneladas por hectárea)

Países	Caña de Azúcar	Maíz	Remolacha Azucarera	Trigo	Yuca o Mandioca	Sorgo	Palma Aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Semilla de Algodón	Colza
Promedio Mundial	40 – 80	3,6	30 – 40	2,3	9 – 10	1,3	10 – 30	2,2	1,5 – 4	1 – 1,5	1,6 – 2,5	3
AL y C	59,4	2,5	32,4	1,9	9,9	2,2	15,9	2,1	1,3	0,8	0,8	1,8
Sudamérica												
Argentina	65,1	5,9		2,3	10,0	4,9		2,6	1,7		0,7	1,5
Bolivia	45,1	2,2		0,9	11,2	2,6		2,0	1,0		0,5	
Brasil	70,6	3,2		1,8	13,6	1,9	10,0	2,7	1,7	0,7	1,8	1,7
Chile		9,9	72,0	4,2					1,5			3,0
Colombia	86,2	2,1		2,1	10,3	3,2	18,1	2,2			1,3	
Ecuador	73,1	1,2	5,6	0,6	4,1	1,7	11,2	1,8	1,5	0,8	0,7	
Paraguay	44,5	2,3		1,5	15,4	1,3	9,6	2,6	1,3	1,2	0,6	
Perú	128,2	2,6		1,3	10,8	2,3	15,7	1,6			1,1	
Uruguay	53,8	3,5		2,0		3,2		1,9	1,1			
Venezuela	66,8	3,4	19,6	0,4	12,4	2,1	13,5	2,9	0,9		0,4	
México y Centroamérica												
México	72,5	2,6		4,8	14,1	3,2	15,2	1,5	0,8	0,5	1,7	1,1
Belice	46,0	2,6			13,4	3,4		1,6				
Costa Rica	76,8	1,7			15,0		19,5				0,5	
El Salvador	77,9	2,3			12,6	1,7		2,3			1,1	
Guatemala	92,1	1,8		1,9	3,0	1,2	22,6	2,9			1,1	
Honduras	77,7	1,5		0,5	3,7	1,1	19,6	1,9			1,1	
Nicaragua	79,0	1,4			11,1	2,0	26,0	2,0			1,1	
Panamá	50,0	1,3			12,9	2,9	10,2	0,8				

(Continúa)

Cuadro 4 (conclusión)

Caribe										
Antigua y Barbuda										0,1
Bahamas	24,9	1,6					4,3			
Barbados	53,8	2,0					10,2			
Cuba	33,6	2,6					17,0			
Dominica	20,0	2,4					5,7			
Granada	44,9	1,3					9,5			
Haití	56,6	1,0					6,1			0,2
Jamaica	50,2	0,7					4,4		0,6	0,2
Rep. Dominicana	37,9	1,2					18,6			
Trinidad y Tobago	55,4	1,3					7,1		15,3	
		2,5					11,8			

Fuente: FAOSTAT.

b) Cambios potenciales en rendimiento y su efecto en la producción de biocombustibles

A futuro se espera que los rendimientos potenciales aumenten con las nuevas variedades fitomejoradas. La mejora en los rendimientos de los cultivos bioenergéticos pudiera tener un efecto positivo (reducir costos económicos, ambientales y potencialmente sociales) al permitir un mayor volumen de biocombustibles por unidad de superficie, reduciendo la presión sobre la tierra.

Según Cap y González (2002), el rendimiento actual de trigo y maíz en Argentina podría aumentar en 28% y 32% respectivamente, el de soja en 19% (de 2,6 a 3,1 ton/ha.) y el de girasol en 35%. Estos aumentos se podrían conseguir sin cambio tecnológico intrínseco, ya que la tecnología necesaria adaptada a las condiciones del país ya existe, pero acelerando los procesos de aprendizaje de los agricultores y removiendo algunas de las barreras existentes, por ejemplo la falta de acceso al crédito.

Monsanto, por ejemplo, actualmente está investigando variedades de maíz, soja y colza con mayores rendimientos al igual que un mayor contenido de aceite. En soja se están desarrollando variedades con un 5-10% más de rendimiento en campo, al igual que variedades con contenido de aceite de hasta un 3% mayor. También se está desarrollando la segunda generación de soja RR, llamada soja RR2 (Roundup Ready2Yield). Con esta nueva variedad mejorada se prevé un incremento de hasta 336 kilos de soja por hectárea, lo que equivale a cerca de 62 litros más de biodiesel por hectárea (Monsanto, 2006).

Para maíz, Monsanto está investigando variedades con mayores rendimientos en campo, así como variedades con mayores rendimientos de azúcares que tendrían un incremento del 10% en el rendimiento de litros de etanol por hectárea. También se están desarrollando variedades de maíz altamente fermentables, que tienen 2,7% más de rendimiento en la producción de etanol. Además, para la próxima década está desarrollando una semilla de maíz que produce plantas tolerantes a la sequía que podrían elevar los rendimientos en las zonas áridas en 40% así como hacer frente a los probables cambios climáticos. Por otra parte están desarrollando una tecnología para convertir el subproducto del etanol con alto contenido de lisina y de proteínas en alimento para aves y cerdos, creando una segunda fuente de ganancia para los productores de etanol.

Estos desarrollos no son a corto plazo, sino fruto de un largo proceso de mejoramiento. En el caso de Brasil y su programa ProAlcool, estos cambios empezaron en la década de los años setenta, lo que permitió a este país dominar todo el proceso de la producción de etanol a partir de caña de azúcar (de Cerqueira, 2004). En la primera fase del programa ProAlcool se puso énfasis en el incremento de la producción de caña de azúcar y etanol para poder llegar a los objetivos planteados. Una vez que se llegó a una meseta de producción, se puso énfasis en el incremento de la eficiencia, productividad y reducción de costos. Durante la tercera y cuarta fases del programa, hubo mayor interés en mejorar el manejo y el uso adecuado de herramientas y prácticas agrícolas. Esto ayudó a que el proceso de producción de bioetanol sea hoy eficiente y efectivo en costos.

Debido a que dos tercios del costo final del etanol es la caña de azúcar, Brasil ha hecho esfuerzos en la producción de nuevas variedades de caña que sean altas en rendimiento, altas en contenido de azúcar, con mayor resistencia a plagas y enfermedades, y con una mayor flexibilidad de adaptación a diferentes condiciones de producción. Mejores prácticas de producción como fertilización, mejora del sistema de transporte, etc., han ayudado a la reducción de costos. Adicionalmente, avances en el Proyecto del Genoma de la Caña de Azúcar han permitido codificar más de 40.000 genes, lo que permitirá el desarrollo de variedades genéticamente mejoradas y transgénicas.

Entre 1975 y 2000, Brasil logró incrementar los rendimientos de caña en un 33% y el contenido de azúcares se incrementó en un 8,5%. El crecimiento de los rendimientos se aceleró, ya que se registró en 2005 un incremento de un 20% comparado a los valores de principios de la década de los noventa (IICA, 2005). Si asumimos que a futuro, los rendimientos de caña se incrementarán de igual manera que en los últimos 15 años, se puede esperar que dichos rendimientos crezcan a una tasa promedio anual de 1,3%, pudiendo lograr rendimientos de cerca de 84 ton/ha en el año 2015.

3. El potencial de producción de biomasa convertida a bioetanol y biodiesel a nivel de país

a) Cálculo basado en excedentes de producción

En esta sección se estima el potencial para la producción de biocombustibles, tanto bioetanol como biodiesel para los países de América Latina y el Caribe. Este cálculo está basado en los excedentes de producción de los países de la región, es decir, aquellos que después de cubrir la demanda local, son exportados o almacenados. Estos resultados muestran el potencial técnico actual de los países de producir bioetanol y biodiesel, sin hacer ningún cambio a nivel de producción primaria, pero de ninguna manera reflejan la producción económicamente viable ni la potencial. Además, acá no se contempla el costo de oportunidades de lo que actualmente se exporta.

Los cálculos tienen el atractivo de que solamente consideran los superávit de producción, evitando la posible competencia directa de los biocombustibles con la producción destinada para consumo interno de alimentos, tanto humano como animal. Sin embargo, no consideran la posible expansión de estos cultivos hacia nuevas áreas productivas, lo cual puede ser un importante factor en la producción de biocombustibles.

Los cálculos mencionados se hicieron sólo para aquellos países con superávit en la producción de cultivos bioenergéticos, según los balances de alimentos de la FAO. Es decir, en aquellos países donde la producción supera la demanda local y que hoy en día son almacenados o exportados¹⁵. En base a esos resultados se calculó el potencial técnico de producción de biocombustibles y se determinó el potencial de mezcla, tanto de biodiesel como de bioetanol en el consumo existente de gasolina y diesel de cada país, para el promedio de los años entre 2000 y 2003.

El potencial del bioetanol

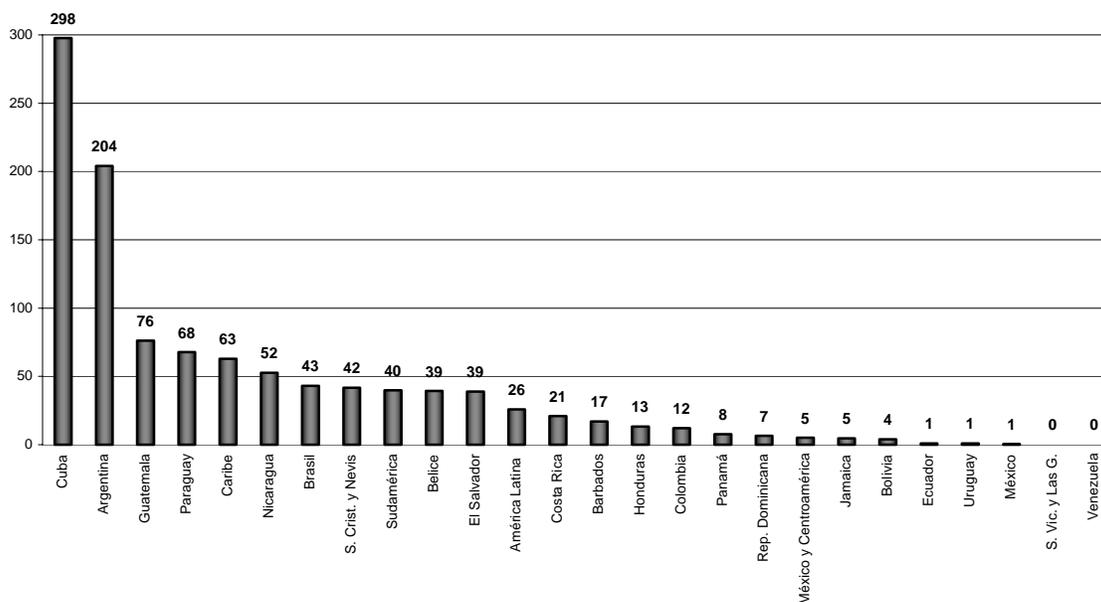
La principal fuente potencial para la producción de bioetanol es la caña de azúcar, en prácticamente todos los países de América Latina y el Caribe, ya que la disponibilidad de excedentes es generalizada (véase el gráfico 1). Por otro lado, el potencial de producción a partir de maíz, trigo, y sorgo está concentrado en Argentina, país con una fuerte producción de y ventajas comparativas para cereales. En conjunto, los países considerados podrían producir, a partir de excedentes exportables, un total de casi 20 mil millones de litros de bioetanol por año, de los cuales un 58% corresponde a la caña de azúcar, 22% al maíz y 18% al trigo. Esto equivale aproximadamente a un porcentaje de mezcla del consumo actual de gasolina promedio a nivel regional de 26%.

¹⁵ No se considera en este primer análisis la diferencia de energía existente entre el biodiesel y el diesel (ver Kojijama y Johnson, 2005, p. 84), y se asume en los balances alimentarios consultados que antes del 2003 no se destinaba la producción de ningún cultivo a la elaboración de biodiesel.

El país con el mayor potencial técnico para bioetanol a partir de excedentes exportables actuales es Argentina, el cual puede producir una mezcla que cubra en más del doble (204%) del consumo actual de gasolinas a partir, principalmente, de sus excedentes de trigo y maíz. Sin embargo, cabe notar que estos cultivos son menos eficientes en su conversión a bioetanol que la caña de azúcar. Paraguay también tiene grandes excedentes de maíz, lo que le permitiría llegar a mezclas de hasta un 68%. Por otro lado, Bolivia y Colombia pueden utilizar sus excedentes azucareros y destinar caña de azúcar a la destilación de bioetanol para alcanzar mezclas de 4% y 12% respectivamente. Todo aquello obviamente, sería a costa de las exportaciones actuales de estas commodities, subproductos y productos elaborados.

En el caso de Brasil, el potencial estimado de mezcla de bioetanol con respecto al consumo actual de gasolina es de 43%. Cabe aclarar que, contrariamente al cálculo hecho para los demás países, este cálculo no incluye la producción actual de bioetanol, el cual representa un 8,9% del consumo de gasolina en Brasil (Agencia Nacional de Petróleo, ANP, 2004 y Abegás, 2004).¹⁶ Es decir, ya hay una producción de etanol establecida a partir de caña de azúcar en Brasil, la cual estaría considerada como parte de la demanda interna de este producto, lo cual resultaría en un porcentaje de mezcla mayor al mostrado en el gráfico 1. Como es sabido, Brasil ha impulsado la producción de etanol a partir de caña de azúcar desde los años setenta a través del Programa Nacional del Alcohol (ProAcool). En la actualidad este país destina alrededor de tres millones de hectáreas a la producción de bioetanol siendo el primer exportador mundial de este producto.

Gráfico 1
PORCENTAJE DE MEZCLA POTENCIAL DE BIOETANOL EN EL CONSUMO LOCAL DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS DE PRODUCCIÓN (2003-2005)



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL

En Centroamérica, prácticamente todos los países pueden alcanzar mezclas superiores al 5% únicamente a partir de sus excedentes azucareros. La mezcla más alta podría ser alcanzada, por Guatemala (76%) y la más baja por Panamá (8%). En el caso de Costa Rica el excedente de yuca es

¹⁶ Esto equivale aproximadamente a 3% del consumo total de combustibles líquidos en Brasil.

equiparable al de la caña de azúcar pudiendo concluirse que, con cada uno de los cultivos por separado, se podría alcanzar una mezcla aproximada del 10%.

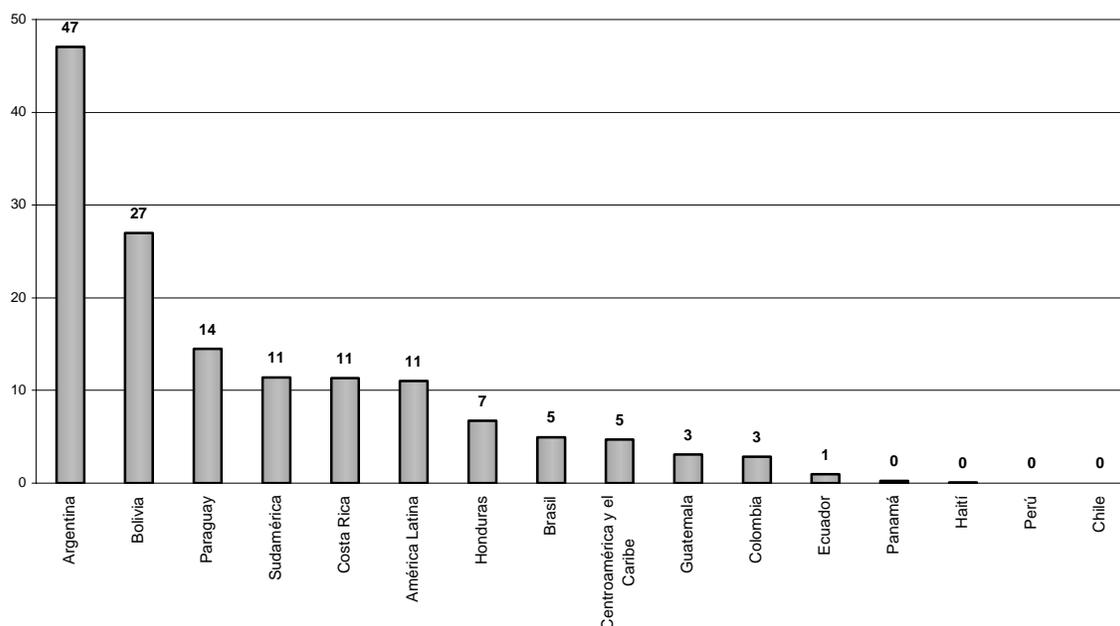
Los países del Caribe generan excedentes principalmente de caña de azúcar y de yuca (en menor medida). Todos, excepto San Vicente y Las Granadinas (0,1%), podrían producir bioetanol para alcanzar mezclas iguales o superiores al 5%. Cuba tiene el mayor potencial ya que podría llegar a producir bioetanol hasta 3 veces más que su consumo medio de gasolina debido a sus grandes excedentes de caña de azúcar, superados en magnitud solamente por Brasil.

El potencial del biodiesel

La principal fuente potencial para la producción de biodiesel, en varios países de América Latina y el Caribe, es la soja, la cual representa 79% del potencial de producción total de biodiesel, seguido por el girasol (17%) y la palma aceitera (4%) (véase el gráfico 2). Sin embargo, se puede observar que la producción de soja esta concentrada en cuatro países del cono sur, Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay. Argentina también concentra la producción de girasol, mientras que la producción de palma aceitera es en el norte de Sudamérica y en Centro América. En general, el potencial técnico de producción de biodiesel a partir de excedentes de producción actual de estos cultivos puede llegar a cubrir un 11% del consumo de diesel actual de la región.

Gráfico 2

PORCENTAJE DE MEZCLA POTENCIAL DE BIODIESEL EN EL CONSUMO LOCAL DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS DE PRODUCCIÓN (2003-2005)



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL.

Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay, Costa Rica y Honduras presentan excedentes importantes que les permitirían realizar mezclas iguales o superiores al 5%. Por otro lado, los países que podrían basar su producción de diesel en palma aceitera, podrían llegar a mezclas de entre 1 y 11%.

En general, el resto de los países no alcanzarían la mezcla de 5% si reorientaran todos los excedentes actuales de producción de los cultivos contemplados para la elaboración de biodiesel por lo que, si quisieran implementar un programa de biodiesel, debieran importar o ampliar el área

de los cultivos bioenergéticos. Esto puede llevar a presiones ambientales, sobre la demanda de alimentos, etc., por lo que es necesario un análisis más detallado de sus efectos.

El cálculo del potencial de producción de biodiesel y de bioetanol, basado en los excedentes productivos de cada país, es sólo una primera aproximación para la estimación del potencial por país y del proceso de selección de un cultivo o una mezcla de cultivos idóneos para cada país. Sin embargo, es necesario considerar otros aspectos, tales como las limitantes edafo-climáticas, los costos de producción e impactos en el bienestar general de la sociedad. Estos elementos son considerados en las secciones subsiguientes.¹⁷

b) Cálculo sobre la necesidad de expansión del área con bioenergéticos para mezclas de E5 y B5

Al implementar un programa de biocombustibles se debe tomar en cuenta los efectos y cambios potenciales en el uso del suelo. Uno de los aspectos importantes para determinar estos efectos es cuán eficiente es la producción de los cultivos, ya que mayores rendimientos de los cultivos bioenergéticos pueden reducir la necesidad de expansión de la frontera agrícola.

A diferencia del cálculo del potencial de mezcla a partir de los excedentes exportables en la primera sección, en esta parte se estima las necesidades de nuevas áreas de cultivo basado en el supuesto del reemplazo de un 5% del consumo de combustibles fósiles actuales en la región (E5 para etanol o B5 para biodiesel). Estos cálculos toman en cuenta la demanda actual de combustibles líquidos (gasolina y diesel), al igual que el área actual cultivada en cada país de cada uno de los 13 cultivos bioenergéticos considerados en este documento.

Esto muestra otra faceta de la producción de biocombustibles, en este caso, la de las necesidades de tierra, tanto actual como potencial. Por un lado, permite saber si existe actualmente suficiente área en producción para poder suplir la demanda a un 5% de mezcla, y por otro lado, si es que no hubiese suficiente área, cuánto se necesitaría expandir la frontera agrícola para llegar al 5% de mezcla. En este caso se asume dicha expansión o reemplazo de uso, sin tomar en cuenta el área necesaria para cubrir la demanda interna de alimentos.

El cuadro 5 y el cuadro 6 muestran el área necesaria por país y por cada cultivo para obtener el objetivo de 5% de mezcla (tanto para bioetanol como para biodiesel), y cuantas veces se requeriría expandir el área actualmente plantada. Cabe aclarar que los cálculos de áreas de expansión consideran cada cultivo como única fuente de biocombustibles para alcanzar ese 5%; es decir, cada columna para cada país es mutuamente excluyente. No hay un cálculo de las áreas óptimas de plantación de los diversos cultivos en cada país para obtener el 5% de mezcla. La elección de una combinación óptima de cultivos es un tema específico de cada país y está sujeta entre otras cosas a la disponibilidad de tierras con clima aptas para cada especie, tecnologías y costos de producción y diferentes tipos de políticas públicas adoptadas por cada gobierno.

El cálculo del área de expansión necesaria se hizo a partir de los rendimientos promedio por país de cada cultivo para el periodo 2000 – 2003 (véase nuevamente el cuadro 4) y de los litros de etanol o aceite crudo extraídos por tonelada de cada cultivo (ver cuadro 2 y cuadro 2 del anexo). Con ello se llegó a la cantidad de litros de aceite o etanol por hectárea para cada país y cultivo.

En el caso de la producción de etanol, la principal fuente en la región es la caña de azúcar. Debido a que este cultivo se siembra extensamente en América Latina y el Caribe y posee altos rendimientos de bioetanol por superficie, la expansión necesaria de su área actual para alcanzar la

¹⁷ Por el carácter de este documento, no se analizarán en mayor detalle los varios costos de oportunidades.

mezcla del 5% (E5) sería mínima (0,01 veces para Cuba hasta cuatro veces para Dominica), asumiendo que toda la producción se destinara únicamente a la fabricación de bioetanol.¹⁸

A diferencia del cultivo de la caña de azúcar, la remolacha azucarera es cultivada únicamente por tres de los 31 países en estudio. Chile es el país que necesitaría la menor expansión de su área actual cultivada.

En el caso de la producción de biodiesel a partir de palma aceitera, Brasil y México serían los países productores que mayor crecimiento de área requerirían respectivamente 10 y 11 veces, para alcanzar un B5 (asumiendo que se destina toda la extensión exclusivamente para fabricación de biodiesel). Los países con una mayor necesidad de expansión del área cultivada serían Panamá, Venezuela y Perú.

En cambio los productores tradicionales de soja como Argentina, Bolivia, Brasil y Paraguay podrían disminuir una fracción de su superficie actual.

¹⁸ Obviamente, la expansión de la producción de cultivo es sólo el primer paso en la cadena que lleva a la producción de biocombustibles. Así por ejemplo, el Ministerio de Agricultura del Ecuador (2001) reporta que si quisiera incrementar el cultivo de caña de azúcar en 55.600 hectáreas, cantidad necesaria según sus cálculos para una mezcla E20, necesitaría instalar dos ingenios azucareros adicionales (y sus respectivas plantas de alcohol) con un capacidad de 15.000 toneladas/día de molienda cada uno, lo que significaría una inversión de 550 millones de dólares. A ello se añade el transporte del biocombustibles y su distribución hacia los puntos de venta de gasolina o diesel.

Cuadro 5
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): ÁREA NECESARIA Y MÚLTIPLO DEL ÁREA ACTUAL POR CULTIVO Y PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL E5
(en miles de hectáreas y en número de veces)

Países	Caña de Azúcar		Maíz		Remolacha Azucarera		Trigo		Yuca o Mandioca		Sorgo	
	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces
Sudamérica												
Argentina	36	0,1	86	0,03	--	--	237	0,04	71	4	113	0,2
Bolivia	9	0,1	39	0,1	--	--	103	1	11	0,3	37	1
Brasil	141	0,03	662	0,1	--	--	1 267	1	223	0,1	1 236	2
Chile			40	0,4	22	1	103	0,3	--	--	--	--
Colombia	40	0,1	349	1	--	--	389	22	101	1	252	4
Ecuador	18	0,2	231	0,5	203	295	506	23	97	4	178	29
Perú	7	0,1	70	0,1	--	--	153	1	24	0,3	90	1 610
Uruguay	4	1	13	0,3	--	--	24	0,2	--	--	15	1
Venezuela	97	1	411	1	286	327	4 330	4 245	158	3	727	3
México y Centroamérica												
México	236	0,4	1 397	0,2	--	--	831	1	367	227	1 271	1
Costa Rica	6	0,1	59	7	--	--	--	--	10	0,4	--	--
El Salvador	4	0,06	28	0,1	--	--	--	--	7	5	42	0
Guatemala	7	0,04	79	0,1	--	--	79	17	67	11	128	3
Honduras	3	0,06	39	0,1	--	--	124	62	22	8	58	1
Nicaragua	2	0,04	22	0,1	--	--	--	--	4	0,5	16	0,3
Panamá	6	0,2	54	1	--	--	--	--	8	4	26	25
Caribe												
Antigua y Barbuda	--	--	3	108	--	--	--	--	2	154	--	--
Bahamas	3	1	7	47	--	--	--	--	2	157	--	--
Barbados	1	0,2	6	61	--	--	--	--	1	51	--	--

(Continúa)

Cuadro 5 (conclusión)

Cuba	10	0,01	29	0,2	--	--	--	18	0,2	165	398
Dominica	1	4	3	22	--	--	--	1	6	--	--
Granada	0,5	3	5	15	--	--	--	1	35	--	--
Haití	2	0,1	25	0,1	--	--	--	6	0,1	30	0,2
Jamaica	8	0,2	75	54	--	--	--	7	8	--	--
Rep. Dominicana	24	0,2	149	6	--	--	--	38	2	107	32
Trinidad y Tobago	2	0,1	9	10	--	--	--	3	40	--	--

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT.

Nota: Cada área fue calculada como si cada cultivo es la única fuente de bioetanol para alcanzar el 5% de mezcla en la gasolina consumida en cada país

Cuadro 6
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): ÁREA NECESARIA Y MÚLTIPLO DEL ÁREA ACTUAL POR CULTIVO Y PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL B5
(en miles de hectáreas y en número de veces)

Países	Palma Aceitera		Soja		Girasol		Ricino		Semilla de Algodón		Colza		Jatropha	
	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces	Área	Número veces
Sudamérica														
Argentina	0	--	1 053	0,10	887	0,31	0	--	4 001	16	864	160	347	
Bolivia	--	--	107	0,18	122	1	--	--	406	5			27	
Brasil	475	10	3 707	0,24	3 332	67	6 202	39	5 456	7	2 660	93	1 252	
Chile	--	--	--	--	471	132	--	--	--	--	194	16	160	
Colombia	33	0,2	571	24	--	--	--	--	935	20			160	
Ecuador	30	0,2	378	7	256	1732	408	82	967	269			88	
Paraguay	13	1	100	0,07	112	3	100	12	426	2			32	
Perú	26	2	523	337	--	--	--	--	770	10			106	
Uruguay	--	--	111	3	105	1	--	--	--	--			27	
Venezuela	56	2	539	363	945	141	--	--	4 407	330			199	
México y Centroamérica														
México	137	11	2 959	45	3 189	3866	4 049	2025	2 488	37	1 805	555	549	
Costa Rica	5	0,1	--	--	--	--	--	--	391	1 303			26	
El Salvador	--	--	83	76	--	--	--	--	170	292			24	
Guatemala	6	0,3	97	9	--	--	--	--	267	191			36	
Honduras	5	0,1	109	111	--	--	--	--	197	190			26	
Nicaragua	2	1	56	20	--	--	--	--	98	68			14	
Panamá	10	2	272	2 090	--	--	--	--	--	--			27	
Caribe														
Antigua y Barbuda	--	--	--	--	--	--	--	--	148	233			2	
Bahamas	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			10	
Barbados	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			3	
Cuba	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			54	
Dominica	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			0,5	
Granada	--	--	--	--	--	--	--	--	67	480			1	

(Continúa)

Cuadro 6 (conclusión)

Haití	--	--	--	--	--	--	70	31	354	99			11
Jamaica	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			15
Rep. Dominicana	18	2	--	--	--	--	--	--	--	--			71
Trinidad y Tobago	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			9

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT.

Nota 1: Cada área fue calculada como si el cultivo en cuestión es el único que proveerá biodiesel para llegar a la mezcla de 5% de biodiesel en el diesel consumido actualmente en el país en particular; Nota 2: en el caso de la Jatropha no se tienen datos de área cultivada actual.

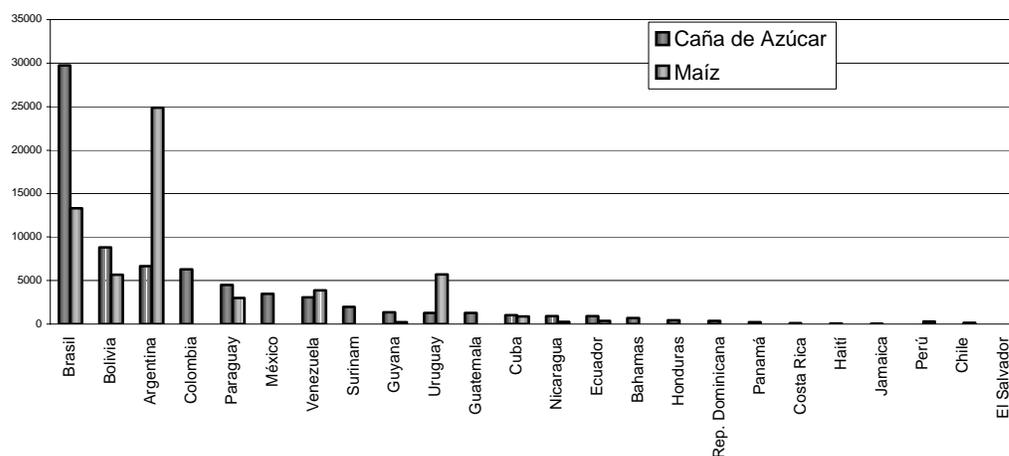
c) Máxima expansión posible de la superficie plantada por cultivo

En las secciones anteriores se ha visto el potencial de producción de biocombustibles a partir de excedentes para la exportación y de requerimientos en base a la demanda de combustibles para cada país. Sin embargo, este análisis no toma en cuenta condiciones agro-climáticas para dicha expansión. Esta sección trata de complementar el análisis anterior e incorpora las áreas potenciales de expansión de cultivos bioenergéticos de acuerdo a características de suelo, clima y otras condiciones físicas que están englobadas por el concepto de zona agro-ecológica.

Una zona agro-ecológica (ZAE) es la caracterización de un área geográfica basado en el tipo y fertilidad de suelo, régimen de lluvia, temperatura, elevación y drenaje. El concepto de ZAE permite cuantificar el potencial de cultivos específicos de ser sembrados en diferentes regiones, dadas las características de dichas regiones. Igualmente, permite determinar todas las opciones de uso agrícola de la tierra bajo condiciones específicas de manejo y niveles de insumos, y cuantificar la extensión de tierra que se puede cultivar con un cultivo determinado.

Los datos presentados en esta sección son el resultado de un exhaustivo análisis y cálculo por parte de FAO y del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), publicados en Fischer y otros (2002).

Gráfico 3
MÁXIMA EXPANSIÓN POSIBLE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA (CAÑA Y MAÍZ) (1000 HAS)



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL

Para estimar el potencial de expansión se consideran las áreas aptas y muy aptas (S+VS por sus siglas en inglés) por país para cada uno de los cultivos en estudio, considerando que estas áreas van a tener potencialmente una mayor susceptibilidad a ser utilizadas para un determinado cultivo. Cabe aclarar que estos cálculos incluyen el potencial de cultivo para cada rubro bajo condiciones de regímenes de lluvia (no incluye riego)¹¹ y con un nivel intermedio de insumos¹².

¹¹ Los resultados del potencial agrícola bajo riego asume que recursos hídricos de buena calidad están disponibles y que hay infraestructura de riego instalada. Es decir, identifica áreas en donde clima, suelos y terreno permiten cultivos bajo riego. Actualmente en América Latina y el Caribe menos del 3 % de la tierra está bajo riego y el resto se cultiva bajo condiciones de

Al igual que para los cálculos de las secciones anteriores, estas cifras son mutuamente excluyentes, es decir, solo toman en cuenta el potencial de un cultivo determinado si este fuese cultivado de manera exclusiva. Por ejemplo, en el caso de la remolacha azucarera los dos países con mayor potencial de cultivo son Brasil y Argentina. Sin embargo, las áreas con mayor potencialidad para este cultivo están actualmente utilizadas para el cultivo de soja, maíz y trigo.

En base a las consideraciones anteriores y a las áreas cosechadas por cultivo entre los años 2000 y 2004, se obtiene el uso potencial actual de tierras (véase el cuadro 2 del anexo). Se puede observar que para la mayor parte de los cultivos existe el potencial de expandir las áreas de producción, dados los remanentes positivos. Por ejemplo, en el caso de la palma aceitera y su cultivo en Nicaragua, existe el potencial de sembrar 768 mil hectáreas adicionales a las dos mil ya existentes. Es por esto que el anuncio de sembrar 200 mil nuevas hectáreas de palma aceitera en Nicaragua como fuente de biodiesel está dentro del rango factible desde el punto de vista agro ecológico y climático.

Un factor determinante en el cambio de uso del suelo, es el tipo de manejo y las prácticas de cultivo que se usan para evitar la degradación del suelo. Prácticas inapropiadas pueden llevar a que se degraden los suelos que, si no son recuperados, serán abandonados o utilizados para otras actividades o en agricultura de bajos insumos. Los suelos deteriorados pueden impactar a su vez en la seguridad alimentaria (Scherr, 1999).

En el caso de la producción de granos en suelos de alta calidad sin uso de riego, ya hubo una transición importante en el manejo de la tierra, desde períodos cortos de barbecho para recuperación del suelo a un cultivo continuo y utilización de variedades de alto rendimiento y alta mecanización en el campo. Scherr (1999) prevé en el futuro una ventaja comparativa en la producción de granos debido a mayores rendimientos basados en innovaciones tecnológicas, integradas con un buen manejo del suelo.

El régimen de lluvias es un factor clave ya que los cultivos energéticos como la soja y la caña de azúcar son cultivados generalmente en sistemas de secano, mientras que otros cultivos como las frutas y hortalizas, preferentemente usan riego por su más alto valor económico relativo. Sin embargo, hoy en día existen variedades de alto rendimiento de los cultivos energéticos que justifican la implementación de sistemas de riego y que de otra forma no llegarían a sus óptimos potenciales. Es por esto que estos cultivos podrían establecerse, dadas las condiciones, en zonas con riego en donde anteriormente se cultivaban otros rubros.

Tomando en cuenta el área necesaria para una obtención de mezcla E5 o B5 (cuadros 7 y 8), y el área máxima de expansión, podemos ver que la región con mayor potencial en base a esas cifras es Sudamérica (véase el cuadro 3 del anexo).

La caña de azúcar es la especie con mayor potencialidad de ser cultivada en toda la región, con la excepción de Chile que no cuenta con condiciones climáticas para su cultivo. Todos los demás países tienen suelos y climas aptos para una producción adicional de caña para etanol. En el caso de la remolacha azucarera, y dados los supuestos de cultivo sin riego y con uso de tecnología intermedia, ésta es sembrada en suelos no aptos para la especie en Chile, Ecuador, México y Venezuela (área negativa en el cuadro 3 del anexo). Esto implica que dados los supuestos de esta sección, no se cuentan con terrenos suficientes para la producción de etanol a partir de la

regímenes de lluvia. Por razones de costo/beneficio el riego suele usarse más para frutales y hortalizas que para cereales y leguminosas.

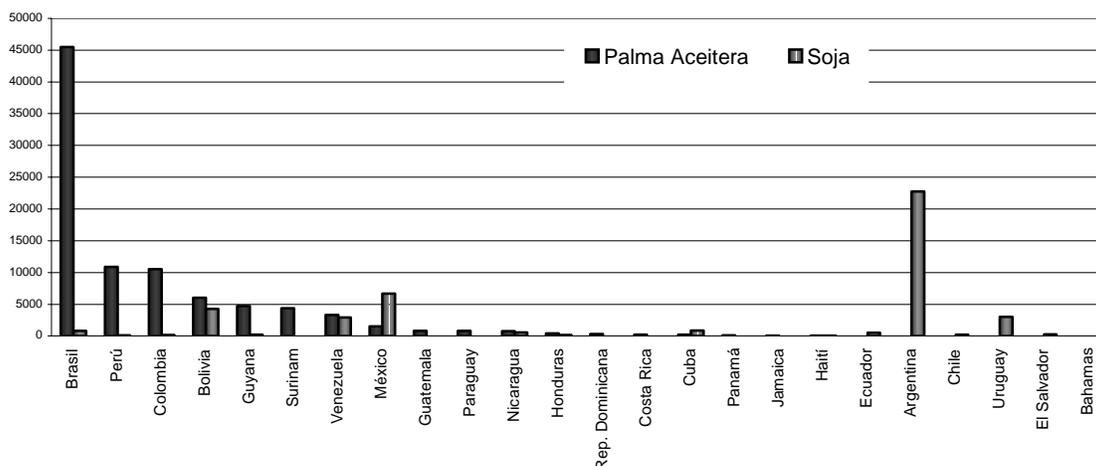
¹² Fischer y otros (2002, p. 76-80) definen como un nivel bajo de insumos a aquel en donde no hay aplicaciones químicas y solamente hay un uso limitado de fertilizantes orgánicos, limitado o cero uso de biocidas y largos periodos de barbecho. Un nivel alto de insumos se define como aquel en donde hay uso de fertilizantes, manejo de plagas y enfermedades y periodos de barbecho cortos. El cuadro 5.10 en Fischer y otros (2002) muestra el potencial de rendimiento bajo niveles intermedios y altos de insumos para diferentes cultivos en varias regiones climáticas.

remolacha. En cambio, Argentina, Brasil y Uruguay tienen tierras aptas, pero actualmente no sembradas con remolacha azucarera.

El trigo es cultivado prácticamente en toda América Latina. Solamente Colombia, Guatemala, Honduras y Venezuela no cuentan con áreas excedentarias aptas para alcanzar una mezcla E5. En el caso del maíz la mayor parte de los países sudamericanos cuentan con suficiente tierra disponible para la producción de etanol. La excepción es Colombia, pues presenta un área negativa, indicando que parte de su producción actual debe sembrarse (bajo las condiciones asumidas) en tierras no aptas para el cultivo. En Centroamérica y el Caribe, solamente Nicaragua y Cuba cuentan con superficie excedentaria adecuada para la producción de etanol.

De todos los cultivos, la yuca es la que tiene mayor superficie potencial en América Latina siendo sus terrenos aptos y suficientes para un 5% de mezcla. Las únicas excepciones a esto son Argentina, Belice y Jamaica.

Gráfico 4
MÁXIMA EXPANSIÓN POSIBLE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA (PALMA Y SOJA) (1000 HAS)



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL

En el caso del biodiesel vemos que para la palma aceitera en Sudamérica hay suficiente área de expansión pues solamente se requieren 632.000 hectáreas de las 78,2 millones de has aptas para esta especie (véase el gráfico 4). Todos los países de Centroamérica y México productores de palma pueden expandir sin problemas sus áreas cultivadas, mientras que en el Caribe existen tierras aptas para la palma aceitera solo en Cuba, Haití, Jamaica y República Dominicana.

En el caso de la soja, Argentina es la que posee la mayor área disponible (22,7 millones de has) frente al área requerida (un millón de has). Por otro lado, Brasil, Colombia, Paraguay y Perú no disponen de tierras adicionales suficientes para alcanzar la mezcla propuesta, debiendo desviar parte de su producción actual bajo el riesgo de crear presiones de precios en sus mercados (internos y externos). En el caso de México y Centroamérica, México tiene la mayor disponibilidad de tierras con alrededor de 6,7 millones de hectáreas, mientras que hay limitaciones para expansión de soja en Belice, Guatemala y Panamá. En el Caribe hay amplia disponibilidad de tierra en Cuba, Haití y República Dominicana.

Para el girasol, los países que tienen mayor oportunidad de expansión son Argentina con 15 millones de has y Uruguay con 3 millones de has mientras que en Brasil, Chile, Ecuador, Paraguay, Venezuela y México la extensión disponible no llega a cubrir los requerimientos de tierras necesarias para alcanzar un B5. El ricino tiene disponibilidad de expansión en México, mientras que en Brasil, Ecuador y Paraguay su expansión es limitada. En el Caribe, el girasol y el ricino no son especies aptas bajo las condiciones asumidas. Sin embargo, el ricino es cultivado en Haití aunque con un rendimiento medio de solo 0,56 ton/ha, casi la mitad del obtenido en Paraguay (ver cuadro 4).

d) Potencial de producción de biocombustibles considerando objetivos de reducción de la desnutrición

Una preocupación constante respecto a la producción de biocombustibles es la posibilidad de que estos compitan por insumos con la producción de alimentos. Dicha competencia pudiera impactar negativamente la producción de alimentos para consumo humano y animal. Ludeña y otros (2007) muestran que para los países de Sudamérica hay suficiente área para producir tanto biocombustibles como alimentos, asegurando metas de disminución en indicadores de desnutrición.

Sin embargo, varios países de Centro América y el Caribe tienen ya indicadores de desnutrición altos y tienen limitaciones de área para abastecer tanto la demanda de alimentos como la de biocombustibles. Estos países, además ya son importadores netos de alimentos. Por lo tanto, van a tener que decidir a futuro entre la producción de alimentos, la mayor importación de alimentos, la producción de biocombustibles, o la mayor importación de combustibles. La producción de biocombustibles definitivamente podría acentuar la condición de estos países como importadores netos de alimentos, lo cual a su vez puede tener implicaciones importantes en su independencia y seguridad alimentaria.

Cuadro 7
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003) ÁREA REQUERIDA VERSUS SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO PARA UNA MEZCLA DE ETANOL E5
(en miles de has)

Países	Caña de Azúcar		Maíz		Remolacha Azucarera		Trigo		Yuca o Mandioca	
	Área requerida	Área potencial	Área requerida	Área potencial	Área requerida	Área potencial	Área requerida	Área potencial	Área requerida	Área potencial
Sudamérica	364	67 243	2 130	56 823	516	39 896	6 888	55 758	704	101 379
Argentina	36	6 667	86	24 893	0	26 252	237	33 120	71	38
Bolivia	9	8 818	39	5 645	0	0	103	833	11	25 947
Brasil	141	29 751	662	13 320	0	3 464	1 267	5 306	223	46 202
Chile	0	0	40	128	22	-40	103	489	0	0
Colombia	40	6 274	349	-377	0	0	389	174	101	8 662
Ecuador	18	907	231	359	203	-1	506	601	97	499
Paraguay	3	4 505	14	2 987	0	0	24	654	3	868
Perú	7	6 000	70	302	0	0	153	1 313	24	2 210
Uruguay	4	1 265	13	5 710	0	10 222	24	13 153	0	0
Venezuela	97	3 056	411	3 856	286	-1	4 330	115	158	16 953
México y Centroamérica	264	6 379	1 787	-1 658	328	0	1 078	3 653	552	9 616
México	236	3 461	1 397	-1 121	0	0	831	3 604	367	5 444
Belize	3	127	10	0	0	0	0	0	3	0
Costa Rica	6	-49	59	-8	0	0	0	0	10	191
El Salvador	4	1 264	28	12	0	0	0	0	7	262
Guatemala	7	432	79	-563	0	0	79	-3	67	922
Honduras	3	923	39	-151	0	0	124	40	22	718
Nicaragua	2	221	22	238	0	0	0	12	4	1 222
Panamá	6	2 190	54	-65	0	0	0	0	8	857
Caribe	54	712	323	643	0	0	0	0	88	3 759
Bahamas	3	1 022	7	0	0	0	0	0	2	278
Cuba	10	371	29	871	0	0	0	0	18	2 968
Haití	24	55	149	-1	0	0	0	0	38	393
Jamaica	2	31	25	-226	0	0	0	0	6	121
Rep. Dominicana	8	31	75	-1	0	0	0	0	7	-1

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT, Fischer y otros (2002) y FAO/IIASA *Global agro-ecological assessment for agriculture in the twenty-first century* CD-ROM, 2005. Nota: El signo negativo denota que el área actual sobrepasa el área de cultivo apta o muy apta sin riego y con aplicación de nivel intermedio de insumos.

Cuadro 8
ÁREA REQUERIDA VERSUS SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO PARA UNA MEZCLA DE BIODIESEL B5
(en miles de has.)

Países	Palma Aceitera		Soja		Girasol		Ricino	
	Área requerida	Área Potencial						
Sudamérica	635	87 444	7 715	33 993	6 945	19 447	8 929	48 498
Argentina	0	0	1 053	22 758	887	15 177	0	37 764
Bolivia	0	6 058	107	4 296	122	143	0	982
Brasil	475	45 526	3 707	814	3 332	420	6 202	830
Chile	0	0	0	222	471	239	0	190
Colombia	33	10 544	571	143	0	0	0	0
Ecuador	30	1 070	378	476	256	19	408	214
Paraguay	13	798	100	-925	112	-13	100	55
Perú	26	10 910	523	111	0	340	0	1 462
Uruguay	0	0	111	2 992	105	3 118	0	6 984
Venezuela	56	3 358	539	2 913	945	4	0	16
México y Centroamérica	178	3 779	3 509	7 683	2 372	1 507	3 741	4 300
México	137	1 482	2 959	6 682	3 189	1 507	4 049	4 189
Belize	0	0	15	0	0	0	0	0
Costa Rica	5	221	0	0	0	0	0	0
El Salvador	0	0	83	258	0	0	0	1
Guatemala	6	808	97	13	0	0	0	0
Honduras	5	421	109	173	0	0	0	98
Nicaragua	2	768	56	557	0	0	0	12
Panamá	10	78	272	0	0	0	0	0
Caribe	18	612	0	930	0	0	72	0
Bahamas	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuba	0	217	0	868	0	0	0	0
Haití	18	294	0	24	0	0	0	0
Jamaica	0	44	0	38	0	0	70	0
República Dominicana	0	57	0	0	0	0	0	0

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT y FAO/IIASA, Global agro-ecological assessment for agriculture in the twenty-first century CD-ROM 2005. Nota: El signo negativo denota que el área actual sobrepasa el área de cultivo apta o muy apta sin riego y con aplicación de nivel intermedio de insumos.

II. Insumos materiales necesarios para la producción de los cultivos bioenergéticos

En América Latina, un aumento de la superficie de cultivos para biocombustibles significaría un consecuente incremento de la demanda de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, pesticidas, herbicidas, maquinaria y agua. Esto tiene importantes implicaciones para los mercados internos de estos insumos, tanto del lado de la oferta como de la demanda. Esta sección analiza el efecto neto de requerimientos de insumos, mientras el efecto en precios y el posible efecto en el empleo son analizados en el documento *“Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina. Serie de Desarrollo Productivo N° 178.*

1. Consumo de fertilizantes

El cuadro 9 muestra el consumo promedio de fertilizantes de la región por cultivo. Cabe notar que las cifras reflejan un uso promedio, y no la heterogeneidad del uso de fertilizantes por cultivo a lo largo de la región. Un ejemplo claro es el caso de Bolivia, en donde el porcentaje de área fertilizada es de 4% para el maíz en grano, 5,7% para el trigo, y 9,7% para la caña de azúcar, con una tasa de adopción de fertilizantes minerales baja comparada con recomendaciones del proyecto FAO-Fertisuelos. En el caso del trigo y maíz la recomendación es de 40-40-00 kg/ha (80 kg/ha), sin embargo la adopción es de solamente 2,2 y 1,2 kg/ha respectivamente (FAO, 1999). El cuadro 10 ilustra la heterogeneidad de usos de fertilizante por cultivo y región en Brasil.

Cuadro 9
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 15 PAÍSES. CONSUMO PROMEDIO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO

Cultivo	Tasa de Aplicación de Fertilizante (kg/ha)	Porcentaje Área fertilizada ^a
Maíz	157	72
Trigo	160	80
Caña de Azúcar	208	77
Remolacha Azucarera	540	95
Yuca	103	14
Palma Aceitera	206	89
Soja	84	63
Girasol	147	32
Canola o Raps	320	100
Pasturas	81	38

Fuente: Consumo de fertilizantes por país de FAO y FAO (2003 y 2004a).

^a Los valores estimados son promedios basados en datos para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Nicaragua, Paraguay, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

^b Para estimación de los valores promedio por cultivo a nivel país véase cuadro 4 en Anexo 1.

Es importante destacar que no todas las áreas bajo cultivo requieren fertilización. Los requerimientos de fertilizantes varían por región, por cultivo y varían también en el tiempo. Así, por ejemplo, en la Argentina, el porcentaje de área fertilizada en maíz ha aumentado de 40 a 85%, en caña de 55 a 65%, y en trigo de 70 a 85%, mientras que en soja ha disminuido de 50 a 30% y en girasol de 50 a 29%. El consumo distinto de fertilizantes para un mismo cultivo en distintas regiones se muestra para el caso de Brasil en el cuadro 10. Esto tiene importantes implicaciones para las proyecciones de requerimientos futuros de fertilizantes y otros productos químicos ante la posible expansión de ciertos cultivos por mayor demanda para biocombustibles.

Cuadro 10
CONSUMO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO Y POR REGIÓN EN BRASIL
(kg/ha)

Cultivo	Región	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
Caña de Azúcar	Nacional	55	51	110	216
	Norte	14	28	63	105
	Nordeste	31	30	79	140
	Centro Oeste	57	60	130	247
	Sureste	61	57	118	236
	Sur	76	45	113	234
Maíz	Nacional	40	35	33	108
	Norte	10	22	20	52
	Nordeste	22	23	25	70
	Centro Oeste	40	46	41	127
	Sureste	43	44	37	124
	Sur	53	35	35	123
Soja	Nacional	8	66	62	136
	Norte	2	36	33	71

(continúa)

Cuadro 10 (conclusión)

	Nordeste	4	39	41	84
	Centro Oeste	7	76	68	151
	Sureste	7	73	62	142
	Sur	9	58	60	127
Trigo	Nacional	12	50	47	109
	Norte	0	0	0	0
	Nordeste	0	0	0	0
	Centro Oeste	9	64	53	126
	Sureste	9	62	48	119
	Sur	12	49	47	108

Fuente: FAO Fertilizer use by Crop in Brazil, Rome, 2004b.

2. Consumo de agua

Los resultados de requerimiento de agua de riego para la región en m³/ha se presentan en el cuadro 11, mientras que el cuadro 9 en el anexo 1 contiene los valores por cultivo para cada país. Todos los valores equivalen a las necesidades de agua para riego, es decir, en donde se toma ya en cuenta las necesidades cubiertas por agua de lluvia, con excepción de la yuca, palma aceitera, el ricino y la colza, casos en que se refiere a necesidades de agua total, es decir, agua de lluvia más riego.

Para el cálculo del requerimiento de agua para cada cultivo se utilizaron los programas computacionales CROPWAT (FAO, 1998) y ARC (Cazanga y otros, 2001).¹³ Ambos programas permiten calcular evapotranspiración, requerimientos de agua por cultivo, y requerimientos de riego.¹⁴ También permiten desarrollar planes de riego bajo varios tipos de condiciones de manejo de agua, evaluar los efectos de sequías, producción bajo lluvia y la eficiencia de prácticas de riego.

CROPWAT tiene el soporte de la base climatológica CLIMWAT (FAO, 1993). Los datos climatológicos incluyen temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa promedio diaria, horas de luz, velocidad del viento, precipitación y valores referencia de evapotranspiración y lluvia efectiva, además de datos de latitud (Norte/Sur). La base de datos de CLIMWAT incluye datos de un total de 3.262 estaciones meteorológicas de 144 países.

Se puede observar que los cultivos con mayores requerimientos de agua para riego son la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Cultivos con bajos requerimientos de agua para riego a nivel regional son el maíz, el trigo y la soja.

De entre aquellos cultivos con requerimientos de agua total (yuca, palma aceitera, colza y ricino), la palma aceitera es el cultivo con el más alto requerimiento. Sin embargo, para este cultivo la práctica de riego en los países donde hay mayor producción (Colombia y Ecuador) es limitada, por lo que se puede deducir que la mayor parte de agua para este cultivo provendrá de la precipitación.

¹⁴ ARC es una versión de CROPWAT desarrollado por la Oficina Regional de FAO para América Latina y el Caribe y se enfoca especialmente en los países de América del Sur.

¹⁴ Ambos programas basan el cálculo de requerimientos de agua en la evapotranspiración de los cultivos, mediante el método de Penman-Monteith, utilizando los coeficientes por etapa de cultivo (FAO, 1998, 2006c).

Cuadro 11
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: REQUERIMIENTOS DE AGUA DE RIEGO POR CULTIVO
(en milímetros por hectárea)

Cultivo	Requerimiento de Agua
Caña de azúcar	4 038
Maíz	1 563
Remolacha azucarera	6 319
Trigo	1 712
Yuca	11 452 ^a
Sorgo	2 258
Palma aceitera	16 929 ^a
Soja	1 926
Girasol	2 359
Ricino	7 000 ^a
Algodón	2 395
Colza	3 000 ^a

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a varias fuentes.

Nota: Las cifras son promedios ponderados por superficie en cultivo en cada país; para mayor información ver la nota técnica del anexo 1 cuadro del apéndice.

^a Incluyen datos de requerimiento de agua en general

3. Requerimientos de otros insumos

Para obtener los datos de insumos (pesticidas, herbicidas, semillas), maquinaria y mano de obra, se recurrió a los sitios oficiales de cada país tales como Ministerios, Secretarías, Institutos de información agropecuaria y estadísticas. Una vez agotado ese recurso, se contactó a funcionarios de cada organismo para obtener la información que no se encontraba disponible en Internet. Los datos han sido homogeneizados en cuanto a medidas empleadas tal como se indica en las notas que acompañan desde el cuadro 5 al cuadro 8 del anexo 1.

Los datos mostrados en los cuadros 5 al 8 del anexo no se analizan en detalle. El propósito es mostrar rangos, y sobre todo la gran heterogeneidad de los usos actuales de insumos por cultivo y por país, dadas las diversas necesidades en cuanto a clima, calidad de suelo, incidencia de plagas y malezas, manejo del cultivo, nivel de tecnología, grado de integración a los mercados, etc. Esta heterogeneidad de requerimientos y usos hacen imposible determinar una “receta” exacta de las cantidades necesarias de cada insumo por país o por región. Hay que enfatizar que los datos en el anexo deben tomarse como una guía general, y que al momento de que cada país evalúe los requerimientos de insumo, lo haga a partir de sus propias realidades micro-regionales.

4. Requisitos tecnológicos

Los requerimientos de tecnología para la producción de materia prima para biocombustibles, ya están disponibles y no necesitarían ninguna nueva tecnología para su producción. Sin embargo, hay que señalar que las grandes diferencias de rendimientos promedio entre países se deben a condiciones agro-climáticas distintas, pero también a la no cabal utilización de los conocimientos y tecnologías disponibles. Asimismo, al interior de cada país existen fuertes diferencias entre los

rendimientos obtenidos. El uso de semilla mejorada y de nuevas variedades con mayores rendimientos, mayor contenido de aceite o sacarosa y mejor rendimiento en fermentación es uno de los elementos clave para una mayor producción. También se debe modernizar el sistema de transporte y almacenamiento para asegurar un mínimo de pérdidas durante estas fases.

En el caso de la caña de azúcar, se busca la extensión de la zafra a alrededor de 200 días de producción usando una combinación de variedades precoces y tardías (IICA, 2005). También se prevé que se necesitará el desarrollo de nueva maquinaria que facilite la cosecha de residuos de cultivo (por ejemplo, viñaza y bagazo en caña de azúcar), bajo fundamentos de sostenibilidad y reducción de la erosión de suelo.

III. El potencial bioenergético de la silvicultura

1. Producción de biomasa a partir de silvicultura

Por ahora, la tecnología para una conversión eficiente de lignocelulosa¹⁵ a biocombustibles líquidos no está a punto. No obstante, se espera que de aquí a 15-20 años esta tecnología sea mucho más costo - eficiente que la producción de bioetanol o biodiesel y a un menor costo de oportunidad con la alimentación humana y animal. Es por esta razón que se ha incluido un capítulo sobre el potencial bioenergético de la silvicultura en este documento.

La biomasa obtenida de la silvicultura puede usarse en la generación de energía como calor, electricidad y combustibles líquidos. Esta fuente de energía representa el 14% de la oferta mundial primaria de energía, siendo utilizada en su gran mayoría en países en desarrollo (75%), y en menor proporción en países industrializados (25%). Su uso es principalmente para consumo en el hogar y en menor escala para propósitos industriales (Parikka, 2004).

De los bosques se puede extraer materia prima para su procesamiento y utilización como biocombustible a partir de la biomasa recogida del suelo, del manejo sustentable de bosques nativos, de bosques sembrados y de los residuos generados en el

¹⁵ Los componentes estructurales de la madera –lignina, celulosa y hemicelulosa– forman un complejo físico y químico cerrado llamado lignocelulosa.

proceso de industrialización de la madera y sus derivados. En países menos desarrollados, el consumo principal de la materia forestal es leña y carbón vegetal. En los países industrializados, procesamientos ulteriores transforman el material en briquetas y pellets de madera utilizados para calefacción, así como también en combustibles líquidos y gaseosos.

Un factor clave en el aprovechamiento de la biomasa forestal es la accesibilidad a las zonas productoras y el costo de recolección y transporte del material, así como un manejo integral de los residuos provenientes de los productos maderables.

El área actual estimada con bosques a nivel mundial es de 3.952 millones de hectáreas o alrededor de 40 millones de km² de las cuales 36% son bosques naturales y el resto son plantados (FAO Forest Resources Assessment 2005). El 56% son tropicales y subtropicales, y el 44% restante son bosques templados y boreales. La biomasa total hallada sobre el suelo es de aproximadamente 420 mil millones de toneladas de las cuales el 40% se encuentran en Sudamérica y el 27% sólo en Brasil.

La importancia relativa de la región es por lo tanto grande y también lo es en muchos de los productos forestales. Así, la región es el tercer productor mundial de madera carburante con 364 millones de m³ (18% del total mundial).

Cuadro 12
PRODUCCIÓN DE RECURSOS FORESTALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2005)
(miles de m³/tonelada)

País	Combustible de madera	Madera en rollo industrial	Madera aserrada	Paneles a base de madera	Pulpa para Papel	Papel y cartón
Mundo	1.979.000	1 588.000	391.000	195.000	185.000	325.000
América Latina y Caribe	279.966	175.720	39.820	11.081	14.752	17.293
América del Sur	195.715	163.441	34.820	10.370	14.359	12.543
Argentina	3.972	9.706	1.388	1.112	909	1.230
Bolivia	2.251	650	347	12	--	--
Brasil	137.756	110.470	21.200	6.283	9.529	8.221
Chile	13.522	29.432	8.015	1.927	3.338	1.170
Colombia	8.021	1.993	622	225	381	899
Ecuador	5.507	1.211	755	261	2	100
Guyana	863	481	36	51	--	--
Paraguay	6.047	4.044	550	161	--	13
Perú	9.522	1.635	671	97	17	91
Surinam	45	161	59	2	--	--
Uruguay	4.367	2.132	230	6	41	96
Venezuela	3.843	1.526	947	233	142	723
México y América Central	78.327	10.869	4.703	562	392	4.593
México	38.448	6.913	2.962	430	375	4.391
Belice	126	62	35	--	--	--
Costa Rica	3.438	1.687	812	65	10	20
El Salvador	4.199	682	16	--	--	56
Guatemala	16.265	419	366	43	--	31
Honduras	8.698	920	437	9	7	95
Nicaragua	5.948	93	45	8	--	--
Panamá	1.205	93	30	7	--	--
Caribe	5.925	1.410	297	149	1	157
Bahamas	--	17	1	--	--	--

(Continúa)

Cuadro 12 (conclusión)

Barbados	--	5	--	--	--	--
Cuba	2.746	808	181	149	1	27
República Dominicana	556	6	--	--	--	130
Guadalupe	15	0,3	1	--	--	--
Haití	2.000	239	14	--	--	--
Jamaica	563	282	66	--	--	--
Martinica	10	2	1	--	--	--
Trinidad y Tobago	34	51	33	--	--	--

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT.

2. Conversión de productos de la silvicultura a combustibles líquidos

El potencial energético a partir de productos forestales según Hoogwijk y otros (2003) varía entre cero y 358 EJ por año. Esto es aproximadamente 0-32% del potencial total de la biomasa. Esta variación en el potencial de los recursos maderables se debe a varios factores, como por ejemplo, el tipo de biomasa que se considera. Muchos estudios consideran solamente residuos de la tala, proceso y descartes del proceso de producción, mientras otros también consideran el crecimiento adicional de los bosques. También hay diferencias en los supuestos teóricos, técnicos, económicos o ecológicos,¹⁶ además de los datos usados.

En cuanto al potencial de la región, Smeets y Faaij (2006) mencionan que para el año 2050 se espera que la producción de bioenergía a partir de recursos forestales sea de entre 6,4 y 27 EJ por año. De estos, entre cero y 25,2 corresponden a crecimiento adicional de los bosques y el resto a residuos del corte y residuos y desechos del procesamiento industrial de la madera. Al igual que para las cifras a nivel mundial, la variación en cifras corresponde a distintos contextos. Las cifras menores para la región corresponden a los potenciales económicos y económico-ecológicos. Estas cifras corresponden entre 4-27% del total mundial de energía a partir de productos forestales.

Los resultados anteriores denotan de cierta manera que en la actualidad, la obtención de biocombustibles líquidos a partir de fuentes silvícolas, tiene elevados costos de procesamiento por lo que su potencial para América Latina y el Caribe es mucho menor. El costo estimado de producción de etanol a partir de fuentes lignocelulósicas era de 1,2 dólares por litro equivalente de gasolina (LEG) en la década de los ochenta. Actualmente el costo es de 0,8 dólares/LEG y para el 2010 se espera alcanzar 0,37 dólares/LEG.¹⁷ Para fines comparativos, podemos observar que el costo en abril del 2005 del litro de gasolina era de solo 0,355 dólares con un precio de 52 dólares por barril de petróleo.

Actualmente se están utilizando para la generación de energía algunas especies arbóreas de ciclo corto como el eucalipto, sauce y álamo. Esto permite hacer un manejo más rentable y sustentable de la producción de energía a partir de recursos forestales. La biomasa de estos cultivos además de generar fuerza y energía térmica a través de la co-combustión y gasificación, tienen alto contenido de celulosa y hemicelulosa, ideal para la biorefinación de combustibles líquidos como el etanol, metanol, biodiesel y otros productos como plásticos biodegradables y químicos especiales (Ruark, 2006).

¹⁶ El potencial teórico corresponde a la máxima producción potencial de los bosques, mientras que el potencial técnico considera limitaciones debido a barreras técnicas. El potencial económico considera el potencial técnico que puede ser producido rentablemente, mientras que el potencial ecológico adiciona un criterio de cero reducción de la biodiversidad al criterio económico. Por último el económico-ecológico está limitado al crecimiento de bosques comerciales.

¹⁷ La Nación, 26 de septiembre de 2006

De acuerdo al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), las variedades arbóreas de alto potencial para combustibles son: el álamo híbrido, con un rendimiento de 12 a 17 toneladas de materia seca/ha/año; y el sauce (bajo riego y manejo de campo), con potenciales rendimientos de 27 a 30 toneladas de materia seca/ha/año, además de ser de fácil propagación y ciclo corto (Ruark, 2006). Actualmente en Estados Unidos los rendimientos de especies maderables de ciclo corto como el álamo y el sauce, así como gramíneas dedicadas a biocombustibles (*switchgrass panicum vergatum*) presentan rendimientos medios de 12 toneladas de materia seca/ha/año.

Dados los altos costos de la transformación de biomasa lignocelulósica en etanol o biodiesel, en el corto plazo una expansión de su producción en América Latina y el Caribe es poco probable, en especial si existen otros cultivos bioenergéticos más eficientes como la caña de azúcar. Sin embargo, la utilización de residuos o leña y su industrialización a briquetas y pellets (usados ampliamente en países industrializados) presenta las mejores oportunidades actuales de expansión en la generación de energía a partir de recursos forestales renovables.

IV. El potencial bioenergético a partir de los residuos

El uso de los residuos de cultivos, actividades forestales y de otras actividades no agrícolas también es una potencial fuente para biocombustibles. En este capítulo se analiza la posibilidad de producción de combustibles líquidos a partir de residuos de cultivos y de silvicultura; sin embargo, no se considera la producción de combustibles que no sean líquidos, como la producción de biogás a partir de desechos municipales o el uso de residuos como combustible sólido (por ejemplo, quema de bagazo de caña). De acuerdo al Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, 2003), la utilización de residuos es una de las materia primas para biocombustibles con mejores posibilidades de uso a corto plazo, ya que éstas son un subproducto (de la producción de cultivos, granos, frutas, etc.) que es actualmente abundante, subutilizado y de bajo costo. La razón de su bajo costo es que al ser un subproducto del proceso de cosecha y transformación de los productos, los residuos o desechos no incurren en nuevos costos para el agricultor.

1. Los residuos de cultivos y de la silvicultura

Bhattachrya y otros (2005) definen a los residuos, como todos los materiales orgánicos que son producidos como subproductos de la cosecha o el procesamiento de cultivos agrícolas. Existen dos tipos de residuos: residuos primarios y residuos secundarios. Los residuos primarios son aquellos que se producen al momento de la cosecha (por ejemplo la paja de arroz), mientras que los residuos secundarios son aquellos que se

producen del procesamiento, como por ejemplo la cáscara del arroz o el bagazo de caña. Los residuos primarios son más difíciles de coleccionar, además que tienen otros usos como fertilizantes, alimento animal, etc. Es por esto que los residuos secundarios se vuelven más atractivos como una fuente de energía para las mismas plantas procesadoras, con un costo mínimo de transporte y manejo.

Hoogwijk y otros (2003) mencionan que el potencial mundial de residuos depende especialmente de la producción de cultivos y forrajes. Estos autores mencionan que la mayoría de los estudios sobre este tema asumen que aproximadamente 25% de los residuos agrícolas disponibles pueden ser recuperados. Basados en estas suposiciones, se calcula que el potencial de producción de energía a partir de residuos agrícolas primarios es de entre 5-27 EJ por año. En cuanto a fuentes secundarias, mencionan que en la mayoría de los estudios sólo se toma en cuenta el bagazo como fuente de energía, el cual se asume que es recuperado y usado como energía en un 100%. Basados en estas suposiciones se estima que el potencial de producción de energía es de 5 EJ por año. Es decir, el potencial total de producción de energía a partir de residuos de la agricultura sería entre 10 y 32 EJ por año. Para residuos forestales, Hoogwijk y otros (2003) consideran que de los residuos de tala de árboles y de los aserraderos se pueden obtener entre 10 y 16 EJ por año, dependiendo de la recuperación de residuos y de la productividad de los bosques.

Para América Latina y el Caribe, Kim y Dale (2004) estiman que en base a residuos de maíz, arroz, cebada, centeno, trigo, sorgo, y caña de azúcar,¹⁸ se puede producir (tanto de las pérdidas de cultivo como de masa lignocelulósica) un total de 44,22 Giga litros de gasolina (GL)¹⁹ de bioetanol (un 9% del total mundial a partir de estos materiales). De éstos, un 87% proviene de masa lignocelulósica y un 13% de residuos de cultivos. Sudamérica proveería con un 90% del total, es decir 40,1 GL de bioetanol, con Centro América y el Caribe proveyendo el resto. Un 80% del potencial de energía a partir de residuos proviene de 3 fuentes principales: bagazo de caña (23,6 GL), pajilla de arroz (7,35 GL), y residuos de maíz (4,1 GL).

En el estudio más reciente, Smeets y otros (2007) estiman que el potencial energético para América Latina a partir de residuos al año 2050 podría variar entre 12 y 14 EJ por año, neto de residuos usados para alimentación animal. Estas cifras representan entre 14 y 15% del total mundial a partir de esta fuente bioenergética. Del total, la mayoría corresponde a residuos de cosecha de cultivos (10 a 12 EJ por año), mientras que de otras fuentes como residuos de procesos secundarios y de residuos forestales son dos y un EJ por año, respectivamente. Por otro lado, Yamamoto y otros (2001) estiman que para el 2100, las principales fuentes de energía en base a residuos en la región van a ser los residuos de la cosecha de cereales (54%), residuos forestales y de papel (27%) y bagazo y desechos de la cosecha de caña (8%).

Los residuos son importantes en la formulación de políticas de diversificación energética. Por ejemplo, en el caso de los Estados Unidos, el DOE (2003) menciona que la meta para el año 2030 es que la producción de biomasa supla el 5% de la energía para plantas eléctricas, 20% de los combustibles de transporte y 25% de los químicos. Estas cifras son equivalentes a aproximadamente 30% del consumo actual de petróleo. De estas cifras, se prevé que la mayor parte va a provenir de residuos de cultivo, ya que son la mayor fuente de lignocelulosa, y de estos la producción de madera representa el mayor volumen de residuos.

El programa de biocombustibles de Estados Unidos prevé que los residuos de cultivos van a permitir establecer y expandir la industria biorefinadora. Esto permitirá a futuro, y ya con una infraestructura de biorefinación establecida y rentable, que otros recursos de biomasa como los desechos urbanos y los residuos forestales puedan ser usados más efectivamente y que cultivos

¹⁸ En su análisis del potencial de bioenergía a partir de residuos, y para evitar conflictos con el uso de cultivos como alimento humano y animal, solamente toman en cuenta la fracción de cultivos que se pierde debido a manejo, almacenamiento y transporte.

¹⁹ Un Giga litro 1GL es igual a 10⁹ lt o 1hm³ o hectómetro cúbico.

dedicados específicamente para esto (como el switchgrass y árboles de rápido crecimiento) puedan ser desarrollados e implementados (DOE, 2003).

Esta misma visión puede ser aplicada para América Latina y el Caribe, debido a la abundancia en esta región de desechos de cultivos, como se verá más adelante. Al igual que en Estados Unidos, se debe buscar que haya una producción continua de biomasa, con una oferta de materia prima de calidad, que ayude a mantener y estimular el desarrollo de una industria de biocombustibles a nivel regional.

2. Rendimientos energéticos de los residuos

Leventon (2000) estima que de los residuos de maíz, se pueden producir 345 litros de etanol por tonelada de biomasa, con una eficiencia de energía de 1,0. El cuadro 14 muestra el rendimiento de etanol a partir de diversos residuos de cultivo. De los productos potencialmente disponibles en América Latina y el Caribe, los residuos más eficientes en la producción de etanol son el bagazo de caña (280 lt/ton), residuos de maíz (290 lt/ton), y la pajilla de arroz (280 lt/ton).

Cuadro 13
COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CULTIVO Y RENDIMIENTO DE ETANOL

Residuo	Cociente residuo/cultivo	Materia Seca (%)	Lignina (%)	Carbohidratos (%)	Rendimiento de etanol (litros/tonelada de material seca)
Paja de cebada	1.2	81.0	9.0	70.0	310
Residuo de maíz	1.0	78.5	18.7	58.3	290
Paja de avena	1.3	90.1	13.8	59.1	260
Paja de arroz	1.4	88.0	7.1	49.3	280
Paja de sorgo	1.3	88.0	15.0	61.0	270
Paja de trigo	1.3	90.1	16.0	54.0	290
Bagazo de caña	0.6 ^a	71.0	14.5	67.2	280
Residuo de algodón	--	--	--	--	220 ^b
Cortes de poda forestales	--	--	--	--	310 ^b
Polvillo de acerraderos	--	--	--	--	350 ^b
Mixtura de papel	--	--	--	--	440 ^b

Fuente: Kim y Dale,(2004) Table 2 y U.S. DOE (2007).

http://www1.eere.energy.gov/biomass/ethanol_yield_calculator.html

^a kg. de bagazo por kg. de azúcar.

^b Rendimientos teóricos (aproximadamente 60-90% del rendimiento práctico).

3. Potencial de biocombustibles a partir de residuos en América Latina

Para poder analizar más detenidamente el potencial de la producción de biocombustibles a partir de residuos en América Latina y el Caribe, se analiza la disponibilidad de desechos de cultivos en esta región. El cuadro 15 contiene la cantidad, en toneladas de desechos por grupos de alimentos en América Latina y el Caribe. La mayor parte de los desechos son frutas y cereales, seguidos por raíces y tubérculos y cultivos azucareros. De éstos, los principales cultivos por cantidad, en miles de toneladas, son maíz, caña de azúcar, plátanos y bananas, y yuca.

Cuadro 14
FUENTES DE DESECHOS DE CULTIVO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (PROMEDIO 1998-2003)

Categorías y cultivos	Cantidad de desechos (miles ton)	Participación por Categoría (%)	Participación total (%)
Frutas	11 087	--	30
Bananas y Plátanos	3 502	32	--
Naranjas y mandarinas	3 140	28	--
Otras Frutas	2 393	22	--
Cereales	10 848	--	29
Maíz	7 217	67	--
Trigo	1 790	17	--
Arroz (Elaborado)	1 217	11	--
Raíces y Tubérculos	5 595	--	15
Yuca o mandioca	3 242	58	--
Papas	1 915	34	--
Caña de Azúcar	4 739	--	13
Vegetales	3 860	--	10
Otros Vegetales	2 387	62	--
Tomates	1 036	27	--
Cebollas	436	11	--
Cultivos Oleaginosos	892	--	2
Frijoles	239	--	1
Total	37 260	--	100

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de Balances de Alimentos de FAOSTAT.

Como se puede observar, la disponibilidad de desechos de cultivo es bastante amplia, y no tiene que ser subestimada. En Brasil, el bagazo de caña es potencialmente una fuente importante de etanol. Debido a que mucha de la biomasa de la caña es dejada en el campo o quemada, el uso de esta fuente de biocombustible puede incrementar de gran manera la producción de este país. En el caso de los Estados Unidos, se estima que a futuro, la mayoría de los insumos para la producción de biocombustibles no va a venir de la conversión de grano a etanol o biodiesel, sino de la utilización de desechos de cultivos y otros residuos (USDA-DOE, 2005). La Administración de Información Energética (EIA, 2004) estima que en Estados Unidos, los residuos de maíz podrían proveer 10 veces la producción actual de etanol.

Aunque no se dispone, por el momento, de cifras de residuos de productos forestales, los cuales incluyen residuos de la tala, corteza, residuos del aserrado, etc., es posible afirmar que su potencial también es grande. Sims (2003) cita el ejemplo de Nueva Zelanda en donde el potencial de uso de residuos forestales es estimado en 60-70 pentajoules²⁰ por año. La remoción y utilización de residuos forestales se puede integrar a un manejo forestal sostenible y puede reducir el riesgo de incendios forestales sin tener un efecto negativo en el ecosistema. Estos residuos pueden ser transformados en combustibles líquidos a través de técnicas enzimáticas de hidrólisis o gasificación.

²⁰ Un pentajoule es igual a 10¹⁵ J.

Tomando en cuenta los valores de desecho de cultivos y el potencial de producción de etanol por cada tipo de desecho (cuadro 16), estimamos el potencial de producción de biocombustibles a partir de residuos de maíz, arroz, trigo y bagazo de caña de azúcar. Las cifras muestran que solamente de desechos de estos cuatro cultivos, sin tomar en cuenta otras fuentes de desecho como frutas, raíces, tubérculos y vegetales, los cuales representan un 58% de los desechos totales en esta región, se podrían producir alrededor de 4.300 millones de litros de etanol. Estos valores representan una cifra importante si la comparamos con la producción de etanol de Brasil en 2006, donde éste destiló 17 mil millones de litros, y mayor que la producción de Estados Unidos en el mismo periodo que fue de 3.500 millones de litros. Estas cifras denotan el gran potencial de los residuos a nivel regional, lo cual debería ser considerado al momento de planificar programas orientados a la producción de biocombustibles.

Cuadro 15
POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE DESECHOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Fuente	Cantidad de desecho promedio anual (1998-2003) <i>(miles de toneladas)</i>	Rendimiento de etanol <i>(litros/ton)</i>	Producción potencial de Etanol <i>(millones de litros)</i>
Desechos de maíz	7 217	290	2 093
Desechos de trigo	1 790	290	519
Desechos de arroz	1 217	280	341
Bagazo de caña	4 739	280	1 374
Total			4 327

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de datos de FAOSTAT y U.S. Department of Energy.

4. Tecnología y sostenibilidad de la recolección de residuos

Para la producción de biocombustibles a partir de residuos de cosecha, se debe también tomar en cuenta la situación tecnológica de la recolección de dichos residuos. En el caso de los Estados Unidos, donde la cosecha es altamente tecnificada, al cosechar el grano (maíz o trigo) la misma maquinaria embala los residuos en fardos para su mejor transporte o manejo. Sin embargo, y de acuerdo al DOE (2003), este proceso no es el ideal para la industria de biocombustibles. La razón es que durante este proceso una gran cantidad de suelo y piedras se mezcla con los residuos, lo cual limita su disponibilidad para el proceso de biorefinación.

La cosecha de residuos bajo labranza mínima o cero tiene connotaciones positivas y negativas. Por un lado, no es atractiva debido al múltiple paso de maquinaria al cosechar la biomasa de esta manera (DOE, 2003) y por otro, la cosecha de residuos bajo dicho sistema resulta atractiva, ya que mantiene los niveles de carbono en el suelo a pesar de la remoción de residuos.

La decisión económica de coleccionar o no residuos debe tomar en cuenta también la sostenibilidad a largo plazo, especialmente los efectos sobre la calidad de suelo y la productividad de los cultivos. Es por esto que el Departamento de Energía de los Estados Unidos (2003) prevé que la cosecha continua de residuos a gran escala va a demandar el desarrollo e implementación de tecnologías sostenibles para este tipo de proceso.

Lynd y otros (2003) estima que un 50% de los residuos de maíz pueden ser removidos sin causar un efecto negativo al suelo. Es por esto que se prevé el desarrollo de maquinaria que, a la cosecha, sea capaz de remover componentes específicos de residuos; es decir, una cosecha selectiva de los desechos, lo cual cumpliría los requerimientos de sostenibilidad y reducción de la erosión (DOE, 2003; EIA, 2004).

Varios autores han estimado la cantidad de residuos y de biomasa disponible en función del precio pagado por dicha biomasa. El cuadro 17 contiene estimaciones de esta disponibilidad. En los Estados Unidos, la disponibilidad de residuos a partir de cultivos y productos forestales varía entre cero y 178 millones de toneladas. Esto demuestra que con los adecuados incentivos de precios (y de políticas hacia este sector), se puede disponer de gran cantidad de biomasa para su conversión a biocombustibles

Cuadro 16
DISPONIBILIDAD ESTIMADA DE BIOMASA A DIFERENTES NIVELES DE PRECIO
(millones de toneladas de materia seca por año)

	Costo de Biomasa			
	<i>(dólares por tonelada seca enviada)</i>			
	20	30	40	50
Estimación (Sheehan, 2000)				
Residuos de cultivos / forestales	n.d.	37	165	165
Residuos urbanos / molienda	20	21	21	21
Cultivos bioenergéticos	n.d.	n.d.	n.d.	150
Total	20	59	186	336
Estimación (Walsh y otros, 2000)				
Residuos de cultivos / forestales	0	25	155	178
Residuos urbanos / molienda	22	71	71	116
Cultivos bioenergéticos	0	0	60	171
Total	22	96	286	464

Fuente: IAAE, Biofuels for Transport: An international Perspective, Tabla 6.6, 2004.

Nota: Estimados son acumulativos, por ejemplo el nivel de producción a un precio incluye la producción a un menor precio. Precios incluyen costos de transporte de biomasa al centro de procesamiento. n.d.: no disponible

V. El manejo post-cosecha de biomasa para la producción de biocombustibles

Una vez cosechado el producto, es importante asegurar su transporte a los centros de procesamiento para biodiesel o bioetanol. Esta fase es clave, ya que puede haber pérdidas de biomasa que mermen los rendimientos de biocombustible. Por lo tanto, el tratamiento post-cosecha que se le de al cultivo o biomasa va a depender del estado en que se coseche éste. Se considera que la mayor parte de cultivos bioenergéticos como maíz, trigo, soja o palma aceitera, pueden utilizar el mismo sistema de transporte que se ha venido utilizando.

Sin embargo, para otros cultivos bioenergéticos como switchgrass y residuos de cultivo, es necesario modificar el sistema post-cosecha y de transporte. Este cambio se debe a que dichos cultivos requieren de un sistema que asegure la calidad y homogeneidad del producto, además de ser eficiente en costos. Por ejemplo, Purohit y otros (2006) mencionan que la viabilidad de la utilización de residuos agrícolas para la producción de energía (en este caso electricidad) disminuye a medida que la distancia aumenta, por lo que se requiere de sistemas eficientes de transporte. A continuación, esta sección se enfocará principalmente en el transporte de switchgrass, y residuos de cultivos y forestales.

El sistema de transporte y almacenamiento para switchgrass y residuos de cultivos debe ser un sistema integrado en donde se minimicen las pérdidas de biomasa.

Muchas veces la biomasa cosechada se caracteriza por ser un producto heterogéneo, de baja densidad, con un contenido de humedad alto y variable, que contiene suelo y otras impurezas (USDA, 2003). Por ello, requiere de un proceso que busca homogeneizar la biomasa y darle características deseables para su procesamiento y uso final como biocombustible. Este preproceso puede potencialmente consistir de una o más etapas que se listan a continuación: a) limpieza; b) separación y clasificación; c) mezcla; d) control de humedad; e) alteración física y/o densificación y f) tratamiento parcial químico o bioquímico. Después del preproceso sigue generalmente un almacenamiento y transporte a la planta de biocombustibles.

En el caso de la limpieza, se trata de eliminar residuos de suelo y otras impurezas que mermen la calidad de la biomasa, mientras que la separación y clasificación busca la producción de un producto homogéneo. En el caso de la mezcla, se busca que la unión de dos productos dé como resultado una biomasa con mejores características.

Un punto bastante crítico es el control de humedad. En el caso de ciertos residuos de cultivo, se necesita que la humedad relativa al momento de cosechar y embalar sea entre 15% y 35%, mientras el contenido de humedad de los residuos de maíz varía por lo general entre 35 y 50 (USDA-DOE, 2005). Posteriormente, el proceso de control de humedad busca que este contenido de humedad baje hasta menos de 15% para que se pueda almacenar de una manera segura. Si estos niveles de humedad no se cumplen, es muy probable de que la biomasa se descomponga debido a actividad microbiana. Además, la generación de calor debido a las reacciones químicas derivadas del proceso de descomposición puede provocar incendios, los cuales a su vez pueden causar pérdidas considerables al inventario de biomasa.

La alteración física y/o densificación busca facilitar el transporte de la biomasa y mejorar su almacenamiento. La compactación de los residuos es también parte fundamental del sistema de transporte. Generalmente, la biomasa en su estado primario de cosecha tiene una densidad de 64-96 kg/m³ (DOE, 2003). Esta se puede incrementar a 128-160 kg/m³ cuando se reduce la biomasa a pedazos de 0,30 cm., mientras que, si se corta y compacta la biomasa en forma de pellets, esta densidad se puede incrementar a 320-480 kg/m³, mientras más densa la biomasa, menor será el área y volumen requeridos para el almacenamiento y el transporte.

VI. Impactos ambientales

Uno de los temas fundamentales en la discusión acerca de las ventajas de la producción de biocombustibles, es la de neutralidad en la producción de dióxido de carbono. (Reijnders y Huijbregts, 2003). Es decir, no debe contribuir a la polución del medio ambiente, ni generar gases adicionales al calentamiento global, y al mismo tiempo mantener los recursos naturales (Reijnders, 2006).

La producción tradicional de biomasa para energía está usualmente asociada a problemas ambientales. Por ejemplo, en el caso del uso de leña, una fuente de biomasa para energía tradicional, suele asociarse a desertificación y reducción de la capacidad de generación hidroeléctrica. En el caso de la producción de cultivos energéticos, uso de residuos para energía y el de recursos forestales para energía, puede haber problemas con la extracción de materia orgánica del suelo, que al mismo tiempo puede causar la erosión de suelo.

Muchos de los estudios acerca del potencial de biocombustibles, consideran el uso de tierras, especialmente de aquellas que no están en uso actual. Esto puede llevar a la pérdida de ecosistemas, impacto sobre recursos hídricos, etc. Por ejemplo, Kheshgi y otros (2000) estiman que para cubrir la demanda actual de gasolina en los Estados Unidos en base a la producción de etanol a partir de maíz se necesitaría más tierra que toda la tierra que actualmente está bajo producción en ese país.

Reijnders (2006) considera algunos aspectos ambientales acerca de la producción moderna de bioenergía que son cruciales para su sostenibilidad en el largo plazo. Entre éstos, está el impacto sobre las

existencias de recursos naturales, la movilización de elementos, el impacto sobre clima y el efecto sobre seres vivos (plantas y animales).

Dentro de las existencias (o stocks) de recursos naturales están el suelo, la materia orgánica, nutrientes del suelo, combustibles fósiles y agua. La producción de cultivos anuales y perennes puede causar pérdidas de suelo por erosión, que a su vez puede reducir la productividad de los cultivos. La sostenibilidad de la producción de biocombustibles deberá mantener el stock de suelos, lo que actualmente no sucede en muchas de las prácticas de los cultivos considerados como bioenergéticos. La erosión de suelos también puede incrementarse con el uso de residuos de cultivos, pues estos ayudan a mantener la humedad del suelo y el contenido de materia orgánica, factores que ayudan a reducir la erosionabilidad de los suelos por factores como el agua o el viento. Los sistemas de producción sostenible de biocombustibles deberán asegurarse de incorporar prácticas para la reducción de la erosión, como labranza de conservación, barreras vivas, entre otros.

La materia orgánica es importante para mantener la productividad de los cultivos, por ser una importante reserva de nutrientes para la planta como nitrógeno y fósforo, mejorar la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua y ayudar a reducir la erosión. La remoción o quema de residuos tiene impactos negativos sobre el contenido de materia orgánica.

Otro factor importante en la sostenibilidad de la producción es la disponibilidad suficiente de nutrientes, como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. Para que la producción de biocombustibles sea sostenible, los niveles de nutrientes deben mantenerse; pero la acumulación natural de estos nutrientes puede ser menor que su extracción, lo que puede impactar la productividad. Esto es especialmente el caso para nutrientes como nitrógeno y fósforo, y el incremento en el uso de residuos para la producción de energía puede exacerbar este problema. Prácticas como la quema de residuos reduce la disponibilidad de fósforo.

Por ejemplo, en la pampa argentina los balances de nutrientes para los suelos son negativos, a pesar de que se ha incrementado notablemente el uso de nutrientes vía fertilizantes en los últimos 15 años. La estimación de extracción en grano y la aplicación de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en los cuatro principales cultivos indica que, para la campaña 2004/05, se repuso vía fertilización solamente 28%, 42%, 2% y 13% de lo extraído, respectivamente (García, 2006). Estas cifras son similares en los últimos 5-6 años e indican que el crecimiento en el uso de fertilizantes no alcanza a compensar el crecimiento notable que se ha registrado en la producción de granos.

En el caso de la silvicultura Reijnders (2006) discute ampliamente los efectos negativos sobre la mantención de niveles de nutrientes frente a una explotación más intensiva de éstos para la producción de energía, especialmente con ciertas prácticas como la quema para el establecimiento de nuevas plantaciones.

Reijnders (2006) también se refiere a la producción de nitrógeno para uso como fertilizante, a partir de la conversión de metano fósil en amonio. Actualmente, los sistemas de producción de biomasa como cultivos anuales y plantaciones tienen altas tasas de lixiviación de nitrógeno. En un sistema intensivo, la recuperación de nitrógeno es alrededor de 50% o menos (Tinker (1997) y Tilman y otros (2002) citados por Reijnders (2006)). La intensificación de la producción de cultivos o la expansión de la frontera agrícola puede generar presión adicional en cuanto a lixiviación de nitrógeno en sistemas donde antes no había esta presión.

En cuanto a los posibles impactos de los biocombustibles sobre la disponibilidad de agua, Berndes (2002) menciona que una expansión a gran escala de la producción de cultivos para energía podría llevar a un gran incremento de la evapotranspiración, potencialmente tan grande como los niveles actuales a nivel mundial de tierras cultivadas.

El criterio de sostenibilidad del recurso agua es que el uso no exceda la adición a las existencias. En general, la agricultura a nivel mundial es el principal consumidor de agua, con un 75% del total disponible. El potencial de producción de biomasa está fuertemente influenciado por la disponibilidad de agua. Mucha de esta agua proviene de las lluvias, en menor grado de napas subterráneas, y por último de fuentes de regadío.

América Latina es una de las regiones en el mundo que, en su conjunto, cuenta con suficientes existencias de agua. Sin embargo, esta distribución no es homogénea entre y dentro de los países. Berndes (2002) menciona que para el año 1995, el uso versus la disponibilidad de agua era de 1% para Brasil, 40% para México y 13% para Argentina. Es decir, Brasil solamente usa un 1% del total de agua disponible, mientras que en México se usa un 40% del total disponible. Berndes estima que bajo las proyecciones de producción de biocombustibles, para el año 2075 los requerimientos de agua, sin considerar agua de riego, subirán a 3% para Brasil, 93% para México y 42% para Argentina. Esto significa que en el caso de México se estaría llegando al límite de la disponibilidad de agua.

Muchos de los estudios que estiman el potencial de biocombustibles toman en cuenta tierras agrícolas que actualmente no están en producción (zonas agrícolas marginales) o que tienen otros usos como tierras en pasturas. En la medida que, debido a los biocombustibles, haya una expansión de la frontera agrícola hacia dichas zonas, la presión sobre los recursos hídricos en dichas áreas será mayor. Si es que la producción de biocombustibles empieza a competir con la producción de alimentos, habrá entonces competición de estas dos actividades por recursos hídricos. Jagger y Pender (2003) citados por Reijnder (2006) mencionan que la competición entre la producción de eucalipto y la producción de alimentos en Etiopía ha llevado al gobierno de ese país a poner restricciones en la producción del primero.

Mejorar el uso del agua en los sistemas de producción debe incorporarse a las prácticas que lleven a la sostenibilidad de los cultivos energéticos. Una de esas formas es dejar residuos de cultivo en el campo, lo cual ayuda a retener la humedad y reducir la pérdida de agua, lo cual entraría en conflicto directo con la producción de energía a partir de dichos residuos.

En cuanto a la movilización de elementos, Reijnders (2006) menciona que ciertas prácticas, como la quema de residuos contribuyen al aumento en la concentración de N_2O en el aire, que es un gas que contribuye al efecto invernadero en la atmósfera, al aumento de los niveles de nitratos en el agua, a la eutrofización²¹ y, en combinación con óxidos sulfúricos, a la acidificación. Las cenizas, producto de estas quemaduras contienen altos niveles de cloruros alcalinos, los cuales pueden tener impactos negativos en comunidades de bacterias, incluyendo aquellas que ayudan a la fijación de nitrógeno.

Los impactos en el clima pueden provenir de cambios en el ciclo de carbono y de nitrógeno relacionados a los sistemas de producción de cultivos energéticos. La producción de biomasa es importante en la captura de carbono emitido a la atmósfera. La cosecha o quema de cultivos libera este carbono nuevamente a la atmósfera, lo que puede resultar en emisiones netas de CO_2 y CH_4 (metano). Al mismo tiempo, compuestos volátiles de carbono están asociados al uso de combustibles fósiles durante la producción de cultivos. En el ciclo de nitrógeno, la quema de biomasa genera óxidos de nitrógeno que pueden ser metabolizados en N_2O , uno de los gases de efecto invernadero. El uso de fertilizantes de nitrógeno en sistemas de alto rendimiento de biomasa también puede dar paso a grandes emisiones de N_2O asociado a la conversión del fertilizante. Por otro lado, la expansión de la frontera agrícola mediante la conversión de bosques a tierra arable, también puede liberar carbono hacia la atmósfera.

²¹ Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton.

Por último, en cuanto al impacto sobre plantas y animales, la producción de cultivos energéticos, a pesar de los cálculos que solamente toman en cuenta la expansión en tierra excedentaria o en tierra agrícola degradada, puede significar la conversión de bosques a plantaciones. Esto sin duda tendrá impactos importantes en los ecosistemas afectados por esta expansión, y a los organismos asociados con estos.

En resumen, la contribución positiva o negativa de la producción de biomasa para biocombustibles al medioambiente dependerá fuertemente de las tecnologías e insumos utilizados y del tipo de tierra utilizada, respecto a su uso anterior.

Conclusiones

América Latina tiene el potencial para ser una región productora de biocombustibles sin afectar la seguridad alimentaria. El potencial energético de biomasa, tanto para la producción de electricidad como para combustibles líquidos, a partir de tierras agrícolas excedentarias, se estima que para el año 2050, representaría entre el 17% y 26% del total mundial de energía, cifra superior a cualquier otra región del mundo.

Al considerar un escenario de alto crecimiento y alta tecnología, el potencial sería de 65 EJ (exajoules) por año lo que representa poco más de 20% de la producción mundial de 300 EJ por año. Algunos autores prevén que para América Latina y el Caribe en particular, la bioenergía (no solamente combustibles líquidos) podría cubrir en más de 100% la demanda de energía en 2050, y que sobre el 25% sería con costos menores a 12 dólares por GJ (gigajoules) pero que, en el caso de la región, más del 70% sería con esos niveles de costos.

Sin embargo, este potencial de la región y otras regiones tropicales se puede ver reducido en más del 80 % en circunstancias de alto crecimiento poblacional junto a un menor crecimiento en los rendimientos de los cultivos, es decir, donde se produzca una mayor presión sobre el recurso tierra, sin las compensaciones económicas para incrementar la productividad. El estudio consideró solamente los excedentes de producción para evitar la posible competencia directa de los biocombustibles con la producción de alimentos humanos y animales. Los insumos para la producción de cultivos energético varía de acuerdo al tipo de cultivo y a las condiciones edafoclimáticas de la zona del cultivo; sin embargo los cultivos o plantaciones que tienen altos requerimientos de agua, se explotan en zonas de alta precipitación. Por lo general, las tierras irrigadas se reservan para

frutales y hortalizas. Asimismo, los rendimientos para cada cultivo son bastante heterogéneos, dependiendo de las condiciones de clima, suelo, tecnología utilizada, etc. Por otra parte, se espera que a través de la biotecnología se desarrollen variedades fitomejoradas, de mayores rendimientos que disminuyan la presión por expandir la frontera agrícola. Sin embargo, los rendimientos actuales sí dan una indicación de cuánta tierra es necesaria para alcanzar una cierta producción de biocombustibles y cuánto se podría avanzar sin necesidad de grandes innovaciones tecnológicas. También se observa que se pueden producir cambios en el uso del suelo, que dependerá del costo de oportunidad de los cultivos, de las posibilidades de utilización de los subproductos, etc.

La principal materia prima para la de producción de etanol sería la caña de azúcar, seguida de cereales. Los países considerados en el estudio donde la producción supera la demanda local, podrían producir, a partir de excedentes exportables, un porcentaje de mezcla de 26% de etanol del consumo promedio actual de gasolina de la región. Con la excepción de Chile, la región Sudamericana tiene suelos aptos para una producción adicional de caña de azúcar para etanol que es la especie con mayor potencialidad de ser cultivada, la expansión necesaria de su área actual para alcanzar la mezcla de 5% (E5) sería mínima. En Centroamérica, prácticamente todos los países pueden alcanzar mezclas superiores al 5% de etanol a partir únicamente de sus excedentes azucareros. Los países del Caribe generan excedentes principalmente de caña de azúcar y de yuca. Todos con excepción de San Vicente y las Granadinas, podrían producir bioetanol para alcanzar mezclas superiores al 5%.

La principal fuente potencial para la producción de biodiesel es la soja cuyo potencial técnico de producción a partir de excedentes actuales, puede llegar a cubrir un 11% del consumo de diesel actual de la región. Argentina es el país que posee la mayor área disponible para el cultivo de la soja. Por otra parte, la palma aceitera se cultiva en la parte norte de Sudamérica, en Centroamérica, México y el Caribe y en todas se podría expandir la superficie destinada a su explotación.

La elección de una combinación óptima de cultivos es un tema específico de cada país y está sujeta entre otras cosas a la disponibilidad de tierras con clima aptas para cada especie, de tecnologías, de los costos de producción y de los diferentes tipos de políticas públicas.

Los residuos también pueden ser utilizados en la producción de combustibles; sin embargo, se requiere de nueva maquinaria que facilite su cosecha, además de modificar el sistema post-cosecha y de transporte.

La biomasa obtenida de la silvicultura puede usarse en la generación de energía como calor, electricidad y combustibles líquidos. Un factor clave en su aprovechamiento es la accesibilidad a las zonas productoras y el costo de recolección y transporte. Se considera como biocombustibles de segunda generación. El potencial energético a partir de productos forestales varía hasta 358 EJ por año, la región actualmente podría producir entre 4 y 27 % del total mundial. Sin embargo, la obtención de biocombustibles a partir de fuentes silvícolas, aún tiene elevados costos de procesamiento, por lo que con la tecnología existente, no se la considera una alternativa en el corto plazo, especialmente si existen otros cultivos bioenergéticos más eficiente, como la caña de azúcar.

Por otra parte, sí existe la posibilidad de producción de biocombustibles líquidos, a partir de residuos de cultivos y de la silvicultura, que en la actualidad son abundantes, subutilizados y de bajo costo. Los residuos primarios son los más difíciles de coleccionar, además que tienen otros usos como fertilizante y alimento animal, por lo que los residuos secundarios se tornan más atractivos como una fuente de energía para las mismas plantas procesadoras. Como se indicó al comienzo la potencialidad económica de producir biocombustibles se analizó en el documento de la Serie Desarrollo Productivo N° 178 “Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina”.

Anexos

Anexo 1 Cuadro 1
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000 – 2003): PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIOETANOL A PARTIR
DE EXCEDENTES NETOS DE MATERIA PRIMA
(en millones de litros)

Países	Insumos agrícolas					Total Bioetanol	Consumo de Gasolina (2000-03)	Potencial de mezcla (en %)
	Caña de Azúcar	Trigo	Maíz	Yuca	Sorgo			
América Latina	11 622	3 490	4 446	98	230	19 886	77 084	26
Sudamérica								
Argentina	153	3 490	4 290		203	8 136	3 988	204
Bolivia	28		0			28	691	4
Brasil	7 275			8	23	7 306	16 952	43 ^a
Colombia	699					699	5 833	12
Ecuador	16			5		21	2 208	1
Paraguay	8		156	8		172	254	68
Uruguay					3	3	350	1
Venezuela					1	1	10 971	0,01
México y Centroamérica								
México	160					160	29 039	0,6
Belice	77			0,005		77	196	39
Costa Rica	94			76		170	810	21
El Salvador	199					199	512	39
Guatemala	846			0,2		846	1 113	76
Honduras	59					59	448	13
Nicaragua	122			0,2		122	233	52
Panamá	42			0,1		42	549	8
Caribe								
Barbados	21					21	124	17
Cuba	1 685			0,01		1 685	566	298
Jamaica	33			0,03		33	693	5
Rep. Dominicana	100			0,2		100	1 517	7
S. Crist. y Nevis	5					5	12	44
S. Vic. y Las G.				0,026		0	25	0,1

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT, cuadro 2 del texto y Naciones Unidas, *Anuario Estadístico de Energía 2003*, 2006.

^a no considera la producción actual de etanol a partir de caña de azúcar.

Anexo 1 Cuadro 2
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000 – 2003): PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIODIESEL
A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS
(en millones de litros)

Países	Insumos agrícolas						Total Biodiesel	Consumo de Diesel (2000-03)	Porcentaje de mezcla
	Palma	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Colza			
América Latina	296	5 906	1 248	9,2	58,1	1,03	7 519	68 374	11
Sudamérica									
Argentina		3 739	1 217		11	1	4 968	10 555	47
Bolivia		197	26				223	826	27
Brasil		1 831		8	45		1 885	38 098	5
Chile						0,03	0,03	4 869	0
Colombia	93						93	3 276	3
Ecuador	25			1			26	2 690	1
Paraguay	2	134	5		2		143	988	15
Perú					0,1		0,1	3 219	0
Centroamérica y el Caribe									
Costa Rica	86	5					91	804	11
Guatemala	34						34	1 107	3
Honduras	54						54	803	7
Panamá	2						2	810	0
Haití				0,2			0,2	329	0

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT, cuadro 3 del texto y Naciones Unidas, *Anuario Estadístico de Energía 2003, 2006*.

Anexo 1 Cuadro 3
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2004): DIFERENCIA ENTRE SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO Y SUPERFICIE COSECHADA ACTUAL
(en miles de has)

País	Maíz	Trigo	Sorgo	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Yuca o mandioca	Soja	Palma aceitera	Girasol	Colza / Ricino
Sudamérica	57 028	55 758	42 238	70 545	39 896	105 695	33 993	87 444	19 447	48 498
Argentina	24 893	33 120	9 908	6 667	26 252	38	22 758	0	15 177	37 764
Bolivia	5 645	833	5 665	8 818	0	25 947	4 296	6 058	143	982
Brasil	13 320	5 306	19 866	29 751	3 464	46 202	814	45 526	420	830
Chile	128	489	35	0	-40	0	222	0	239	190
Colombia	-377	174	446	6 274	0	8 662	143	10 544	0	0
Ecuador	359	601	1 064	907	-1	499	476	1 070	19	214
Guyana	205	0	207	1 343	0	3 083	194	4 767	0	0
Paraguay	2 987	654	226	4 505	0	868	-925	798	-13	55
Perú	302	1 313	643	6 000	0	2 210	111	10 910	340	1 462
Uruguay	5 710	13 153	-20	1 265	10 222	0	2 992	0	3 118	6 984
Venezuela	3 856	115	4 198	3 056	-1	16 953	2 913	3 358	4	16
México y Centroamérica	-1 658	3 654	6 183	7 683	0	9 616	7 683	3 779	1 507	4 300
Costa Rica	-8	0	0	127	0	191	0	221	0	0
El Salvador	12	0	107	-49	0	262	258	0	0	1
Guatemala	-563	-3	-38	1 264	0	922	13	808	0	0
Honduras	-151	40	79	432	0	718	173	421	0	98
México	-1 121	3 604	5 601	3 461	0	5 444	6 682	1 482	1 507	4 189
Nicaragua	238	12	436	923	0	1 222	557	768	0	12
Panamá	-65	0	-1	221	0	857	0	78	0	0
Caribe	643	0	110	2 190	0	3 759	0	612	0	0
Bahamas	0	0	0	712	0	278	0	0	0	0
Cuba	871	0	170	1 022	0	2 968	868	217	0	0
Haití	-226	0	-81	55	0	121	38	44	0	0
Jamaica	-1	0	0	31	0	-1	0	57	0	0
Rep. Dominicana	-1	0	21	371	0	393	24	294	0	0

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT, Fischer y otros (2002) y FAO/IIASA, Global agro-ecological assessment for agriculture in the twenty-first century CD-ROM, 2005.

Nota: El signo negativo denota que el área actual sobrepasa el área de cultivo apta o muy apta sin riego y con aplicación de nivel intermedio de insumos.

Anexo 1 Cuadro 4
USO DE FERTILIZANTES POR CULTIVO Y POR PAÍS EN AMÉRICA LATINA

Cultivo	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	República Dominicana	Ecuador	El Salvador	Guatemala	Honduras	México	Nicaragua	Paraguay	Perú	Uruguay	Venezuela	
Caña de azúcar																			
(%)Área fertilizada	65	20	75		70	90	**	60	70		70	100	90	40	50		100		70
N (kg /ha)	80	60	80		100	100	63	80	70	133	100	150	100	15	60	100	150		150
P ₂ O ₅ (kg /ha)	2		60		150	40	50	60	20	49	80	40	45	50	40	100	80		100
K ₂ O (kg /ha)	0		100		100	60	87	60	100	15	50	100	40	40	40	250	120		100
Maíz																			
(%)Área fertilizada	85	5	70	100	50	40		40	60		100	60	75	70	30		50		80
N (kg /ha)	28	40	60	200	100	100		100	120	76	100	100	80	50	30		40		100
P ₂ O ₅ (kg /ha)	19	30	30	100	80	40		60	40	33	60	50	20	20	30		60		40
K ₂ O (kg /ha)			50	30	30	20		60	40		60	80	10	20	30		10		30
Remolacha azucarera																			
(%)Área fertilizada				95															
N (kg /ha)				200															
P ₂ O ₅ (kg /ha)				250															
K ₂ O (kg /ha)				90															
Trigo																			
(%)Área fertilizada	85	10	70	100	80				5		80	50	80		40		100		60
N (kg /ha)	40	30	80	100	100				80		120	60	130		40		60		80
P ₂ O ₅ (kg /ha)	26	40	40	80	80				20		80	40	40		50		80		40
K ₂ O (kg /ha)	0	60	60	20	20				30		80	40			30		20		20

(continúa)

Cuadro 32 (continuación)

Cultivo	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	República Dominicana	Ecuador	El Salvador	Guatemala	Honduras	México	Nicaragua	Paraguay	Perú	Uruguay	Venezuela	
Yuca																			
(%)Área fertilizada			**					20	10										
N (kg /ha)			20					60	20										
P ₂ O ₅ (kg /ha)			40					40	20										
K ₂ O (kg /ha)			30					60	20										
Palma aceitera																			
(%)Área fertilizada					100	100			70		100	100		80	80				85
N (kg /ha)					100	60			80		80	120		80	60				60
P ₂ O ₅ (kg /ha)					30	40			20		40	40		40	40				40
K ₂ O (kg /ha)					150	100			60		120	70		60	60				100
Soja																			
(%)Área fertilizada	30	40	90		65				50		60	40	95	40	30		50		60
N (kg /ha.)	2	40	10		20				10		20	20	30	15	10		10		20
P ₂ O ₅ (kg /ha.)	6	30	50		30				20		60	60	30	50	30		60		40
K ₂ O (kg /ha.)	0	10	60		40				20		40	40	30	30	30		30		60
Girasol																			
(%)Área fertilizada	29			90											70		80		60
N (kg /ha)	10			100											40		60		60
P ₂ O ₅ (kg /ha)	7			80											60		60		60
K ₂ O (kg /ha)	0			40											80		40		40

(continúa)

Cuadro 32 (conclusión)

Cultivo	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	Republica. Dominicana	Ecuador	El Salvador	Guatemala	Honduras	México	Nicaragua	Paraguay	Perú	Uruguay	Venezuela	
Ricino o higuierilla																			
(%)Área fertilizada						130-150													
N (kg /ha)						50-70													
P ₂ O ₅ (kg /ha)						30-50													
K ₂ O (kg /ha)																			
Colza o raps																			
(%)Área fertilizada				100															
N (kg /ha)				140															
P ₂ O ₅ (kg /ha)				150															
K ₂ O (kg /ha)				30															
Pasturas																			
(%)Área fertilizada	38			**				10					5				100		
N (kg /ha)	2			45				80					80				10		
P ₂ O ₅ (kg /ha)	9			30				40					15				45		
K ₂ O (kg /ha)	0							40					10						

Fuente: FAO y Fertilizer Use by Crop in Cuba (2003), Fertilizer use by Crop in Argentina (2004)

Notas: 1. Para El Salvador los datos son promedio. 2. ** Datos promedio a nivel nacional. 3. Ecuador, 1995; Chile, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, México, Paraguay y Venezuela, 1997; Republica Dominicana, Nicaragua y Uruguay, 1998; Bolivia y Brasil, 1999; Cuba, 2001; Argentina, 2002/03; Brasil, 2004.

Anexo 1 Cuadro 5
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO PROMEDIO DE PESTICIDAS POR CULTIVO Y POR PAÍS
(en kg/ha.)

Países	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Trigo	Maíz	Yuca o mandioca	Sorgo	Palma aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Colza
América Latina y el Caribe	2.4	6	1.8	2.2	1.8	1.1	1.6	2.4	0.6	2	14.6	1.5
Sudamérica	0.75	6	1	1.1	1.7	1.4	0.8	2.4	0.6	2	15.3	1.5
Argentina			0.75	0.7		0.23		1.7-2.1	0.1-1			
Bolivia			0.7						0.6		7.7	
Brasil	0.7		1.8	0.6				2.9			25.5	
Chile		6	0.3-1.6	1		10			20			1.5
Colombia					1							
Ecuador	3			0.7-1.1				2			3.7	
Paraguay								1.7		2	4	
Perú	0-2		1.4-6.6	11.5-15.5	1.5		0.8				8.7	
Uruguay												
Venezuela	4-8			1-12.5	1.7-8	1-7	0.8		3.5-6.5			
México y Centroamérica	9.3		13.9	4.6	4.7	0.9	2.9	2.1	9.4		1.9	
México	7.3-26		0.4-25	0.9-11.2		0-1.9		1.3-3.3	8.25-10.5		1.3-2.9	
Costa Rica												
El Salvador	0.7-9.3										0.8	
Guatemala	1.5-1.8		2-2.1	3-6.6	1	0.7-16.5	2.9	1.3				
Honduras					14.4							
Nicaragua	0.7-7			0.7-14.9		2.1		1.6				
Panamá				0.35	2							
Caribe	3			15	0							
Cuba												
Jamaica				15	0							
Rep. Dominicana	0.7-9.3											
St. Vincent & Gren.												

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de diferentes fuentes. Nota: Para "pesticidas" se consideraron insecticidas, fungicidas y, si correspondía, rodenticidas. Se consideraron los kilos empleados por hectárea, y en el caso de aparecer datos para otras unidades, se convirtieron de manera de tener información uniforme y por lo tanto comparable para todos los países. En el caso de las unidades, las libras y otras unidades fueron traspasadas a kilos o litros, y los acres o manzanas a hectáreas según correspondiera.

Anexo 1 Cuadro 6
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO PROMEDIO DE HERBICIDAS POR CULTIVO Y POR PAÍS
(en kg/ha.)

Países	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Trigo	Maíz	Yuca o mandioca	Sorgo	Palma aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Coiza
América Latina y el Caribe	3.8	9.5	1.7	3	2.8	2.4	3	6.6	4.3	0	7.1	2
Sudamérica	4.5	9.5	1.7	3.7	2.1	4.2	3	6.6	4.3	0	8.9	2
Argentina			0.1-2.5	4-7.5		3-7.5		1.8-10.5	2.4-7.3			1.2-3
Bolivia	9		0.5-4.5						0.4-2.9		3.5	
Brasil	5		3.2	3.7				7.5			9.4	
Chile		9.5	2.3-3.2	4.6-8		3			2			1.9
Colombia					1-2							
Ecuador	3			4.5				3.5			5	
Paraguay	4							3.2-4.4		0		
Perú	4.5-9			1			0					
Uruguay												
Venezuela	6			3-6	3-6	1-3	0-12		3.5			
México y Centroamérica	2.9		1.2	1.7	2.8	1.5	0	1	2		6.2	
México	2.2-6.5		0-2	0.3-4.1		0.3-4		0-2	2		1-16.8	
Costa Rica												
El Salvador	1.4-3.5										1.7	
Guatemala	0.4		0.7	0-1.3	0	0-1	0	0.8			4.2	
Honduras					6.8							
Nicaragua	2.8			0-1.6		0.7		1.8				
Panamá				5.5	3-8							
Caribe	2.3			0	1							
Cuba												
Jamaica												
Rep. Dominicana	1.4-3.5			0	2							
St. Vincent & Gren.					0							

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de diferentes fuentes. Nota: Para "herbicidas" sólo se incluyeron los productos empleados para combatir malezas. Se consideraron los kilos empleados por hectárea, y en el caso de aparecer datos para otras unidades, se convirtieron de manera de tener información uniforme y por lo tanto comparable para todos los países. En el caso de las unidades, las libras y otras unidades fueron traspasadas a kilos o litros, y los acres o manzanas a hectáreas según correspondiera.

Anexo 1 Cuadro 7
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO PROMEDIO DE SEMILLAS POR CULTIVO Y POR PAÍS
(en kg/ha.)

Países	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Trigo	Maíz	Yuca o mandioca ¹	Sorgo	Palma aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Colza
América Latina y el Caribe	4458.5	1.3-1.6 UI	117.5	20.2	13608.5	11.4	180	67.9	3.9	7	21.6	6
Sudamérica	8438.8	1.3-1.6 UI	117.6	20.4	13882.3	10.8	180	67.9	3.9	7	22	6.1
Argentina			100-120	20	7500-10000	9-15		90	3.5		30-40	2-3
Bolivia			80-120	10-20	20000-25000	8-12		50-100	5-8			
Brasil			90-180	20	14000-20000	10-12		45-60	4-6		18-24	
Chile		1.3-1.6 UI	160-180	20-30					6-10			4-8
Colombia			80-120	15-28	10000	10-15		70-80				
Ecuador	10000		100	20-40	750-1200	15-20		90-100				
Paraguay	7000		100	15-20	1000	9-12		60	4-6	7	14-21	
Perú	7000		100	15-25	750-1200	15-22	180	90-100	7-8		40-50	
Uruguay			100-120	20		10		80-90	3.5-8			
Venezuela	9000			15-28	10000-13000	10-25	180		7-8			
México y Centroamérica	2685		118.7	20.1	9717.2	12.3		68.1	7		16.3	3
México	1200		60-160	10-23		7-20		50-90	3-10		8-25	3
Belize				9-16	12000	2-3		45-70				
Costa Rica				18-20	7500-10000	10-12		80-90				
El Salvador	2700-5300			20	10000-20000	14-16		45-50			6,4-7,9	
Guatemala	9000			18-25	8500-10000	15-20		55-60				
Honduras				20	16600-20000	16		55-60			20	
Nicaragua	6000			18-24,5	10000-15000	12-13		75				
Panamá				15	2500	13						
Caribe	4000			14,8	11229	3,8						
Antigua y Barbuda				9-16								
Bahamas				9-16	12000	2-3						
Barbados				9-16	4400-12000							
Cuba				15-20	10800	120		4-5	7			
Dominica				9-16	4400-12000							
Granada				9-16	4400-12000							

Anexo 1 Cuadro 8
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: USO DE MAQUINARIA POR CULTIVO Y POR PAÍS
(horas/ha o pases)

Países	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Trigo	Maíz	Yuca o mandioca	Sorgo	Palma aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Colza
América Latina y el Caribe												
Sudamérica												
Argentina			4-7*	6-9*		4-8*		6-8*	4-8*			6*
Bolivia			7-8*	10-11*		8*			6-7*		12*	
Brasil												
Chile		17	32	22-27	1-4*	34			27			25.6
Colombia							5-6					
Ecuador	8							8				
Paraguay	3											
Perú	1-17		9-17	5-11	13		2				9	
Uruguay												
Venezuela	2-11*			2-7*	2-6*	2-8*	4*					
México y Centroamérica												
México	6-17		10-16	8-48		8-16		30-48	9		12-57	
Costa Rica												
El Salvador	1-4*			1-3*	2*	1*	n/c				3-8*	
Guatemala	5-6		1	13-14	3	0-11	4	12			3	
Honduras					4							
Nicaragua	4-8*			0-8*		6*		6*				
Panamá				4	7							
Caribe												
Cuba												
Jamaica				1*	2*							
Rep. Dominicana	4*											
St. Vincent & Gren.												

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de diferentes fuentes. Nota 1: Datos no incluye transporte; *: cifras en número de pases. En maquinaria se considera todas aquellas labores realizadas con tractor, en unidades de horas por hectárea. Cuando las labores se cuantificaban en otras unidades (pases/ha., arriendos/ha.), se convirtieron los datos a horas, para poder comparar entre cultivos y entre países. En algunos casos, esto no se pudo realizar debido a las diferentes medidas, por lo que los resultados se presentan tanto en horas como en número de pases de tractor. Lo mismo se hizo para las unidades de superficie.

Anexo 1 Cuadro 9
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: REQUERIMIENTOS DE AGUA DE RIEGO POR CULTIVO Y PAÍS
(en m³/ha)

País	Trigo	Maíz	Sorgo	Soja	Girasol	Algodón	Remolacha azucarera	Caña de azúcar	Yuca	Palma aceitera	Ricino	Colza
A. Latina y el Caribe	1 712	1 563	2 258	1 926	2 359	2 395	6 319	4 038	11 452	13 490	7 000	3 000
Sudamérica												
Argentina	1 689	3 186	666	3 872	2 400	5 810	-	78	-	-	-	-
Bolivia	2 565	756	292	1 759	2 474	1 518	-	7 017	-	-	-	-
Brasil	1 441	414	691	650	973 ¹	1 399	-	3 607	-	-	-	-
Chile	621	4 414	-	-	6 824 ¹	-	6 374	-	-	-	-	-
Colombia	571	671	61	1 190	-	2 314	-	0	13 000*	11 000	-	-
Ecuador	2 201	1 014	311 ¹	1 190	-	2 857	2 925	155	-	11 000	-	-
Paraguay	208	156	427 ¹	1 244	1 594	1 117	-	0	-	-	-	-
Perú	4 916	1 681	1 354 ¹	2 230 ¹	-	4 465	-	5 327	11 000	20 000*	-	-
Surinam	-	944	-	571	-	-	-	-	-	-	-	-
Uruguay	511	3 023	1 424	3 521	2 783	-	-	-	-	-	-	-
Venezuela	-	544	2 189	-	2 254 ¹	-	-	9 289 ¹	-	20 000*	-	-
México y Centroamérica												
México	3 557	3 240	3 691	4 896	3 968 ¹	5 016	-	7 196	-	-	-	3 000*
Costa Rica	-	0	140	162	-	126 ¹	-	4 177 ¹	-	20 000*	7 000*	-
El Salvador	-	589	72	0	-	5 068	-	7 837 ¹	-	-	-	-
Guatemala	1 855	870	396	270 ¹	-	0	-	-	-	-	-	-
Honduras	0	780	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-
Nicaragua	-	0	922	0	-	0	-	11 238 ¹	-	-	-	-
Panamá	-	1 709	240	0	-	-	-	4 301	-	-	-	-
Caribe												
Cuba	-	1 117 ¹	2 132 ¹	1 378 ¹	1 473 ¹	-	-	7 430 ¹	-	-	-	-
Rep. Dominicana	-	2 649 ¹	2 649 ¹	3 706 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Para México, América Central y el Caribe Datos obtenidos desde CROPWAT (mm/periodo)*10= m³/ha. 1. Valores no ponderados por la superficie, debido a información insuficiente, por lo que solo se promediaron los valores de las estaciones meteorológicas. Para Palma Aceitera, Ricino, Colza y Yuca, cultivos que no estaban en la base de datos de ARC y CROPWAT, se usó información publicada de los Ministerios de Agricultura de los respectivos países. Para los tres primeros, parte de la información corresponde a datos de precipitación (marcado con asterisco), y no a requerimientos de riego

Nota técnica para el cuadro 9 del anexo 1

Para calcular el requerimiento hídrico de los cultivos se ingresaron al programa los siguientes parámetros: 1) tipo de cultivo, 2) estación meteorológica (por país y zona de producción), 3) fecha de siembra (día/mes), y 4) tipo de suelo. En el caso de los cultivos energéticos, gran parte de estos estaba incluido en la base de datos de CROPWAT. Sin embargo, palma aceitera, yuca, ricino y colza no estaban dentro de esta base de datos de CROPWAT. En esos casos, los cálculos de requerimientos de agua se basaron en información externa de expertos en dichos cultivos.

El criterio utilizado para la definición de la estación meteorológica se basó en la identificación de las principales zonas productivas para cada cultivo y en cada país. Esta identificación se hizo en base a los datos de Agro-MAPS (FAO, 2006a) y a datos de producción de cultivos por zona agroecológica (ZAE)²² en América Latina y el Caribe (FAO, 2006b). Una vez identificadas las zonas de producción, se prosiguió a identificar una estación meteorológica que correspondiera a cada zona.

Las fechas de siembra se determinaron a partir del documento de FAO (2006a) el cual proporciona el período de tiempo en el que se realiza la siembra en las distintas ZAE. Se debe destacar que la siembra, para algunos cultivos, puede realizarse durante varios meses del año, es por esto que al calcular el requerimiento hídrico se consideraron diferentes fechas de siembra, para así generar un valor más representativo por estación meteorológica.

La cantidad de agua disponible para las raíces de las plantas depende de factores meteorológicos (balance entre lluvia y evapotranspiración) y del suelo (relación entre contenido de agua en el suelo, potencial hídrico y conductividad). A diferencia de los requerimientos de herbicidas, maquinaria, y otros insumos en donde se consultaron fuentes a nivel país, se ha estimado de manera más fehaciente los requerimientos de agua por cultivo y país en América Latina y el Caribe. Esto se debe a que se dispuso de herramientas de cálculo ya establecidas y que permitieron estimar los requerimientos de agua basados en datos técnicos de cultivo y al clima en cada país y región.

La selección del tipo de suelo se basó principalmente en la descripción dada de cada zona agroecológica, descrita en FAO (2006a). Para el programa ARC las alternativas de tipo de suelo son: arenoso, franco arenoso, franco, franco arcilloso y arcilloso y cada uno de ellos considera la altura de agua aprovechable (mm/m) y profundidad del suelo en metros. En el programa CROPWAT los tipos de suelo a escoger son: ligero, medio y pesado. Para las ZAE donde no se daba el detalle de la textura de suelo existente, se seleccionó un tipo de suelo “franco arcilloso” en ARC y “medio” en CROPWAT.

Una vez establecidos los parámetros de cálculo, se procedió a estimar los valores de requerimiento de agua para cada cultivo y país. A nivel país, el dato de necesidad de agua por cultivo, se obtuvo luego de ponderar el valor de cada estación meteorológica, por el porcentaje equivalente a la superficie cosechada de cada cultivo en la respectiva zona agroecológica. Esto permitió dar mayor preponderancia a aquellas zonas geográficas en donde un cultivo determinado es más importante dentro de un país.

Para aquellos países en donde la información de área cultivada por región geográfica no fue disponible, se calculó un promedio simple de los valores estimados. Para el promedio de la región, también se hizo un promedio ponderado en donde se usó los datos de área cultivada de cada país, para de esta manera dar mayor peso a aquellos países con una mayor superficie de cultivo. Para aquellos cultivos que no se encontraban en el CROPWAT o ARC, se consultaron fuentes a nivel de país para determinar el requerimiento de agua de riego en esos cultivos. En la mayoría de los casos, la información obtenida fue acerca de requerimientos de agua en general (incluyendo precipitación).

²² Las zonas agro ecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial bio-físico para la producción agrícola

Anexo 2 Cuadro 1
ZONAS AGROECOLÓGICAS (ZAE) Y ÉPOCAS DE SIEMBRA DE CULTIVOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL, POR PAÍS EN AMÉRICA LATINA

Países	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Trigo	Maíz	Yuca o mandioca	Sorgo
Sudamérica						
Argentina	Tucuman, Salta, Jujuy		ZAE1 (may-jul) ZAE4 (jun-jul)	ZAE1-2-3 (sep-dic) ZAE4 (oct-nov)	ZAE2 (sep-oct)	ZAE4 (nov-dic)
Bolivia	Santa Cruz, Tarija		ZAE1 (nov-dic) ZAE2 (dic-ene) ZAE3 (abr-may)	ZAE2 (dic-ene) ZAE3 (oct-nov) ZAE4 (dic-ene)	ZAE3-4 (abr-sep)	ZAE3 (mar-abr; dic-ene)
Brasil	Sao Paulo, Parana, Bello horizonte		ZAE3 (abr-may) ZAE3-4 (feb-mar) ZAE4-5 (may-jun; sep-nov)	ZAE1-2 (dic-ene) ZAE3-4 (oct-dic) ZAE5 (sep-dic; ene-feb)	ZAE1 (ene-dic) ZAE2 (ene-jun) ZAE3 (oct-mar) ZAE4 (may-sep) ZAE5 (ago-sep)	ZAE3-4 (oct-dic) ZAE5 (sep-feb)
Chile		ZAE3 (jul-sep) ZAE4 (ago-sep)	ZAE3 (abr-jul) ZAE4 (abr-ago)	ZAE2-3 (sep-oct) ZAE4 (oct-nov)		
Colombia	Cauca, Valle de Cauca, Risaralta	Valle del Rio cauca	ZAE4 (feb-abr; sep-oct)	ZAE1 (abr-sep; ene-Dic) ZAE2 (mar) ZAE3 (mar-may; ene-dic) ZAE3-4 (sep-oct) ZAE4 (feb-abr) ZAE5-6 (ene-dic)	ZAE1-2-3-4 (mar-abr; sep-oct) ZAE5-6 (ene-dic)	ZAE1(abr, sep, ene-dic) ZAE2 (mar) ZAE3 (mar-may; sep-oct)
Ecuador	Esmeraldas, El Oro, Guayas	Chimborazo, Tungurahua, Pichincha	ZAE2 (dic-feb)	ZAE1 (ene-mar) ZAE2 (oct-dic) ZAE3 (oct-ene)	ZAE1-3 (ene-dic)	ZAE1 (ene-feb) ZAE3 (oct-feb)
Paraguay			ZAE1 (may) ZAE3 (may-jun) ZAE4-5-6 (may-jun)	ZAE1-2-5 (jul-ago) ZAE3-4-6-7 (ago-sep) ZAE8 (nov-dic)	ZAE1-2-3 (jul-sep) ZAE4-5 (ago-sep) ZAE6 (ago-oct) ZAE7 (ago-sep) ZAE8 (nov-dic)	ZAE1-2-3-7 (sep-mar) ZAE4-5-6 (oct-abr) ZAE8 (nov-dic)

(Continúa)

Anexo 2 Cuadro 1 (continuación)

Perú	La Libertad, Lambayeque		ZAE2 (Nov-Mar)	ZAE1 (ene-dic) ZAE2 (ene-abr) ZAE3 (ago-sep)	ZAE1 (sep-dic) ZAE3 (ene-dic)	ZAE1-3 (abr-may) ZAE3 (sep-nov)
Uruguay			ZAE1 (may-jul) ZAE2 (jun-jul)	ZAE1-5 (sep-dic) ZAE2-3 (oct-dic)		ZAE1-2 (oct-dic)
Venezuela	Turen, Maracay, Barquisimeto			ZAE1-4-5 (may) ZAE2-3 (may-jun) ZAE6 (ene-dic)	ZAE1 (mar-abr; sep-oct), ZAE2-3 (abr-may; sep-oct) ZAE4-5 (abr; sep-oct)	1 may, 2-3 mar, oct-dic
México y Centroamérica						
México	Veracruz, San Luis de Potosí	ZAE1 (nov-dic) ZAE2 (oct-dic) ZAE3 (dic-ene)	ZAE1 (feb-mar) ZAE2 (ene-abr) ZAE3 (oct-mar) ZAE4 (oct-ene)		ZAE1 (feb-mar) ZAE2 (dic-feb) ZAE3 (dic-mar) ZAE4 (oct-nov; dic-feb)	
Belize			ZAE1-3-4 (may-jun; oct-nov), ZAE5-6 (jun-jul; nov-dic)	ZAE1-3 (may-jun)	ZAE4 (may-jun; oct-nov) ZAE5 (jun-sep)	
Costa Rica			ZAE1-2-4 (jun-Jul) ZAE3 (may-jun)	ZAE2-3 (may-jun) ZAE5 (abr-may)	ZAE1 (jun-jul)	
El Salvador			ZAE1-2-3 (may-jun; ago; dic-ene)	ZAE1-2 (may-jun)	ZAE1-2-3 (may-ago)	
Guatemala			ZAE1-2-3 (may-jun; sep), ZAE4 (mar-may)	ZAE1-2 (may-jun)	ZAE1-2 (may-jun) ZAE3 (ago-sep)	
Honduras			ZAE1-2-3 (may-jun; ago; dic-ene)	ZAE1-2 (may-jun)	ZAE1-2 (ago-nov)	
Nicaragua			ZAE1-2-3-4 (may-jun; ago-sep; nov-dic) ZAE5 (ago-sep; nov-dic)	ZAE1 (may-jun) ZAE5 (ago-sep)	ZAE1-2 (may-jul; ago)	

Anexo 2 Cuadro 1 (conclusión)

Panamá	Veraguas, Chiriquí	ZAE1-2 (may-sep; oct-ene)	ZAE1-2 (may)	ZAE1 (may-oct)
Caribe				
Antigua y Barbuda		ZAE1-2-3 (may-dic)		
Bahamas		ZAE1 (may-sep) ZAE2-3 (may-nov)	ZAE1 (sep-nov)	ZAE1-2 (may-nov)
Barbados		ZAE3-4 (jun-nov) ZAE5-6-7 (jun-dic)	ZAE1-5-6-7 (jun-ago)	
Cuba		mayo	nov-mar	ene-feb
Dominica		ZAE1-5 (jun-nov; ago-dSep)	ZAE4-5-6 (jul-ago)	
Granada		ZAE1 (jun-sep)	ZAE1-2 (jun-jul)	
Haití		ZAE1-4 (abr-may)	ZAE1-4 (abr-may)	ZAE1-4 (abr-may; sep-oct)
Jamaica		ZAE2-5-13-16 (abr- may; oct-nov)	ZAE1-5-7 (abr-may)	
República Dominicana		ZAE1 (abr-may) ZAE2 (ago-sep) ZAE6-7 (ago-oct)	ZAE1-2-4-5-7 (ene-dic)	ZAE1-2-7 (ago-sep) ZAE6 (abr-may)
Trinidad y Tabago		ZAE1-3 (may-jun; ago-sep)	ZAE1-3 (may-jun)	

Fuente: FAO (2006a).

ZONAS AGROECOLÓGICAS (ZAE) Y ÉPOCAS DE SIEMBRA DE CULTIVOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL, POR PAÍS EN AMÉRICA LATINA
Anexo 3 Cuadro 1

Países	Palma aceitera	Soja	Girasol	Algodón	Colza
Sudamérica					
Argentina		ZAE1 (sep-nov) ZAE4 (sep-dic)	ZAE4 (oct-nov; dic-ene)	ZAE1-2 (sep-nov) ZAE4 (oct-nov)	ZAE4 (jun-jul)
Bolivia		ZAE3 (oct-ene; may-jun) ZAE4 (dic-ene)	ZAE3 (mar-abr)		
Brasil		ZAE1 (nov-ene; may-jun) ZAE2 (may-jun) ZAE3-4 (oct-dic) ZAE5 (sep-dic)	ZAE3 (ene-feb) ZAE4 (feb-mar) ZAE5 (jul-oct)		
Chile			ZAE3 (oct-nov)		ZAE4 (mar-abr)
Colombia	Meta, Cesar, Magdalena	ZAE1 (abr; sep) ZAE2 (sep), ZAE3 (feb-mar; sep-oct)			
Ecuador	Esmeraldas, Manabí, Carchi	ZAE1 (ene-feb) ZAE3 (ene-mar)		Manabí, Portoviejo	
Paraguay		ZAE1-3-5 (oct-nov) ZAE4-6 (oct-dic)	ZAE1-3 (jul-ago) ZAE4-6 (jul-sep)	Caaguazu, San Pedro, Itapúa	
Perú	San Martín, Loreto, Ucayali	ZAE1 (jul-oct) ZAE3 (jul-oct; feb-may)		Ica, Lima, Piura	
Uruguay		ZAE1-2 (sep-dic)	ZAE1-2 (oct-ene)		
Venezuela			ZAE2-3 (oct-dic)		
México y Centroamérica					
México		ZAE1 (may-ago) ZAE3-4 (dic)	ZAE1 (mar-jul) ZAE2 (may-jul; abr-may) ZAE3 (nov-dic; mar-abr; jun-jul) ZAE4 (nov-dic)		
Belice		ZAE5 (jun-jul; nov-dic)			
Costa Rica		ZAE1-2 (jun-jul)			
El Salvador		ZAE1 (jul-ago)			
Guatemala		ZAE1 (jul-ago)			

Anexo 3 Cuadro 1 (conclusión)

Países	Palma aceitera	Soja	Girasol	Algodón	Colza
Honduras		ZAE1-2 (ene, jun)			
Nicaragua		ZAE1 (jun-ago; nov-dic)			
Caribe					
Cuba		jul-sep	Sep		
Rep. Dominicana		ZAE1 (mar-abr) ZAE2-7 (ago-sep)			

Fuente: FAO (2006a)

Bibliografía

- Cap, E. J., y P. González (2002), "Argentina: Una exploración de la frontera de posibilidades productiva del sector de granos y oleaginosas" Instituto de Economía y Sociología, INTA.
- Cazanga, R., G. Castellaro, y M. Trompa (2001), "Manual de Operación del Modelo ARC: Agua y rendimiento de los cultivos versión Visual Basic". En: Sistemas de Información de Recursos de Tierras (SIRT): Serie FAO de Medios Digitales sobre Tierras y Aguas N° 29, 2004, Roma.
- CEPAL (2007), "Progreso técnico y cambio estructural en América Latina", División de Desarrollo Productivo.
- de Cerqueira Leite, R.C. (2004), "Energy from Biomass". Report for the IUPAP Working Group on Energy, August 2004.
- de Vries B.J.M, D.P. van Vuuren, y M.M. Hoogwijk (2007), "Renewable Energy Sources: Their Global Potential for the First-Half of the 21st Century at a Global Level: An Integrated Approach". Energy Policy, 35: 2590-2610.
- DOE (U.S. Department of Energy) (2003), "Roadmap for Agriculture Biomass Feedstock Supply in the United States". DOE/NE-ID-11129. U.S. Department of Energy. November.
- FAO (1992), "CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management". FAO Irrigation and Drainage, Paper 46.
- ____ (1993), "CLIMWAT for CROPWAT: A Climatic Database for Irrigation Planning and Management". FAO Irrigation and Drainage, Paper N° 49.
- ____ (1998), "Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements", FAO Irrigation and Drainage, N° 56.
- ____ (1999), "Bolivia: hacia una estrategia de fertilizantes", Roma.
- ____ (2000), "Efectos de agua sobre el rendimiento de los cultivos". Estudio FAO riego y drenaje N° 33, Roma.
- ____ (2003), "Fertilizer use by Crop in Cuba", Rome.
- ____ (2004^a), "Fertilizer use by Crop in Argentina", Rome.

- ____ (2004^b), “Fertilizer use by Crop in Brazil”, Rome.
- ____ (2006), “Agro-Maps: A Global Spatial Database of Agricultural Land-use Statistics Aggregated by Sub-national Administrative Districts”. FAO Land and Water Digital Media Series - CD-ROM. <http://www.fao.org/landandwater/agll/agromaps/interactive/index.jsp>
- ____ (2006^a), “Calendario de cultivos: América Latina y el Caribe”. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 86, Roma.
- ____ (2006^b), “Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. Estudio FAO riego y drenaje .
- ____ (2005), “Global Agro-Ecological Assessment for Agriculture in the Twenty-first Century”. FAO Land and Water Digital Media Series - CD-ROM N° 21.
- FAOSTAT (2007), Datos accedidos en enero 2007.
- Fischer, G., H. van Velthuizen, M. Shah, and F. Nachtergaele (2002), “Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results”. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- García, F. (2006), “Balance de nutrientes del sistema trigo-maíz: balance necesario para un buen cultivo de trigo”. INPOFOS Cono Sur.
- Hoogwijk, M. A. Faaij, R. van den Broek, G. Berndes, D. Gielen, W. Turkenburg (2003), “Exploration of the Ranges of the Global Potential of Biomass for Energy”. Biomass and Bioenergy, N° 25.
- Hoogwijk, M. (2004), “On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources”. Utrecht University.
- IEA (International Energy Agency) (2004), Biofuels for Transport: An International Perspective.
- IICA (2005), “Perspectivas de los Biocombustibles en Argentina y Brasil”.
- Jagger, P., Pender, J. (2003), “The Role of Trees for Sustainable Management of Less-favored Lands: the Case of Eucalyptus in Ethiopia”. Forest Policy and Economics N° 5.
- Kheshgi, H.S., Prince, R.C., Marland, G. (2000), “The Potential of Biomass Fuels in the Context of Global Climate Change: Focus on Transportation Fuels”. Annual Review of Energy and Environment N° 25.
- Kim, S.; Dale B. E. (2005), “Life Cycle Assessment of Integrated Biorefinery-cropping Systems: All Biomass is Local,” Chapter 20 in Agriculture as a Producer and Consumer of Energy. Outlaw, J.L.; Collins, K.J.; Duffield, J.A., Eds., Published by CAB International.
- Koizumi, T. (2003), “The Brazilian Ethanol Program: Impacts on World Ethanol and Sugar Markets”, Documento de Trabajo, FAO, Commodity and Trade Policy Research.
- Kojijama, M. and Johnson, T. (2005), “Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries”, Energy Management Assistance Programme (ESMAP), World Bank, pp 84.
- Ludeña, C. y otros, (2007), “Biofuels Potential in Latin America and the Caribbean: Quantitative Considerations and Policy Implications for the Agricultural Sector”. Paper presented at the American Agricultural Economics Association (AAEA), Annual Meeting, in Portland, Oregon, July.
- Lynd, L. y otros (2003), “Bioenergy: Background, Potential, and Policy”, Policy Briefing Prepared for the Center for Strategic and International Studies.
- Ministerio de Agricultura del Ecuador (2001), “Caña de Azúcar con Fines Energéticos”. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.
- Monsanto (2006), Robb Fraley, Chief Technology Officer: Monsanto Whistle-stop Summer Investor Field Tour. Presentation, July 31.
- OECD-FAO, 2006 “Agricultural Outlook 2006-2015”, Paris.
- Purohit, P., A. K. Tripathi y T.C. Kandpal (2006), “Energetics of Coal Substitution by Briquettes of Agricultural Residues”, Energy, 31(8-9):1321-1331.
- Reijnders L.; Huijbregts M.A.J. (2003), “Choices in Calculating Life Cycle Emissions of Carbon Containing Gases Associated with Forest Derived Biofuels”, Journal of Cleaner Production, Volume 11, N° 5, August.
- Reijnders, L. (2006), Conditions for the Sustainability of Biomass Based Fuel Use. Energy Policy 34:863–876.
- Rosegrant, M., Msangi, S., Sulser, T., and Valmonte-Santos, R., (2006), “Bioenergy and the Global Food Balance,” in Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges, 2020. IFPRI, Washington D.C.
- Sheehan, J. (2000), “Feedstock Availability and the Role of Bioethanol in Climate Change”, National Renewable Energy Laboratory, Presented at 13th International Alcohol Fuels Symposium, Stockholm, Sweden, July.

- Scherr, Sara J. (1999), "Soil Degradation A Threat to Developing-Country Food Security by 2020?", Food, Agriculture, and the Environment, Discussion Paper 27, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Sims, R. (2003), "The Triple Bottom Line Benefits of Bioenergy for the Community", for OECD Workshop on Biomass and Agriculture, Vienna, Austria, 10-13 June.
- Smeets E, y A. Faaij (2006), "Bioenergy Production Potentials from Forestry to 2050". Climatic Change, November.
- Smeets, E.M.W. A. P.C. Faaij, I.M. Lewandowski, y W.C. Turkenburg (2007), "A Bottom-up Assessment and Review of Global Bio-energy Potentials to 2050". Progress in Energy and Combustion Science, 33: 56–106.
- Suttie, J.M. (2003), "Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles". Producción y protección vegetal N° 29. FAO.
- Tilman, D., Cassman, K.C., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. (2002), "Agricultural Sustainability and Intensive Production Practices". Nature 418, 671–677.
- Tinker, P.B. (1997), "The Environmental Implications of Intensified Land use in Developing Countries". Philosophical Transactions: Biological Sciences 352, 1023–1032.
- United Nations (2006), "Energy Statistics Yearbook 2003". Department of Economic and Social Affairs. Energy Statistics Series N° 47, New York.
- USDA (2007), "USDA Agricultural Projections to 2016". Washington, D.C., February.
- USDA-DOE (2005), "Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply".
- Yamamoto, H., J. Fujino, y K. Yamaji (2001), "Evaluation of Bioenergy Potential with a Multi-regional Global-Land-Use-and-Energy Model". Biomass and Bioenergy 21, 185–203.
- Walsh, M.E. R.L. Perlack, A. Turhollow, D. de la Torre Ugarte, D.A. Becker, R.L. Graham, S.E. Slinsky, and D.E. Ray (2000), "Biomass Feedstock Availability in the United States: 1999 State Level Analysis", ORNL, <http://bioenergy.ornl.gov/resourcedata/index.html>



NACIONES UNIDAS

Serie

CEPAL

desarrollo productivo

Números publicados

El listado completo de esta colección, así como las versiones electrónicas en pdf están disponibles en nuestro sitio web: www.cepal.org/publicaciones

- 181** Producción de Biomasa para combustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe, Carlos Razo, Carlos Ludeña, Alberto Saucedo, Sofía Astete-Miller, Josefina Hepp y Alejandra Vildósola (LC/L. 2803-P), N° de venta S.07.II.G.136 (US\$10.00), 2007.
- 180** Pymes y articulación productiva. Resultados y lecciones a partir de experiencias en América Latina, Marco Dini, Carlo Ferraro y Carolina Gasaly (LC/L.2788-P), N° de venta S.07.II.G.138 (US\$10.00), 2007.
- 179** El monitoreo de los resultados de políticas agrícolas rurales: deficiencias de las estadísticas tradicionales, nuevas herramientas y su aplicación en el Municipio de Carapeguá, Paraguay, retirada.
- 178** Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina, Carlos Razo, Sofía Astete-Miller, Alberto Saucedo, Carlos Ludeña (LC/L.2768-P), N° de venta S.07.II.G.104 (US\$10.00), 2007.
- 177** Capital de riesgo y mecanismos financieros de apoyo a la innovación en Brasil y Chile, Luis Felipe Jiménez (LC/L.2763-P), N° de venta S.07.II.G.99 (US\$10.00), 2007.
- 176** Cinco piezas de política de desarrollo productivo, Mario Cimoli, Martine Dirven, Carlo Ferraro, João Carlos Ferraz, Nicolo Gligo, Martin Hilbert, Wilson Peres, Annalisa Primi y Giovanni Stumpo (LC/L.2704), N° de venta S.07.II.G.53 (US\$10.00), 2007.
- 175** Políticas activas para atraer inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe, Nicolo Gligo S. (LC/L.2667-P), N° de venta S.07.II.G.18 (US\$10.00), 2007.
- 174** Características del empleo rural no agrícola en América Latina con énfasis en los servicios, Claus Köbrich y Martine Dirven, (LC/L. 2659-P), N° de venta: S.07.II.G.10 (US\$ 10) 2007.
- 173** Capital de riesgo para la innovación: lecciones de países desarrollados, Luis Felipe Jimenez (LC/L.2617-P), N° de venta S.06.II.G.159 (US\$10.00), 2006.
- 172** Investimento brasileiro no exterior: panorama e considerações. Marcia Tavares (LC/L.2624-P), N° de venta P.06.II.G.148 (US\$10.00), 2006.
- 171** Los efectos potenciales del tratado de libre comercio entre Ecuador y Estados Unidos en las mujeres rurales ecuatorianas, César Morales y Soledad Parada, Red de desarrollo agropecuario, (LC/L.2496-P), N° de venta S.06.II.G.28 (US\$10.00), 2006.
- 170** Disposiciones agroalimentarias en los Tratados de Libre Comercio con Estados Unidos: avances y limitaciones para futuras negociaciones con socios latinoamericanos, Mónica Rodrigues, Red de desarrollo agropecuario (LC/L.2483-P), N° de venta S.06.II.G.11 (US\$10.00), 2006.
- 169** Organización industrial y competencia en las telecomunicaciones en América Latina: estrategias empresariales, Judith Mariscal, Eugenio Rivera, Red de reestructuración y competitividad (LC/L.2423-P) N° de venta S.05.II.G.170 (US\$10.00) 2005.
- 168** Crédito bancário no Brasil: participação das pequenas empresas e condições de acesso, José Mauro de Moraes, Red de Reestructuración y Competitividad (LC/L.2422-P), N° de venta P.05.II.G.169 (US\$10.00) 2005.
- 167** Impactos diferenciados de la liberalización comercial sobre la estructura agrícola en América Latina, Mónica Rodrigues, Red de desarrollo agropecuario (LC/L.2421-P), N° de venta S.05.II.G.168 (US\$10.00), 2005.
- 166** El (lento) retorno de las políticas industriales en América Latina y el Caribe, Wilson Peres, Red de reestructuración y competitividad (LC/L.2419-P), N° de venta S.05.II.G.166 (US\$10.00), 2005.
- 165** Science and Technology Policies in Open Economies: The Case of Latin America and the Caribbean, Mario Cimoli, João Carlos Ferraz y Analiza Primi, (LC/L.2404-P), sales N° E.05.II.G.151 (US\$10.00), 2005.
- 164** La importancia de la tecnología de la información y la comunicación para las industrias de recursos naturales, Graciela Moguillansky, Red de inversiones y estrategias empresariales (LC/L.2401-P), N° de venta S.05.II.G.148 (US\$10.00), 2005.
- 163** El precio de mercado de la tierra desde la perspectiva económica, Raimundo Soto, Red de desarrollo agropecuario (LC/L.2355-P), N° de venta S.05.II.G.97 (US\$10.00), 2005.
- 162** Informe sobre la industria automotriz mexicana, Michael Mortimore, Faustino Barron, Red de inversiones y estrategias empresariales (LC/L.2304-P), N° de venta S.05.II.G.52 (US\$10.00), 2005.

- 161 Macroeconomic policies, sector performance and firm response: the case of Chile's textile goods market, Beverly Carlson, Restructuring and Competitiveness Network (LC/L.2255-P), Sales No. E.05.II.G.12 (US\$10.00), 2005.
- 160 Liberalización comercial agrícola con costos de transporte y transacción elevados: evidencia para América Latina, Mónica Kjällerstrom, Red de Desarrollo Agropecuario (LC/L.2232-P), N° de venta S.04.II.G.152 (US\$10.00), 2004.
- 159 Innovación participativa: experiencias con pequeños productores agrícolas en seis países de América Latina, Marcela Cordoba, Maria Verónica Gottreet, Tito Lopez y Asociados, Alvaro Montes, Liudmila Ortega, y Santiago Perry, Red de Desarrollo Agropecuario (LC/L. 2203-P), N° de venta S.04.II.G.128 (US\$ 10.00), 2004.
- 158 Acuerdos bilaterales de inversión y demandas ante Tribunales Internacionales: la experiencia argentina reciente, Leonardo E. Stanley, Red Inversiones y Estrategias Empresariales (LC/L.2181-P), N° de venta S.04.II.G.108 (US\$10.00), 2004.
- 157 Áreas económicas locales y mercado de trabajo en Argentina: estudio de tres casos, Ximena Mazorra, Agustín Filippo y Diego Schleser, Red de reestructuración y competitividad (LC/L. 2151-P), N° de venta S.04.II.G.79 (US\$ 10.00), 2004.
- 156 A Chilean wine cluster? Governance and upgrading in the phase of internationalization Evert-Jan Visser, Red de reestructuración y competitividad (LC/L.2138-P), sales N° E.04.II.G.67 (US\$10.00), 2004.
- 155 Competitividad del sector agrícola y pobreza rural: el papel del gasto público en América Latina, Mónica Kjällerström, Red de desarrollo agropecuario, (LC/L.2137-P), N° de venta S.04.II.G.66 (US\$10.00), 2004.
- 154 Créditos a pyme en Argentina: racionamiento crediticio en un contexto de oferta ilimitada de dinero, Agustín Filippo, Daniel Kostzer y Diego Schleser, (LC/L.2136 -P), N° de venta S.04.II.G.65 (US\$10.00), 2004.
- 153 Salud y seguridad en el trabajo y el papel de la formación en México (con referencia a la industria azucarera), Leonard Mertens y Mónica Falcón, (LC/L.2130-P), N° de venta S.04.II.G.58 (US\$10.00), 2004.
- 152 Políticas públicas y la agricultura latinoamericana en la década del 2000, Pedro Tejo, (LC/L.2121-P) N° de venta S.04.II.G.50 (US\$10.00), 2004.
- 151 La inversión extranjera directa en República Dominicana y su impacto sobre la competitividad de sus exportaciones, Sebastián Vergara, Red de reestructuración y competitividad (LC/L.2120-P) N° de venta S.04.II.G.47 (US\$10.00), 2004.
- 150 El microcrédito como componente de una política de desarrollo local: el caso del Centro de Apoyo a la Microempresa (CAM), en la Ciudad de Buenos Aires, Néstor Bercovich, (LC/L.2103-P), N° de venta S.04.II.G.41 (US\$10.00), 2004.
- 159 Capacitación laboral para las pyme: una mirada a los programas de formación para jóvenes en Chile, Roberto Poblete Melis (LC/L.2076-P), N° de venta S.04.G.19 (US\$10.00), 2004.
- 148 Observatorio de empleo y dinámica empresarial en Argentina, Victoria Castillo, Sofía Rojo Brizuela, Elisabet Ferlan, Diego Schleser, Agustín Filippo, Giovanni Stumpo, Ximena Mazorra y Gabriel Yoguel, (LC/L.2072-P), N° de venta S.04.II.G.15 (US\$10.00), 2004.
- 147 Tratados de libre comercio y desafíos competitivos para Chile: la extensión de la ISO 9000, Alicia Gariazzo, Red de reestructuración y competitividad (LC/L.2068-P) N° de venta S.04.II.G.11 (US\$10.00), 2004.
- 146 Alcanzando las metas del milenio: una mirada hacia la pobreza rural y agrícola, Martine Dirven, Red de desarrollo agropecuario (LC/L.2062-P), N° de venta S.04.II.G.6 (US\$10.00), 2004.
- 145 Formación y desarrollo de un cluster globalizado: el caso de la industria del salmón en Chile, Cecilia Montero, Red de reestructuración y competitividad (LC/L.2061-P), N° de venta S.04.II.G.5 (US\$10.00), 2004.
- 144 Pobreza rural y agrícola: entre los activos, las oportunidades y las políticas —una mirada hacia Chile—, Claus Köbrich, Liliana Villanueva y Martine Dirven, Red de desarrollo agropecuario (LC/L.2060-P), N° de venta S.04.II.G.4 (US\$10.00), 2004.

- El lector interesado en adquirir números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, correo electrónico: publications@cepal.org.

Nombre: Actividad: Dirección: Código postal, ciudad, país: Tel.: Fax: E.mail:
