



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

**“ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DISPONIBLE EN
SELVAS Y EN EL SECTOR AGRÍCOLA PARA USO
BIOENERGÉTICO”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS
NATURALES**

PRESENTA

SILVIANA ISIS AYALA FUENTES



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

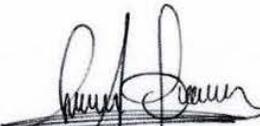
Chapingo, México. Diciembre de 2014.

“ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DISPONIBLE EN SELVAS Y EN EL SECTOR AGRÍCOLA DE MÉXICO PARA USO BIOENERGÉTICO”

Tesis realizada por Silvana Isis Ayala Fuentes bajo la dirección del Comité Asesor indicado y asesorada por el M. C. Noel Carrillo Ávila, aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

DIRECTOR:



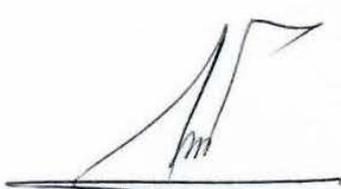
Dra. Martha Elena Fuentes López

ASESOR:



Dr. Juan Hernández Ortiz

ASESOR:



Dr. Marcos Portillo Vázquez

DEDICATORIA

A las fuerzas superiores del universo que mueven los hilos de la vida y que me han demostrado que Dios existe y que me ama.

A mi padre, J. Carmen, que ha sido un modelo de fe, constancia, trabajo, sabiduría, comprensión y amor; que conforme pasan los años el peso de su ejemplo es motivación y empuje.

A mi madre, Martha, que es muestra de luz, verdad, sabiduría, bondad, espiritualidad, trabajo y amor; que ha sido soporte, fuerza y motivación para seguir adelante, siempre adelante.

A mis hermanos, Germán y Elena; mis personas favoritas y muestra de amor personificado.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo y financiamiento otorgado para hacer posible esta etapa de formación académica y este trabajo de tesis, y con ello obtener el grado de Maestro en Ciencias en Economía y de los Recursos Naturales.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a todo su personal docente y administrativo por todo el conocimiento que me han transmitido y por su desempeño diario para hacer girar los engranes del programa.

A mis asesores: Dra. Martha Fuentes, Dr. Juan Hernández y Dr. Marcos Porillo por todo su apoyo, comprensión y aportes a este trabajo de tesis.

Al Dr. Emilio Cerda de la Universidad Complutense de Madrid por todo su apoyo y sus observaciones a este trabajo durante mi estancia de investigación en España

A los compañeros de CIMA: Carla Godínez González y Mizaél Paredes Espejel, por su comprensión y apoyo moral y laboral durante mis estudios y la elaboración de este trabajo.

A Jorge César Rodríguez Tirado por todo su apoyo y cariño que fueron soporte en los tiempos difíciles y de desesperanza; por su amistad verdadera; por quedarse cuando todos se fueron.

A mis amigos de la maestría José Luis González Hernández y Jorge Carlos Martínez Palomares por su apoyo moral y disposición para llegar a finalizar este trabajo.

A todos aquellos que indirectamente ayudaron a la finalización de este trabajo y se atrevieron a preguntar “¿Cómo va la tesis?”

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de este documento nació el 24 de enero de 1987 en la Ciudad de México, México.

Vivió toda su infancia y cursó sus primeros estudios en Texcoco, Estado de México. Inició sus estudios superiores en el año 2001 en la Universidad Autónoma Chapingo, mismos que culminó en el año 2008, obteniendo el título de Licenciado en Economía Agrícola.

De 2010 a 2012 fungió como socio y gerente general de un restaurante, del cual cedió sus derechos para iniciar sus estudios de grado.

En 2013 se hizo socia y partícipe de un grupo de jóvenes emprendedores: Centro de Innovación Mejora y Asistencia (CIMA Innovadores), a fin de colaborar en proyectos productivos, de capacitación y sociales.

ESTIMACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN SELVAS Y EN EL SECTOR AGRÍCOLA DE MÉXICO DISPONIBLE PARA USO BIOENERGÉTICO

ASSESSMENT OF RESIDUAL BIOMASS FROM RAINFORESTS AND AGRICULTURE OF MEXICO AVAILABLE FOR USE AS BIOENERGY

Ayala Fuentes, Silviana Isis, Fuentes L., M.E.

RESUMEN

La biomasa sólida se prevé como una de las fuentes energéticas renovables con mayor potencial de crecimiento durante las próximas décadas hacia un aprovechamiento sustentable en la producción energética, involucrando aspectos económicos, ambientales y sociales. México a pesar de su actividad productiva en el sector primario y su amplia superficie boscosa no ha entrado de lleno en materia. En este estudio se realizó trabajo de campo a fin de estimar los residuos derivados de los aprovechamientos maderables en ecosistema de selva en México, así como para generar el coeficiente de aprovechamiento que permitió analizar la potencialidad y disponibilidad energética a partir de los residuos generados, extrapolando a datos del SNGF de los programas de manejo en el ecosistema selva para el periodo 2010-2013 y del sector agrícola de acuerdo a los cultivos principales por volumen de producción nacional para el periodo 2003-2013. Lo anterior a fin de determinar el potencial energético no aprovechado en relación con el consumo nacional y los costos que implica.

Palabras clave: Biomasa, potencial energético, residuos forestales y agrícolas, biocombustibles

ABSTRACT

Solid biomass is the renewable energy source with the greatest potential in the coming decades for growth toward sustainable energy production, involving economic, environmental and social characteristics. Mexico even with its productive activity in the primary sector and extensive forest area has not fully addressed the subject. In this study, data were taken *in situ* to estimate residues from timber harvesting in a rainforest ecosystem in Mexico, as well as to generate a forestry coefficient which serves to analyze the potential and availability of energy from forest residues. In this way, it was possible to extrapolate to SNGF management program data for rainforest ecosystems for the 2010-2013 period and for the agricultural sector according to the main crops for domestic production volume for the period 2003-2013. This had the objective of identifying untapped potential energy relative to domestic consumption and the costs involved.

Keywords: Biomass energy potential, forest and agricultural residues, biofuels

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. OBJETIVOS	5
3. HIPÓTESIS	5
4. JUSTIFICACIÓN	6
5. MARCO DE REFERENCIA	7
5.1. USO POTENCIAL DE LA BIOMASA	12
5.2. LA BIOMASA EN MÉXICO	13
5.3. DENSIDAD DE LA MADERA Y SU PODER CALORÍFICO	18
5.4. ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO	19
5.5. INVENTARIO FORESTAL	20
5.6. CONSUMO DE ENERGÍA	26
6. METODOLOGÍA	32
6.1 ESTIMACIÓN DE RESIDUOS EN LA EXTRACCIÓN	35
6.2. ESTIMACIÓN DE RESIDUOS GENERADO EN LOS APROVECHAMIENTOS MADERABLES POR VOLUMEN AUTORIZADO	37
6.3. FACTOR DE EXPANSIÓN DE LAS ESPECIES FORESTALES	37
6.4. EL FACTOR DE EXPANSIÓN	39
6.5. DENSIDAD DE LA MADERA Y PODER CALORÍFICO	41
6.6. POTENCIAL ENERGÉTICO FORESTAL EN LAS SELVAS MEXICANAS	42
6.7. POTENCIAL ENERGÉTICO AGRÍCOLA RESIDUAL	43
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
7.1. ESTIMACIÓN DE RESIDUOS POR EXTRACCIÓN	45
7.2. POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE RESIDUOS FORESTALES EN LA SELVA MEXICANA	51
7.3. POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS	55
7.4 POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE LA BIOMASA SÓLIDA FORESTAL EN ECOSISTEMA SELVA Y AGRÍCOLA	59
8. CONCLUSIONES	64
9. BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLE.....	8
TABLA 2. FUENTES ENERGÉTICAS DE LA BIOENERGÍA	9
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE DISTINTOS RECURSOS DE BIOMASA SÓLIDA	11
TABLA 4. DISPONIBILIDAD DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL EN MÉXICO (VALORES PARA 2005).....	16
TABLA 5. POTENCIAL ESTIMADO DE BIOMASA DISPONIBLE A PARTIR DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS Y SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES.....	17
TABLA 6. MEDIA ARITMÉTICA Y VALORES DE DENSIDAD DE MADERA (T/M ³) PARA LAS ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES POR REGIONES (BROWN, 1997)	19
TABLA 7. DENSIDAD PROMEDIO DE LA REGENERACIÓN NATURAL POR FORMACIÓN	22
TABLA 8. ESTIMACIÓN DE VOLUMEN TOTAL ÁRBOL POR FORMACIÓN	23
TABLA 9. . PRODUCTIVIDAD MEDIA (VOL EN M ³ /HA) Y EXISTENCIAS MADERABLES TOTALES EN BOSQUES Y SELVAS, SEGÚN LA CONDICIÓN DE VEGETACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA	24
TABLA 10. RESUMEN DE ESTADÍSTICAS DEL ARBOLADO	24
TABLA 11. BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA (2010-2013).....	31
TABLA 12. DISTRIBUCIÓN DE PROGRAMAS DE MANEJO FORESTAL POR ENTIDAD FEDERATIVA EN LA SELVA DE MÉXICO	33
TABLA 13. VOLUMEN DISPONIBLE DE PRODUCTO Y PORCENTAJE DE RESIDUOS GENERADOS EN LA EXTRACCIÓN	47
TABLA 14. ESPECIES TROPICALES MADERABLES CON MAYOR APROVECHAMIENTO FORESTAL	48
TABLA 15. VOLUMEN ESTIMADO DE RESIDUOS PROVENIENTE DE LOS APROVECHAMIENTOS MADERABLES EN SELVAS	50
TABLA 16. POTENCIAL ENERGÉTICO DERIVADO DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN LA SELVA DE MÉXICO (2010- 2012).....	53
TABLA 17. RESIDUOS AGRÍCOLAS CON POTENCIAL ENERGÉTICO EN MÉXICO (2003- 2013).....	56
TABLA 18. POTENCIAL ENERGÉTICO AGRÍCOLA EN MÉXICO (2003- 2013).....	57
TABLA 19. POTENCIAL ENERGÉTICO AGRÍCOLA EN MÉXICO Y SU VALOR POTENCIAL A PRECIOS CORRIENTES (2003- 2013).....	60
TABLA 20. POTENCIAL ENERGÉTICO AGRÍCOLA Y FORESTAL EN MÉXICO Y SU VALOR POTENCIAL A PRECIOS CORRIENTES (2003- 2013) Y CONSTANTES (2010=100)	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE DE BIOMASA	10
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DEL ARBOLADO NACIONAL POR CATEGORÍA DIAMÉTRICA. FUENTE: INFYS 2004-2009.....	21
FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN RESPECTO LA DENSIDAD DEL ARBOLADO POR UNIDAD DE SUPERFICIE Y POR FORMACIÓN VEGETAL.	25
FIGURA 4. BALANCE TENDENCIAL ESTIMADO DE ENERGÍA DE ACUERDO A UN CRECIMIENTO ECONÓMICO ESPERADO	29
FIGURA 5. INTENSIDAD ENERGÉTICA Y CONSUMO FINAL DE ENERGÍA PER CÁPITA	30
FIGURA 6. ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA, 2012 (PETAJOULES)	30
FIGURA 7. MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TROZA.....	34
FIGURA 8. DERRIBO DE ÁRBOLES EN APROVECHAMIENTO FORESTAL. MEDICIÓN DE DIÁMETRO, LONGITUD Y SECCIONADO DE TROZAS	35
FIGURA 9. APILAMIENTO Y CUBICACIÓN DE RAMAS, PUNTAS Y COSTERAS DE ÁRBOLES DERRIBADOS.....	36
FIGURA 10. SELECCIONADO Y APILADO DE RAMAS DELGADAS PARA CUBICACIÓN DE RESIDUOS	46
FIGURA 11. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL POR ENTIDAD FEDERATIVA EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS CON POTENCIAL ENERGÉTICO	54
FIGURA 12. EQUIVALENTE DE ENERGÍA PRIMARIA A PARTIR DE RESIDUOS DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS (GJ/AÑO).....	58
FIGURA 13. VALOR REAL DEL POTENCIAL ENERGÉTICO ESTIMADO A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL (SELVAS) Y AGRÍCOLA EN MÉXICO	62

1. INTRODUCCIÓN

La energía juega un rol importante en el mundo económico y los cambios en los costos de su generación, conllevan importantes efectos en el crecimiento económico de las naciones, especialmente en los países en desarrollo mayormente importadores de petróleo.

Actualmente se han puesto en marcha grandes cambios en las fuentes de energía, derivado de la preocupación por los precios de los combustibles fósiles, los riesgos percibidos de la dependencia a los mismos y el aumento de las emisiones de gases efecto invernadero. (FAO, 2008) La producción de biocombustibles y bioenergía se presenta como una oportunidad para sustituir la producción de energía a partir de combustibles fósiles de una forma amigable con el ambiente y como una forma de impulsar el desarrollo de los países desde el sector primario de sus economías.

Las tecnologías desarrolladas en los últimos años están permitiendo transformar la madera en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, generando mayor posibilidad de utilización para materiales lignocelulósicos que de otra forma sólo son quemados para evitar acumulaciones inútiles, o se hace un aprovechamiento pobre de su contenido energético (Demirbas, 2001). Una de las tecnologías para generación de energía primaria a partir de fuentes renovables que se ha venido desarrollando en los últimos años en los países desarrollados como Suecia, Finlandia, Dinamarca, Austria, Alemania y Polonia es la biomasa sólida. En México, el tema se desarrolla en sus primeras etapas.

La biomasa sólida es una de las fuentes energéticas renovables con mayor potencial de crecimiento durante las próximas décadas hacia un aprovechamiento sustentable en la producción energética, involucrando aspectos económicos, ambientales y sociales. (Cerdeira, 2012).

Los residuos derivados del aprovechamiento forestal representan más del 45% del volumen del arbolado que se extrae. Estos residuos representan un potencial muy importante como fuente de materia prima en las tendencias actuales de generación de energías renovables. Los residuos forestales en campo como tocones, ramas, puntas, estacas, hojarasca y árboles podridos, son parte importante de la incorporación de materia prima a los suelos forestales, representan un problema para su manejo y aprovechamiento, además de contribuir significativamente en la generación de incendios forestales. Los residuos agrícolas, por otra parte, se utilizan como complemento en la alimentación ganadera, sin embargo su contenido energético es mínimo. El precio actual de estos desperdicios es muy bajo, su utilización como productos bioenergéticos incorpora una oportunidad para mejorar los ingresos y la calidad de vida de los productores y en efecto dominó, mejoraría la calidad de vida de las regiones rurales al disminuir los contaminantes ambientales (Bellais, 2007). Bajo estas circunstancias, se considera relevante evaluar los coeficientes de aprovechamiento maderable para estimar la cantidad de desperdicio que puede ser destinada como materia prima para biocombustibles y los desperdicios de la actividad agrícola en cultivos seleccionados para los mismos fines.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a los problemas medioambientales, al agotamiento de crudo y las políticas enfocadas a desarrollo limpio, se ha orientado gran parte de la investigación hacia combustibles emisores neutros de bióxido de carbono, involucrando a la biomasa como parte del abastecimiento energético mundial. Sin embargo, la uniformidad que caracteriza a los combustibles convencionales no la presenta la biomasa, lo que ha llevado a la necesidad de estudiar sus características, distribución y posibilidades reales para ser considerada una fuente de energía (Khalil *et al.*, 2008).

Para un país como México es importante conocer sus potencialidades de disponibilidad de recursos (residuos), sus alcances y su participación en la generación de energías renovables a partir de la biomasa sólida, para definir acciones y estrategias de generación de energía a partir de residuos forestales, tendientes a resolver problemas futuros de escasez de bioenergéticos.

La biomasa residual sólida forestal y agrícola representa una fuente alternativa para producción de energías verdes, los países europeos llevan gran ventaja en el estudio de esta alternativa energética. Contrariamente y a pesar de su actividad productiva en el sector primario y su amplia superficie boscosa, México aunque no ha entrado de lleno en esta materia, requiere hacer un uso integral de sus recursos. Para 2012, 938 mil hectáreas fueron autorizadas para aprovechamiento maderable, de las cuales, 59 mil corresponden a selvas de las casi 57 millones de hectáreas arboladas con que cuenta el país.

En este estudio se analizan la potencialidad y disponibilidad energética a partir de los residuos generados en las áreas de corta bajo aprovechamientos maderables autorizados en los programas de manejo forestal de ecosistema de selva, a través de los coeficientes de aprovechamiento que estiman la cantidad de madera que puede ser destinada como materia prima para biocombustible a fin de determinar el potencial energético no aprovechado en relación con el consumo nacional. En el sector forestal se consideró el periodo 2010-2013 y del sector agrícola de acuerdo a los cultivos principales por volumen de producción nacional para el periodo 2003-2013.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL:

Estimar el potencial como fuente de energía de la Biomasa sólida agrícola y forestal en la selva mexicana disponible en México con datos nacionales más recientes publicados

2.2. ESPECÍFICOS:

Estimar el potencial energético de residuos forestales disponibles en las zonas de manejo forestal de la selva mexicana y de residuos agrícolas en México.

Estimar el potencial energético factible de obtener de biocombustibles elaborados de biomasa sólida forestal y agrícola

Estimar los beneficios económicos de utilizar la biomasa sólida forestal y agrícola como materia prima para biocombustibles

3. HIPÓTESIS

México, como país con gran superficie forestal y agrícola cuenta con recursos suficientes para abastecer al menos una tercera parte de la demanda energética con combustibles verdes, coadyuvando a la mitigación del cambio climático y a disminuir la dependencia energética de los combustibles fósiles.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con una nota publicada en el periódico “El País”, La Agencia internacional de la Energía (AIE) prevé que la demanda global de crudo en 2040 será un 15% más elevada que en 2013. Así mismo, las reservas de hidrocarburos son cada vez más escasas y los nuevos yacimientos presentan tasas elevadas de inversión de capital para su explotación y una relativa escasez de crudo, aunado a esto, las economías la demanda de las economías como China y el sureste Asiático hacen que el organismo internacional prevea una demanda elevada para una oferta casi fija. EL escenario de precios bajos del barril de petróleo es una cuestión circunstancial de acuerdo con la misma nota de “El País”, por el contrario, se espera que el precio de los combustibles fósiles se eleve en las próximas décadas, sin embargo no se sabe si los precios que estos alcancen sean accesibles y si sean atractivos para continuar con su explotación.

Las energías renovables son una alternativa viable para la producción de energía. La biomasa representa a nivel mundial el biocombustible más utilizado, sin embargo, este se usa en los países menos desarrollados y las zonas marginadas en forma de leña. De acuerdo con la Organización mundial de la Salud (OMS) “3 mil millones de personas cocinan y calientan sus hogares con fuegos abiertos y cocinas en los que queman biomasa (madera, excrementos de animales o residuos agrícolas) y carbón; cada año, más de 4 millones de personas mueren prematuramente por enfermedades atribuibles a la contaminación del aire de los hogares como consecuencia del uso de combustibles sólidos para cocinar; más del 50% de las muertes por neumonía en menores de 5 años son causadas por

partículas inhaladas en interiores con aire contaminado” (OMS, 2014). Esto implica que las tecnologías para la utilización de los residuos de la industria forestal, así como de la agrícola y ganadera, constituyen un problema de interés social y económico que es necesario atender a la brevedad.

Las fuentes de energía renovable son un tópico de primer interés para las políticas de mitigación de cambio climático, así, en 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), este grupo incluyó en sus reportes de evaluación a la biomasa como uno de los ejes con mayor oportunidad de desarrollo para la mitigación del cambio climático (IPCC, 2007)

5. MARCO DE REFERENCIA

De acuerdo El Departamento de Montes y la evaluación de los recursos forestales mundiales realizada por la FAO (2010), el término general usado para definir la biomasa se refiere a toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta. La biomasa aérea está determinada por toda materia viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas. Mientras que biomasa por debajo del suelo o subterránea, se refiere a toda la biomasa de las raíces vivas (FAO, 2010).

El Diccionario de la Real Academia Española señala que el término biomasa tiene dos acepciones: 1) materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen; 2) materia orgánica

originada en un proceso biológico espontánea o provocada, utilizable como fuente de energía (RAE, 2014)

La Unión Europea (UE) define biomasa como la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales (Cerde, Ídem)

FAO (2004a) utiliza una terminología unificada sobre la bioenergía (Tabla 1), donde se distinguen tres tipos de biocombustibles (dendrocombustibles, agrocombustibles y subproductos municipales). En las dos primeras categorías se aprecian las similitudes y diferencias en las definiciones de las fuentes energéticas renovables.

Tabla 1. Fuentes de abastecimiento y tipos de biocombustible

Producción, oferta	Tipo de biocombustible	Usos, ejemplos de biocombustibles
Dendrocombustibles Directos	DENDROCOMBUSTIBLES	Sólidos: leña, rollizos, chips, carbón vegetal
Dendrocombustibles Indirectos		Líquidos: licor negro, etanol
Dendrocombustibles Recuperados		Gaseosos: gas de pirólisis
Cultivos Energéticos	AGROCOMBUSTIBLES	Sólidos: paja, tallos, cáscara, bagazo
Subproductos Animales		Líquidos: etanol, biodiesel
Subproductos Agroindustriales		Gaseosos: gas de pirolisis
SUBPRODUCTOS MUNICIPALES	Sólidos: residuos sólidos urbanos Líquidos: efluentes cloacales, bioaceite de pirolisis Gaseosos: biogás, gas de pirolisis	

Adaptado de: TUB, Terminología Unificada sobre Bioenergía, [FAO. 2004a].
 Fuente: FAO en el Informe de Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina, 2004

Las definiciones de biomasa poseen un carácter vasto y ambiguo puesto que en ellas se implican diversas fuentes energéticas que comparten características pero que difieren entre sí en cuanto a las tecnologías necesarias para su aprovechamiento e implementación como fuentes de producción de energías renovables. En este contexto, Cerda (2012) sintetiza las cuatro fuentes energéticas de la bioenergía o biomasa que define el EurobervÉR Bamometer, mismas que se presentan en la Tabla 2, de donde se desprende un análisis de la biomasa sólida para generación de energía.

Tabla 2. Fuentes energéticas de la bioenergía

	Tipo de Energía	Proceso energético	Recursos utilizados
Biomasa Sólida	Térmico o Eléctrico	Energía Primaria.	Cultivos energéticos
		Energía Residual o Secundaria	Residuos forestales, agrícolas leñosos, agrícolas herbáceos, residuos de la industria forestal y agrícola
Biogás	Térmico y Eléctrico	Metanización voluntaria por medio de Digestores anaerobios	Excedentes de cosechas o de cultivos energéticos, residuos agrícolas y ganaderos, lodos residuales.
FORSU	Térmico y Eléctrico	Incineración con o sin recuperación de energía	Residuos orgánicos procedentes de jardines, parques, de las cocinas y de los alimentos de los hogares, bares, restaurantes, proveedores y redes de distribución de alimentos y residuos procedentes de las plantas de tratamiento de los alimentos
Biocarburantes	Sustitución de gasolina o Gasóleo	Fermentación de azúcares en las plantas	caña de azúcar o remolacha como ejemplo
		Hidrólisis y fermentación	del almidón obtenido del maíz y otros cereales
		El biodiésel (proceso industrial de transesterificación)	aceites vegetales (soja, palma, girasol o colza, principalmente)

Fuente: Elaboración propia a partir de la definición de Biomasa en el texto "La biomasa en España: una fuente de energía renovable con gran futuro" Cerda, 2012

La biomasa se presenta en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo de recurso en particular, como lo muestra la Tabla 3. De igual forma, La biomasa y sus diferentes fuentes de origen para usos energéticos, se ilustran en la Figura 1.

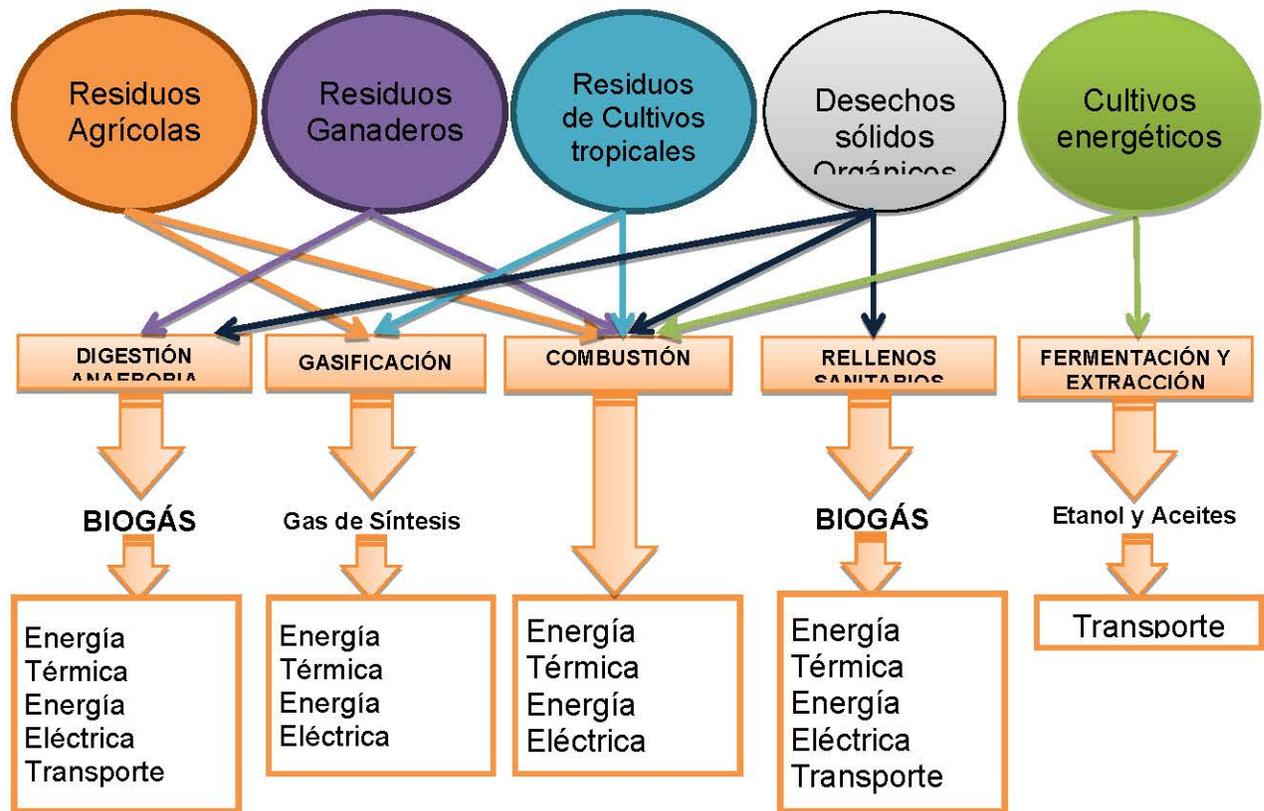


FIGURA 1. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE DE BIOMASA

En la Figura 1, podemos apreciar los diferentes tipos de biomasa sólida con potencial para su uso energético, es claro que los residuos orgánicos de la agricultura son fuente potencial para producción de energía secundaria, así como los de la industria maderera. En este sentido, no se tomarán en cuenta los residuos ganaderos, desechos sólidos orgánicos o residuos de cultivos tropicales. Por otro lado, los cultivos energéticos presentan un análisis diferente.

Tabla 3. Características físicas de distintos recursos de biomasa sólida

Recurso de biomasa	Tipo de recurso	Características físicas
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza aserrín, astillas.	Polvo, sólido, Humedad relativa (HR)>50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30-45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales,	Sólido, alto contenido humedad
	Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café)	Polvo, HR<25%
	Estiércol	Sólido, alto contenido humedad
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido HR>55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido, humedad moderada
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido, alto contenido humedad
	Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido, grasoso
Residuos Urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos (cáscaras de vegetales)	Sólido, alto contenido humedad
	Basura orgánica (madera)	Sólido, alto contenido humedad
Cultivos Energéticos	Árbol completo de rápido crecimiento	Sólido humedad relativa

Fuente: Biomasa: alternativa sustentable para la producción de Biogás

5.1. Uso potencial de la biomasa

De las diferentes fuentes de energía alternativas a la energía obtenida a partir de fósiles, la biomasa es la que mayor potencialidad presenta, ya sea desde su uso tradicional como leña en los hogares o como parte de la transformación de los residuos en combustibles.

Best y Brown (2006) reportan para México, un potencial de biomasa de 4550 PJ/año y un consumo energético de 6050 PJ, en el año 2004. Estos autores señalan algunos usos actuales de la biomasa sólida, tales como: en Virginia, se cultivan Chopos (Cottonwood) para utilizarse en la producción de etanol, actualmente éstos se utilizan para la industria de la pulpa y el papel y para restaurar suelos. En Corning, California, la industria eléctrica cultiva árboles de eucalipto con fines energéticos; Respectos a los cultivos agrícolas, en Brazil, China y USA, el sorgo dulce se utiliza para producir etanol. En Indonesia, China y Malí, la cascarilla de arroz se utiliza para la gasificación, dada la importancia de su abundancia y disponibilidad, ya que una quinta parte del peso seco del arroz corresponde a residuo.

Respecto a residuos urbanos, Best y Brown (2006) visualizan que el estiércol animal y los desechos líquidos de las granjas representan una opción para utilizarlos mediante la digestión anaerobia como biogás y obtener durante el proceso, efluentes que pudieran utilizarse como fertilizantes, reduciendo así la contaminación del agua que producen. Por otro lado, considerando que una familia europea produce una tonelada de residuos sólidos urbanos al año, con un

contenido energético de 9 GJ, alcanzaría a cubrir 1/10 parte de su consumo energético. Sin embargo, por razones sociales, estos no se aprovechan.

5.2. La biomasa en México

En México el principal uso que se le da a los residuos forestales es como leña y carbón, principalmente para combustible doméstico en hogares rurales y para un número importante de pequeñas industrias (ladrilleras, mezcaleras, hornos de alfarería y muchas más). Siguiendo la metodología de FAO (2001) para estimación de recursos forestales se desagregan los recursos forestales en: i) combustibles de madera directos provenientes ya sea de bosques naturales o de plantaciones energéticas y ii) combustibles de madera indirectos, esto es: A) sub-productos de la extracción forestal, que corresponden a los desechos maderables que se generan durante las prácticas de extracción de la madera comercial (en rollo); y B) sub-productos de la industria maderera, que corresponden a los desechos que se generan en los aserraderos y la industria del papel.

La experiencia actual de México en plantaciones forestales es reducida comparada con otros países como Brasil o del Sudeste Asiático. En los últimos años sin embargo, ha aumentado mucho esta actividad, debido principalmente a los subsidios que otorga el gobierno vía el Programa PRODEPLAN y por el precio atractivo de las maderas preciosas. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) estima el establecimiento de 875 mil ha de plantaciones con fines de producción de madera en rollo y papel, en México para el 2025 (Mancera, 2005)

En el 2005 Mancera estimó que el potencial energético derivado de las plantaciones forestales alcanzaba entre **450 y 1,246 PJ**, mientras que el volumen total aprovechable de residuos forestales para el mismo año, se estimó en **72 PJ/año**, así, el potencial energético disponible derivado de las actividades forestales en 2005 alcanzó entre **522 y 1,318 PJ** al año

Se estima que el uso de leña, aporta entre el 8% y el 10% de la energía final y entre el 36% y el 45% de la energía del sector residencial en México, sin embargo, es necesario que este consumo se refleje con mayor exactitud en el Balance Nacional de energía, publicado en el Secretaría de energía, en donde actualmente se subestima (GIRA, 2003). Algunas de las estimaciones nacionales del consumo de leña en nuestro país las resume el Grupo interdisciplinario de tecnología rural adaptada en su informe final para 2003. Estimaciones del consumo realizadas para el 2000, indican que el 89% de la población rural mexicana utilizaba la leña como fuente principal de energía, mientras que en el medio urbano, sólo el 11% de la población usaba este energético.

De acuerdo a lo anterior y otros estudios realizados, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) ha implementado dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2007- 2012, dentro del eje de sustentabilidad ambiental (reducción del GEI por generación de energías limpias) el Programa Nacional de Dendroenergía (En su objetivo 2, línea de acción 2.1) el Programa de Estufas rurales Ahorradoras de leña, este programa se ha coordinado al mismo tiempo con SEDESOL, CDI, SENER y el INE cuyo objetivo principal fue disminuir el consumo de leña para mitigar el impacto ambiental generado por la combustión ineficiente y el aprovechamiento

inadecuado de la misma, así como disminuir el riesgo de enfermedades respiratorias de la población involucrada. No obstante, análisis realizados al respecto, han detectado que el uso de leña como combustible en los hogares no es un factor causal para la deforestación y que, el consumo de leña en los hogares es difícil de erradicar por otras tecnologías como el biogás (que además es difícil encontrar suministro para el medio rural) o electricidad (debido a los costos elevados)

Por otro lado, de acuerdo con el estudio realizado por Fuentes *et al.* (2012) sobre “Determinación potencial y aprovechamiento de los residuos forestales en la producción de Bioenergía y de especies no aprovechadas en el manejo forestal” concluyen que en el monte se queda en forma de residuos, un volumen superior al que se extrae. Este volumen es importante desde el punto de vista de su utilización para aprovechamiento energético, ya que este tipo de biomasa forestal históricamente ha sido despreciado o destinado para consumo familiar en forma de leña y carbón. Los autores señalan que a medida que se incorpore al manejo forestal mayor superficie para aprovechamiento, mayor volumen de residuos se generará, lo que hace necesario dar valor y uso adecuado a la biomasa que hasta ahora se desperdicia. Macera (2005) por su lado, reporta datos estimados sobre la disponibilidad de biomasa forestal residual por tipo de vegetación en México, tanto forestal como de productos agrícolas y subproductos agroindustriales (Tablas 4 y 5)

Tabla 4. Disponibilidad de Biomasa Forestal residual en México (valores para 2005)

Formación	Superficie total	Superficie accesible (a)	Volumen en pie (b)	Factor de uso energético (c)	Productividad gravimétrica (d)	Incremento anual de madera para energía (e)	Equivalente en energía primaria (f)
	km2	Millones ha2	m ³ r/ha	Coeficiente	tMS/ha/año	Millones tMS/año	PJ/año
TOTAL	32.9	16.3 - 26.9				49,9 - 85,8	997 -1,716
BOSQUES	30.8	17.0 -25.5	64	0.55	0.96	15,7 - 26,0	314 – 519
SELVAS	55.4	11.5 -27.0	39	0.80	1.11	18,9 - 28,3	378 – 566
MATORRAL	2.2	0.9 – 1.5	15	0.95	0.84	9,7 - 22,8	193 - 455
VEGETACION HIDRÓFILA	32.9	16.3 - 26.9	100	0.9	6.00	5,6 - 8,8	112 - 176

Notas: (a) El rango de superficie accesible se obtuvo utilizando áreas buffer mínimas y máximas alrededor de las localidades y a cada lado de las carreteras principales. (b) el volumen en pie de bosques y selvas se obtuvieron del Inventario Forestal Nacional (IFN, 1994), la vegetación hidrófila de Jiménez (1998) y de matorrales Riegelhaupt (2005, com. pers.). (c) Los coeficientes de uso energético se obtuvieron a partir del porcentaje de madera aprovechable para fines no combustibles (i.e. madera comercial en rollo). (d) Los valores de productividad volumétrica de bosques se obtuvieron del IFN 1994. Para las selvas, matorrales y vegetación hidrófila utilizó estimadores porcentuales basados en las existencias máximas en metros cúbicos en por hectárea (m³/ha) y el tiempo de desarrollo de la cobertura completa (años). Los valores de productividad volumétrica se afectaron por el factor de uso energético y por el peso específico de la madera para obtener la productividad gravimétrica en toneladas de materia seca por hectárea por año (e) El incremento anual de madera para energía se obtuvo como el producto de la superficie por la productividad por el factor de uso energético. (f) Se utilizó un contenido energético promedio de 20 Giga joules por tonelada.

Fuente: Macera, 2005

Tabla 5. Potencial estimado de biomasa disponible a partir de subproductos agrícolas y subproductos agroindustriales

Categorías	Tipos (cuando corresponda)	Producto o desecho bruto con potencial energético	Año	Producción agrícola (millones ton)	Coefficiente de generación de residuo	Generación de residuos (ton)	Equivalente energía primaria (PJ/año)
Subproductos agrícolas	Caña de azúcar	Hojas y puntas	2003	48.1	0.15	7.2	108
	Arroz	Rastrojo	2000	0.3	1.50	0.4	6
	Cebada		2003	1.1	2.30	2.5	37
	Fríjol		2000	1.4	1.50	2.1	32
	Maíz		2000	20.7	1.50	31.1	466
	Sorgo		2000	6.8	1.50	10.1	152
	Trigo		2000	2.7	1.50	4.1	61
Subproductos agroindustriales	Caña de azúcar	Bagazo	2003	48.1	0.15	7.2	108
	Arroz	Cáscaras	2000	0.3	0.25	68×10^{-3}	1
	Girasol		2002	155×10^{-6}	0.25	39×10^{-6}	0.001
	Maíz	Elotes	2000	20.7	0.30	6.2	93
Total				150.1		71.0	1,065

Notas: (a) Los valores de la producción agrícola se obtuvieron del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SAGARPA-SIAP 2003); del Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2003 (INEGI, 2003) y de estadísticas publicadas por SAGARPA en su página web: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeagr.html. (b) Los coeficientes de generación de residuos se obtuvieron de Biomass Power Division (1998) citados en Kartha y Larson (1999). La unidad de los coeficientes está dada en toneladas de materia seca (tMS) de residuo (rastrosos, elotes, cáscaras, o bagazo), por tonelada (ton) de producto en unidades de producción convencionales. Las unidades de producción convencionales son: 1) "grano" para arroz, cebada, fríjol, maíz, sorgo, y trigo; 2) "flores y resto de la planta" para girasol, y 3) "cañas frescas limpias" (sin hojas y puntas) para la caña de azúcar. Notar que la producción agrícola en toneladas por año incluye a los sub-productos agroindustriales más no a los agrícolas. Los subproductos agrícolas se generan en el terreno de siembra y no se consideran parte de la producción. (c) Se utilizó un contenido energético promedio de 20 Giga joules por tonelada de materia seca.

Fuente: Macera, (2005)

Respecto al sector agrícola, se resalta que los productos agrícolas e industriales que son susceptibles a su uso como materia prima para la producción de bioenergía son las hojas, puntas y rastrojo de las cosechas de arroz, cebada, frijol, maíz y caña de azúcar, así como el bagazo residual de la industrialización de la caña de azúcar, las cáscaras después de la limpia del arroz y las semillas de girasol y, los elotes resultantes del desgrane del maíz. Por otro lado, aquellos con potencial para su uso para la producción de biocombustibles son el grano del maíz, la melaza y jugo de la caña de azúcar, las semillas de sorgo, soya y girasol, así como el fruto del aguacate y el coco.

5.3. Densidad de la madera y su poder calorífico

A pesar que las especies forestales han sido ampliamente estudiadas y debido tal vez a la amplia diversidad florística que existe de las comunes tropicales en el ecosistema de selva, no se cuenta con la caracterización tecnológica completa de todas las especies de baja o nula importancia económica, específicamente la información relacionada con su densidad básica, la cual es de gran relevancia para determinar la biomasa disponible y susceptible para su aprovechamiento energético. En las regiones del trópico en el mundo, para las especies no conocidas se utiliza la media aritmética, como se indica en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Media aritmética y valores de densidad de madera (t/m³) para las especies arbóreas tropicales por regiones (Brown, 1997)

Región tropical	Media	Valores Habituales
África	0.56	0.50 - 0.79
América	0.60	0.50 - 0.69
Asia	0.57	0.40 – 0.69

Fuente: Brown, 1997

Fuentes, et al. (2012b) determinaron que la densidad no tiene influencia directa con el poder calorífico (cantidad de calor desprendida por unidad de peso de combustible), observaron que maderas más densas presentan mayor cantidad de elementos que participan activamente en la combustión, proporcionando mayor cantidad de calor para un volumen similar. Al comparar dos especies de igual volumen pero con densidades diferentes, señalan que las maderas más pesadas y densas son mejores combustibles porque arden más tiempo. Contrariamente, las maderas de menor densidad y más porosas, retardan la combustión por la menor cantidad de oxígeno en la pieza.

5.4. Energías renovables en México

EL 17 de mayo de 2011 El ex presidente Calderón inauguró en Tres Valles, Veracruz una nueva planta de cogeneración de energía con base en biomasa con una capacidad de 145 GW/h. De acuerdo con la Secretaría de energía, con la puesta en marcha de esta planta, se presumía que se podrían ahorrar más de 3,6 millones de toneladas de dióxido de carbono y entre el 12 y 35 % del costo de facturación de la energía eléctrica que utiliza la industria azucarera anualmente.

Este ingenio pagaría 17 centavos el kilowatt/hora, menos de la décima parte de lo que pagaba anteriormente, con lo que mejoraría su competitividad. El proyecto requirió una inversión, inicial de 200 millones de pesos (mdp), la cual podría detonar cerca de 2,200 mdp más. Además, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) otorgó a esta planta un reconocimiento nacional con el “Premio a la innovación” por la tecnología empleada, dado que la materia prima para su funcionamiento es el bagazo de caña. (El Economista y CNN Expansión, 2011). Así mismo, para la misma fecha, las autoridades mexicanas en energía afirmaron que se tenían alrededor de 30 o 40 proyectos de cogeneración desarrollándose en el país.

5.5. Inventario forestal

El Inventario nacional forestal y de suelos (INFyS 2004-2009) concentra la información nacional sobre la distribución de las zonas arboladas tanto zonas de clima templado como de clima tropical. Estas zonas climáticas en conjunto con los factores de suelo, topografía y altitud, determinan las especies que crecen en el territorio nacional. Así, las alturas máximas que pueden encontrarse en las zonas montañosas del país, corresponden a especies de clima templado.

El arbolado con alturas de entre 15 y 30 metros corresponden a bosques de *Abies religiosa*. Las alturas máximas de las especies de clima tropical, no rebasan los 45 metros, incluso, son pocos los individuos con estas medidas y la mayoría se estima que se encuentran en áreas inaccesibles. En general, la altura

promedio del arbolado oscila entre los 10 y 15 metros, mientras que en las zonas tropicales de las selvas altas y medianas de Chiapas se encuentran individuos con alturas de entre 15 y 35 metros.

Por otro lado, la densidad media de población (número de árboles por hectárea) más alta se encuentra en la selva mediana de Quintana Roo y Campeche que van de 100 a 200 árboles por hectárea y hasta 340 individuos en las zonas tropicales de la península de Yucatán y de los estado de Chiapas y Oaxaca, el resto de las formaciones máximas aparecen con densidades máximas de 100 individuos por hectárea. En contraste, las zonas templadas presentan densidades de entre 30 y 100 individuos por hectárea. El mayor número de árboles medidos corresponde a las categorías diamétricas entre 10 y 15 centímetros (Figura 2), indicando que la mayoría de los bosques y selvas del país son jóvenes, producto de la regeneración después de intervenciones o disturbios de diferente índole, con diferente grado de afectación (SEMARNAT,2005).

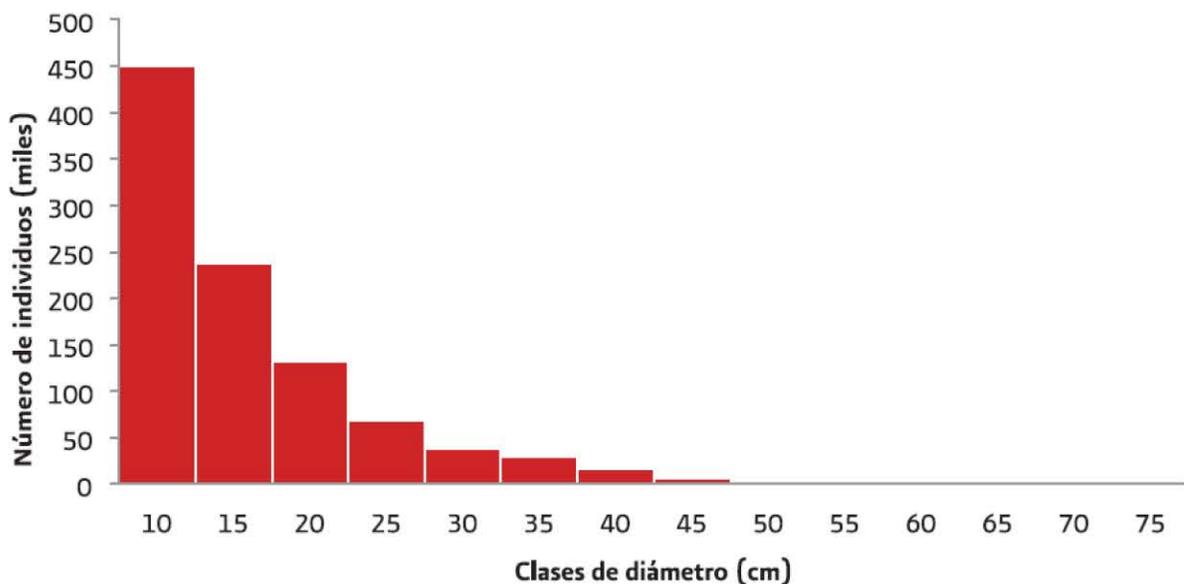


FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DEL ARBOLADO NACIONAL POR CATEGORÍA DIAMÉTRICA. FUENTE: INFYS 2004-2009

En cuanto a la diversidad de géneros y especies en regeneración natural, del registro nacional que contabiliza 3,376 denominaciones para especie, 2,511 corresponden a especies reportadas en el apartado “repoblado” y de 994 denominaciones para género a nivel nacional, 837 aparecen en el repoblado. Así, las selvas altas y medianas registran el mayor número de individuos de renuevo, con casi 16,00 brinzales por hectárea, mientras que las selvas bajas reportan 6,000, los bosques templados entre 2,000 y 2,600 brinzales por hectárea. (Tabla 7)

Tabla 7. Densidad promedio de la regeneración natural por formación

Formación	Número de individuos/ ha	E(x) en % *
Coníferas	2,496	5.67
Coníferas y latifoliadas	2,682	2.20
Latifoliadas	1,924	3.07
Selvas altas y medianas	15,961	1.14
Selvas bajas	6,088	4.23
Otras asociaciones forestales arboladas	10,539	9.26
Zonas semiáridas	8,644	3.13

* Error estandar

Fuente: INFyS 2004-2006

De acuerdo con el INFyS 2004-2006 el volumen maderable estimado por formación de bosques se desglosa en la Tabla 8, siendo las coníferas y latifoliadas las que presentan mayor volumen total árbol por unidad de área con 96 m³/ha, seguidas de los bosques de coníferas..

Tabla 8. Estimación de volumen total árbol por formación

Ecosistema	Formación	Superficie (ha)	Vol. Total promedio (m ³ /ha)(*E(x)%)	Existencias maderables Totales (m ³ r en pie)
Bosques	Coníferas	7'783,484	90.82 (3.29)	706'896,017
	Coníferas y Latifoliadas	12'874,925	96.29 (1.63)	1,239'726,528
	Latifoliadas	12'821,396	37.23 (2.26)	477'304,573
Selvas	Selvas altas medianas	14'062,207	77.30 (2.03)	1,087'008,601
	Selvas bajas	15'869,742	23.72 (3.10)	376'430,280
TOTAL		63'869,742		3,887'402,000

*Error estándar

Nota: No se considera la superficie de otras asociaciones dentro del ecosistema Selvas.

Fuente: INFyS 2004-2009

México tiene una existencia maderable rollo en pie de 3,887 millones de metros cúbicos, distribuidos en 63 millones de hectáreas (Tabla 8). De éstos, las mayores superficies corresponden a la formación vegetal de coníferas y latifoliadas, con el 32%, seguido por la formación de selvas altas y medianas con el 28%; después el bosque de coníferas con el 18% de las existencias totales, le siguen las latifoliadas con el 12% y finalmente las selvas bajas que poseen el 10% de las existencias maderables.

El análisis de las existencias maderables desde la condición de vegetación primaria y secundaria (Tabla 9), indican que es mayor en la condición primaria, con una productividad por unidad de área estimada superior a los 100m³/ha para las formaciones arboladas comerciales.

Tabla 9. . Productividad media (vol en m³/ha) y existencias maderables totales en bosques y selvas, según la condición de vegetación primaria y secundaria

Ecosistema	Formación	Vegetación primaria			Vegetación Secundaria		
		Superficie (ha)	Vol. Medio (m ³ /ha)	Existencias Totales (m ³ r)	Superficie (ha)	Vol. Medio (m ³ /ha)	Existencias Totales (m ³ r)
Bosques	Coníferas	5,497,355	108.43	596,072,221	2,286,129	74.22	169,676,507
	Coníferas y latifoliadas	8,840,642	103.67	916,509,324	4,034,283	86.19	347,714,877
Subtotal		22,137,964		1,809,688,291	11,341,842		701,276,124
Selvas	Selvas altas y medianas	3,55,921	112.30	399,554,516	10,504,286	71.84	754,627,884
	Selvas bajas	7,254,473	28.60	207,477,932	8,615,269	21.10	181,782,169
Subtotal		10,812,394		607,032,447	19,119,554		936,410,053
TOTAL		32,950,358		2,416,720,739	30,461,396		1,637,686,177

Fuente: INFyS 2004-2009

Un resumen de parámetros dasométricos estimados por INFyS (2009) sobre la densidad de árboles y su área basal por tipo de vegetación, se presentan en la Tabla 9, cuyo comportamiento con respecto a su volumen, se ilustra en la Figura 3.

Tabla 10. Resumen de estadísticas del arbolado

Ecosistema	Formación	Densidad		Cobertura		Área basal		Volumen	
		Árboles/ha	*E(%)	%/ha	*E(%)	M ² /ha	*E(%)	M ³ /ha	*E(%)
Bosques	Coníferas	175	2.33	30.85	2.81	9.67	2.48	90.82	3.29
	Coníferas y latifoliadas	228	1.30	40.49	1.48	11.06	1.21	96.29	1.63
Selvas	Latifoliadas	156	1.70	29.70	1.79	6.53	1.67	37.23	2.26
	Selvas altas y medianas	514	1.17	45.72	1.40	12.03	2.06	77.30	2.03
	Selvas bajas	221	2.65	30.29	2.62	4.74	2.50	23.72	3.10

Fuente: INFyS 2004-2009

En esta figura 3 se puede observar que existe un mayor aprovechamiento forestal de las coníferas y latifoliadas de clima templado, comparativamente con las selvas.

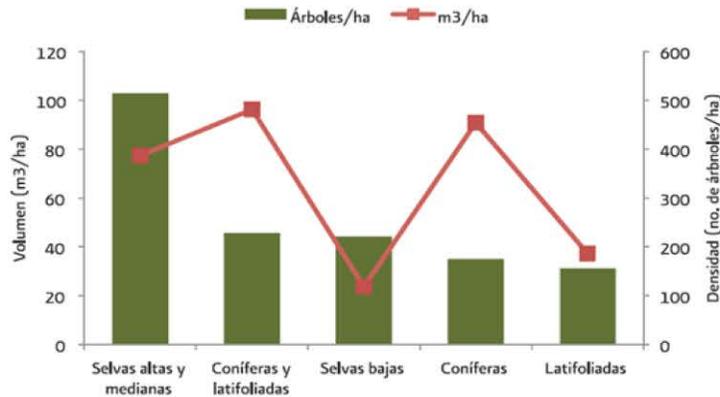


FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN RESPECTO LA DENSIDAD DEL ARBOLADO POR UNIDAD DE SUPERFICIE Y POR FORMACIÓN VEGETAL.

Los recursos forestales poseen usos maderables y no maderables y prestan una gran cantidad de servicios productivos y ambientales a la sociedad. Las especies de importancia forestal son muchas y variadas, en realidad toda vegetación tiene un papel importante desde el punto de vista ecológico y forestal, sin embargo, las especies comerciales representan un papel importante en este y otros análisis, por ser consideradas como relevantes en la cadena productiva, con mercados establecidos y otros en expansión, pero también aquellas que se pueden incorporar al manejo forestal y a su aprovechamiento, ya sean maderables o no.

De las coníferas y latifoliadas de clima templado, las especies comerciales de mayor interés son los géneros *Quercus* y *Pinus*: de las especies tropicales maderables, la mayoría son de interés para la industria mueblera, la agroforestería y la restauración, tales como *Enterolobium cyclocarpum* (parota, orejón, guanacastle, pich), *Cordia elaeagnoides* (bocote o barcino), *Brosimum alcastrum* (ramón, capomo u ojite), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Cedrela odorata* (cedro rojo) y *Tabebuia rosea* (palo rosa, roble).

El matorral xerófilo ocupa 41.2% de la superficie forestal del país, lo que implica que una buena parte de los terrenos forestales ofrece recursos que no son maderables, así, de acuerdo con el inventario, las especies con interés forestal de uso no maderable son *Euphorbia antisyphilitica* (la candelilla), *Agave lechuguilla* (lechuguilla) y *Lippia graveolens* (orégano).

Estimaciones realizadas sobre el volumen autorizado y aprovechado indican que el 46.06% del volumen extraído de las Selvas se queda en el área de corta, ya sea en forma de trozas mal conformadas, trozas que no alcanzan el diámetro comercial o que presentan algún daño mecánico o de insectos, así como partes del árbol en forma de puntas, ramas o brazuelos, mismos que representan un volumen importante para ser utilizados como leña o carbón (Fuentes, *et al.*, 2012)

5.6. Consumo de energía

El Plan Nacional de Energía (PNE, 2013- 2027) engloba una serie de políticas públicas que buscan mejorar el funcionamiento del sector energético nacional. De acuerdo con este PNE: “De 2000 a 2011, el consumo de energía en el país creció a un promedio anual de 2.08%, tasa superior a la que presentó el Producto Interno Bruto (PIB), cuyo crecimiento anual fue de 1.82%. Por su parte, la producción de energía primaria disminuyó a una tasa anual de 0.3%. De continuar estas tendencias, tanto en consumo como en producción de energía, para el 2020 México se convertiría en un país estructuralmente deficitario en energía”. El PNE destaca los siguientes puntos como clave para el desarrollo energético del país:

- a) México es un país importador neto de productos finales como la gasolina, el diésel, turbosina, gas natural, gas licuado de petróleo (L.P.) y petroquímicos. Actualmente, la demanda energética ha logrado cubrirse gracias a fuertes inversiones en plantas de “ciclos combinados” con base en gas natural, sin embargo, la demanda energética total es superior a la oferta.

- b) Las reservas probadas de petróleo disminuyeron 27% entre 2003 y 2012, a pesar de la mayor inversión realizada en la historia. En el mediano plazo, un aumento sostenido en la producción de hidrocarburos deberá respaldarse con una reposición continua de reservas probadas superior al 100%, la diversificación del portafolio y un crecimiento de la producción en yacimientos de mayor complejidad (PNE, 2013-2027).

- c) México enfrenta un reto en materia ambiental. Las políticas a implementar incluyen reducir los costos en la salud y al medio ambiente derivados de la generación y uso de la energía, así como cumplir con una cuota en la reducción de gases efecto invernadero (GEI), para ello, plantea modificar los patrones de producción y uso de energía. La meta es reducir 30% las emisiones de GEI, con relación a la línea base para 2020 del potencial de mitigación identificado.

Los requerimientos de energía forman parte de la combinación óptima de los factores de producción, de tal manera que el PIB puede definirse como una

función de capital, trabajo, tierra, materias primas, conocimientos y energía. En este sentido, existe una estrecha correlación entre la actividad económica y la demanda energética (Figura 4); de manera que, si bien no basta con satisfacer la energía que requieren las actividades productivas para lograr el crecimiento económico, sin ella no se podrían desarrollar muchas de éstas, al impedir que se presenten las condiciones necesarias para las actividades productivas y encarecer el precio de los otros factores de la producción (PNE 2013- 2027)

Con las proyecciones del PNE respecto a que no se cubre la demanda energética con nuevas tecnologías, incluidas aquellas para generar energía a partir de biocombustibles, se espera un déficit energético a partir del año 2019 que podría frenar el crecimiento económico. Esto significa que se requiere de inversiones y políticas de promoción que permitan que la energía sirva como un instrumento para la economía. Estas medidas pueden clasificarse en dos categorías: a) para aumentar la oferta de energía y b) para incrementar la eficiencia en el consumo de energía.

De acuerdo con el Balance nacional de energía (BNE, 2011) en el periodo 2001-2011 se observó un crecimiento anual promedio del consumo energético final superior al observado en el PIB, esto señala que el crecimiento del consumo per cápita de energía es superior al PIB per cápita, lo que determina que en 2011 cuesta más energía crecer económicamente con respecto al costo requerido para 2001, como se ilustra en la Figura 6 (BNE, 2011).

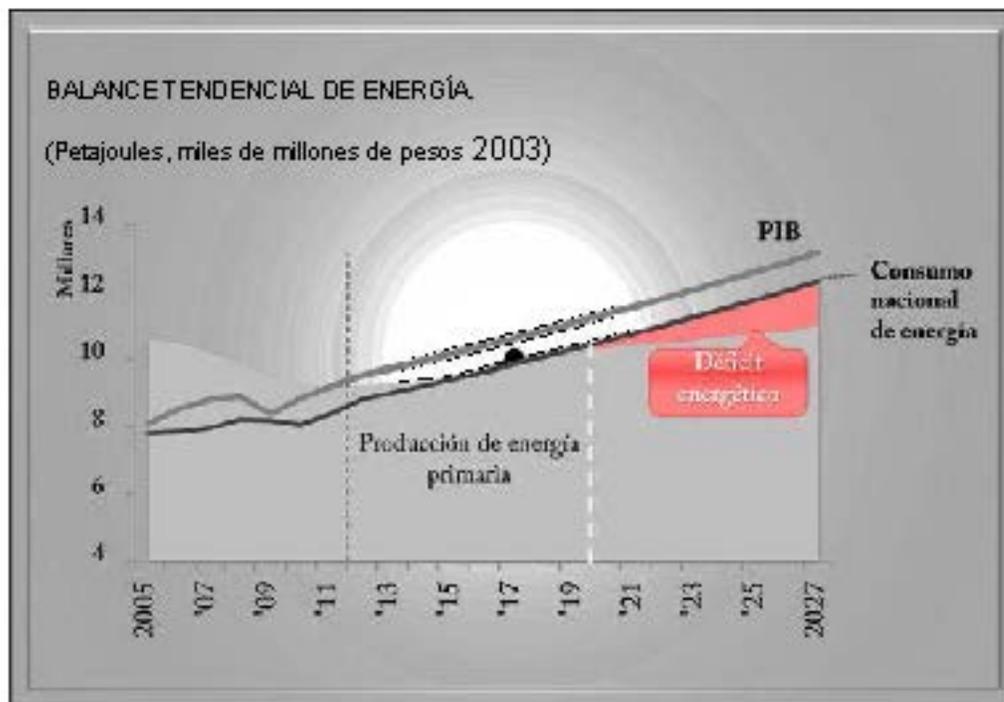


FIGURA 4. BALANCE TENDENCIAL ESTIMADO DE ENERGÍA DE ACUERDO A UN CRECIMIENTO ECONÓMICO ESPERADO
Fuente: PNE, (2013-2027), 2011

En cuanto a las energías renovables se refiere, los datos contenidos en el Balance nacional de energía (BNE, 2012) representaron apenas el 6.9% de la producción total de energía primaria en 2012, incluyendo las grandes hidroeléctricas (1.3%), las plantas de generación solar y eólica (1.7%), el carbón que incluye el carbón mineral lavado (327.69 PJ); el carbón térmico, que se utiliza principalmente para generación de electricidad (86.5% de la producción total de carbón); y carbón siderúrgico totalizó (66.33 PJ) y la biomasa que se refiere al bagazo de caña y leña con el 3.9% (Figura 6).

INTENSIDAD ENERGÉTICA Y CONSUMO FINAL DE ENERGÍA PER CÁPITA (KJ/\$PIB a precios de 2003, GJ por habitante)

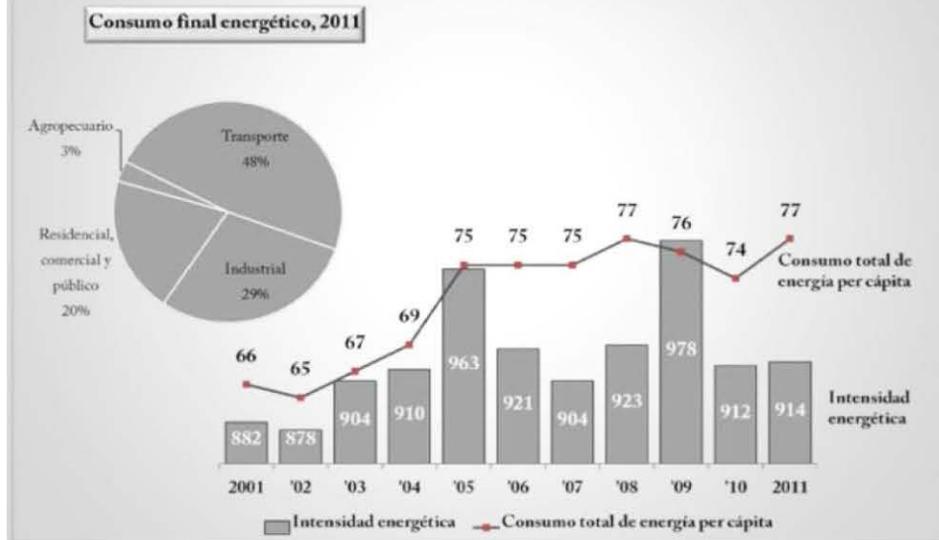


FIGURA 5. INTENSIDAD ENERGÉTICA Y CONSUMO FINAL DE ENERGÍA PER CÁPITA
Fuente: Balance Nacional de Energía, 2011

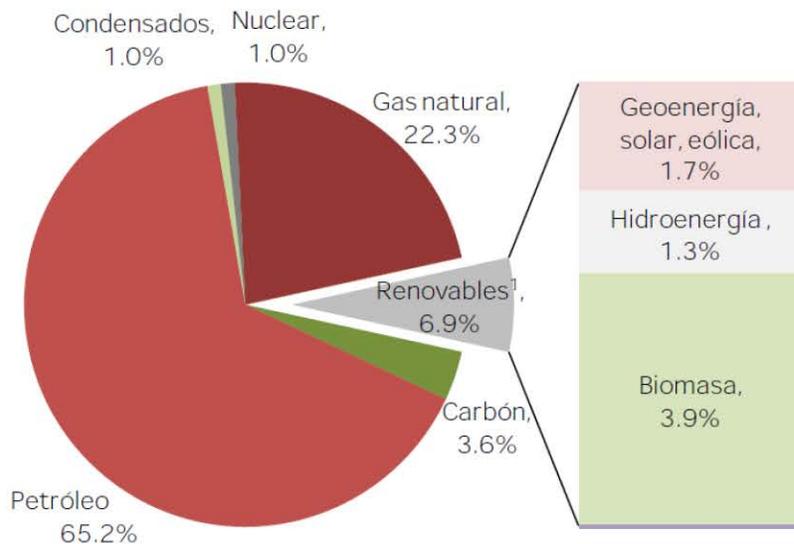


FIGURA 6. ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA, 2012 (PETAJOULES)

1/ Incluye grandes hidroeléctricas.

Los porcentajes son respecto a la producción total de energía primaria

Fuente: Balance nacional de Energía 2012

De acuerdo con los datos reportados en el Sistema de información Energética (Tabla 11), el consumo nacional de energía se ha incrementado en los últimos años, pasando de aproximadamente 8.42 mil millones de GJ en 2010 a 9.01 mil millones de GJ en 2013, esto significa una tasa de crecimiento de 7%, mientras que el consumo sólo de energía eléctrica aumentó en 10.8% en el mismo periodo, pero la producción disminuyó en 3.12%.

Tabla 11. Balance nacional de energía (2010-2013)

Descripción	Unidad	2010	2011	2012	2013	TC total (%)
Consumo nacional de energía	GJ	8,426,542,000	8,812,488,000	8,809,358,000	9,017,365,000	7.01
PIB nacional (miles de millones de pesos de 2008) ¹	\$	12,277.66	12,774.24	13,283.05	13,425.24	9.35
Población nacional (millones de habitantes) ²	pna	114.256	115.683	117.054	118.395	3.62
Intensidad energética (KJ/\$ producido)	Num	686.331	689.864	663.203	671.673	-2.14
Consumo per cápita de energía	GJ/hab	73.752	76.178	75.259	76.163	3.27
Consumo de electricidad	GWh	212,231.50	226,896.48	233,808.09	235,158.59	10.80
Consumo de electricidad	GJ	764,033	816,827	841,709	846,571	10.80
Consumo de electricidad per cápita	(kWh/hab.)	1,857.52	1,961.37	1,997.44	1,986.22	6.93
Consumo de electricidad per cápita	(GJ/hab.)	6.69	7.06	7.19	7.15	6.93
Producción	GJ	9,316,527,000	9,292,547,000	9,059,053,000	9,025,746,000	-3.12
Oferta interna bruta	GJ	8,426,542,000	8,812,488,000	8,809,358,000	9,017,365,000	7.01
Relación producción entre oferta interna bruta	Num	1.106	1.054	1.028	1.001	

Notas: /1 INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México; /2 Con información de CONAPO. Se tomó la equivalencia 1kwh=0.0036GJ

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética y SENER

6. METODOLOGÍA

Para determinar la biomasa dejada en el monte en forma de residuos en los aprovechamientos maderables en ecosistema de selva en México, se consultó y recabó información de la documentación registrada en la Secretaría Nacional de Gestión y Suelos de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) correspondiente a todos los programas de manejo forestal con vigencia de extracción maderable disponible de 2007 a 2009, de forma que permitiera evaluar la anualidad y verificar los saldos según distribución de productos. Por otro lado se entrevistaron a los prestadores de servicios técnicos forestales para visitar los predios con actividades de extracción y autorizaciones vigentes al año 2012 con la finalidad de obtener datos duros referidos al volumen de desperdicios generados. Con el propósito de determinar el potencial bioenergético de dichos residuos y estar en posibilidad de recomendar el uso del volumen resultante y de las especies que muestren mejores características bioenergéticas para producir energías alternativas se concentró la información disponible sobre el potencial energético de las especies.

Para llevar a cabo los objetivos del presente estudio, se realizaron las siguientes actividades: Muestreo para determinación de la biomasa residual en selva tropical (Se estimó el volumen de madera residual de los rodales de aprovechamiento, con un muestreo de 10% sobre áreas de corta, equivalente a aplicar un muestreo de 75 programas de manejo en ecosistema de selvas). En cada programa, se muestreó una área de corta en aprovechamiento, procurando tener mayor diversidad de especies aprovechadas, dado que los volúmenes de desperdicio

que se generan en cada caso, difieren en función del valor económico de la especie y del volumen comercial disponible. Se registraron variables para el estudio como: Volumen de biomasa residual por área de corta (v), superficie del área de corta (s), número de áreas de corta del estudio (a), número de aprovechamiento forestal (n), género forestal (g) y tipo de biomasa (t).

Para evaluar el volumen residual se establecieron anticipadamente los contactos y se gestionaron los apoyos necesarios con las delegaciones estatales, a través del proyecto “Determinación del potencial y aprovechamiento de los residuos forestales en la producción de bioenergía y de especies no aprovechadas en el manejo forestal” financiado por el fondo sectorial CONAFOR CONACyT, se contrató personal de los prestadores de servicios que tienen la responsiva de los programas de manejo forestal vigentes en cinco estados del trópico, para la toma de datos. El número de programas de manejo forestal en este ecosistema, se distribuyó en función de los programas de manejo forestal vigentes reportados por la SEMARNAT, en la forma que se indica en la siguiente Tabla 3.

Tabla 12. Distribución de Programas de Manejo Forestal por entidad federativa en la Selva de México

Entidad federativa	No. Programas de manejo forestal
Campeche	31
Yucatán	15
Quintana Roo	11
Tamaulipas	10
Veracruz	8
TOTAL	75

Fuente: elaboración propia con información de SEMARNAT

En el trabajo de campo se tomó información en cada uno de los frentes de corta visitados, para calcular el volumen de madera en rollo que se utiliza para elaborar madera aserrada o durmientes y el volumen de las puntas que son consideradas como residuos que se dejan tirados en el monte después del aprovechamiento maderable.

El procedimiento para medir el volumen de residuos y estimar su porcentaje con respecto a volumen total árbol fue el siguiente: a cada una de las trozas obtenidas al aprovechar un árbol, se le midió cuatro veces el diámetro: dos con corteza y dos sin corteza para obtener un promedio y su longitud. Para determinar el volumen de la madera en rollo comercial, se utilizó la fórmula de Huber.

$$V = AB * L$$

Donde:

V = Volumen (m³)

AB = Área Basal (0.7854 x D²)

D = Diámetro

L = Longitud



FIGURA 7. MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TROZA

Se indican a continuación las actividades de campo realizadas para identificar y evaluar el potencial de residuos en los estados seleccionados.

6.1 Estimación de residuos en la extracción.

Las variables que se midieron en las áreas de aprovechamiento fueron: En el arbolado: especie, número de árboles muestreados, altura de fuste limpio, altura total del árbol, número de trozas seccionadas en medidas comerciales (producto primario y secundario), longitud de troza, diámetro promedio mayor y diámetro promedio menor en cada troza, cubicación de ramas y puntas.



FIGURA 8. DERRIBO DE ÁRBOLES EN APROVECHAMIENTO FORESTAL. MEDICIÓN DE DIÁMETRO, LONGITUD Y SECCIONADO DE TROZAS

Para estimar el volumen de residuos, se trocearon las ramas y aquellas con diámetros mayores a 12.5 cm de diámetro se les midió: Diámetro mayor y menor en cada una de sus caras y la longitud como si fuesen trozas comerciales y su

volumen se calculó de la misma forma ya descrita. Las ramas con diámetros menores a 12.5 cm y mayores a 2.5 cm de diámetro, se trocearon en leños de 1.00 m de longitud en promedio, posteriormente fueron apilados. Para calcular el volumen de la pila, se midieron sus dimensiones en largo, ancho y alto, aplicándole un coeficiente de apilamiento de 0.5



FIGURA 9. APILAMIENTO Y CUBICACIÓN DE RAMAS, PUNTAS Y COSTERAS DE ÁRBOLES DERRIBADOS

Otros datos importantes registrados en el área de corta fueron: el tipo de vegetación secundaria, especies dominantes, tipo de suelo, pendiente y ubicación geográfica.

En ecosistema de selvas, se diferenciaron dos grupos: el de las preciosas tropicales donde se incluyó al cedro y la caoba y el de las comunes tropicales donde se concentró el resto de las especies. Con el volumen de residuos generado de 450 árboles derribados de especies tropicales (preciosas y comunes), se calcularon los volúmenes medios por especie y posteriormente los valores medios por grupo de especies, con lo que se determinaron los coeficientes de aprovechamiento y de residuos.

6.2. Estimación de residuos generado en los aprovechamientos maderables por volumen autorizado.

La información de las anualidades disponibles se solicitó a la SEMARNAT referida a volúmenes autorizados para aprovechamientos maderables de una anualidad en superficie con programas de manejo vigentes para seis estados (Quintana Roo, Campeche, Yucatán, Tamaulipas, Chiapas y Tabasco). Se registraron las variables de volumen ejercido en la anualidad, la superficie intervenida en el área de corta y datos cuantificados a nivel de especie. La variable directriz para este muestreo fue la que indicó la cantidad de biomasa en gramos (g) de residuos de madera que proviene de especies extraídas en el aprovechamiento maderable.

Para estimar la cantidad de biomasa forestal disponible en las áreas anuales de producción forestal, se utilizó el coeficiente de residuos determinado en monte, el cual se extrapola con el volumen de aprovechamiento reportado por SEMARNAT, tomando como referencia que los volúmenes autorizados son de madera en rollo fustal sin corteza, es decir, que no se reportan con base al volumen total árbol. A su vez, los volúmenes residuales de las áreas de corta, se correlacionaron con las densidades básicas de cada especie para así tener la biomasa total que es susceptible destinar a uso bioenergético, en función de su poder calorífico.

6.3. Factor de expansión de las especies forestales.

Para determinar el factor de expansión de las especies forestales, se utilizó la metodología con una adaptación de la recomendada por la FAO para estimar la

biomasa disponible utilizando los datos de los inventarios forestales anuales, sin contar la biomasa que se refiere a la vegetación menor.

Existen dos formas para estimar la disponibilidad de biomasa forestal. El primer enfoque se basa en el uso de estimaciones del volumen (VOB por sus siglas en inglés) por hectárea, este primer enfoque convierte el volumen en densidad biomásica (t / ha), utilizando una variedad de "herramientas", incluido el muestreo en campo (Brown *et al.* 1989, Brown y Iverson 1992, Brown y Lugo 1992 , Gillespie *et al.* 1992). Dentro de este método, se encuentran las estimaciones destructivas, que requieren el derribo del arbolado para la toma de muestras.

El segundo enfoque estima directamente la densidad de biomasa utilizando ecuaciones de regresión. Estas ecuaciones relacionan la biomasa secada al horno por árbol como una función de una sola o una combinación de dimensiones de los árboles. La regresión se aplica usando tablas estándares con las medidas de árboles individuales en los bosques o en las líneas (por ejemplo, cortavientos, postes de cercas vivas, jardines caseros).

La ventaja de este segundo método es que produce estimaciones de la biomasa sin tener que hacer estimaciones de volumen, seguido por la aplicación factores de expansión de biomasa (FEB) para incluir los árboles no inventariados. La desventaja es que pocos inventarios incluyen en sus datos el arbolado de diámetro pequeño para todas las especies. De esta forma, el método que emplea los FEB se utiliza cuando se requiere evaluar la biomasa total con información de inventarios forestales donde se cuantifica el volumen de especies arbóreas (Silva-

Arredondo y Navar-Chaidez, 2010) y consiste en multiplicar la biomasa de los fustes por el FEB dando como resultado el valor de la biomasa total (Dauber *et al.*, 2002).

Los datos necesarios para este enfoque es el volumen estimado por hectárea (VOB/ha), el inventario debe incluir todos los árboles, ya sea con fines comerciales o no, con un diámetro mínimo de 10 cm a la altura o por encima del tocón si este es mayor. Así, la Densidad de la biomasa en el suelo se estima mediante la siguiente fórmula:

$$DBSS = VOB * WD * FEB \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

DBSS= Densidad de la biomasa sobre el suelo (t/ha)

VOB= Volumen estimado

WD = densidad media de la madera

FEB = factor de expansión de la biomasa

6.4. El Factor de Expansión

El Factor de Expansión de la biomasa (FEB) se define como la proporción entre la biomasa total de árboles (fuste, ramas, hojas) secada al horno y la biomasa seca estimada del volumen de árboles inventariados.

Según Domínguez-Cabrera *et al.* (2009), los FEB se han calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$FEB = \frac{B_f + B_r + B_h}{B_f} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

B_f = biomasa de fuste, B_r = biomasa de ramas y B_h = biomasa de hojas.

De acuerdo con Rodríguez-Ortiz *et al.* (2012), el FEB se determina mediante ecuaciones de volumen total, con la relación:

$$FEB = \frac{BT}{EV} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

BT = biomasa total; EV = ecuación de volumen.

Para fines del presente trabajo, el FEB se consideró como la densidad básica de la madera ya que, ésta se define como la proporción entre el peso entre el peso de la madera secada al horno por unidad de volumen en verde, por lo tanto, el FEB se expresa como:

$$FEB = Db \dots\dots\dots (4)$$

Donde

Db: Densidad básica

Para alimentar la base de datos y correr el modelo de estimación de biomasa generado para este estudio, se utilizaron los datos de volúmenes autorizados y aprovechados que se registran en el Sistema Nacional de Gestión Forestal (SNGF) de la SEMARNAT para el año 2012, para el ecosistema de selva y los coeficientes de aprovechamiento obtenidos en campo por Fuentes *et. al.* (2012a) respecto al volumen de biomasa total susceptible de uso bioenergético. Estos coeficientes estimados como residuos del proceso de corta fueron 50.94% para las especies comunes tropicales y de 46.82% para las especies preciosas tropicales.

6.5. Densidad de la madera y poder calorífico

Debido a la amplia diversidad florística que existe de las comunes tropicales en el ecosistema de selva, no se cuenta con la caracterización tecnológica completa de todas las especies existentes con importancia económica, relacionada con su densidad básica. Para estos casos, para determinar la biomasa disponible y susceptible para su aprovechamiento energético, se empleó un valor ponderado basado en el promedio de las especies conocidas, ubicándolas por su género o familia. En la base de datos y en la regresión se incluyó la densidad básica promedio, reportada por Fuentes *et. al.*, (2012b) en 0.656 g/cm^3 para las especies comunes tropicales y 0.44 g/cm^3 para las especies preciosas (Fuentes *et. al.*, 2012b).

El poder calorífico superior (PCS) o poder calorífico bruto (PCB) mide la cantidad total de calor que se producirá mediante la combustión. Sin embargo, una parte de ese calor permanecerá en el calor latente de la evaporación del agua existente en el combustible durante la combustión. El poder calorífico inferior (PCI), o poder calorífico neto (PCN), excluye el calor latente. Por consiguiente, el valor térmico más bajo es la cantidad de calor disponible realmente en el proceso de combustión para captarlo y utilizarlo. Cuanto mayor sea el contenido de humedad de un combustible mayor será la diferencia entre el PCB y el PCN. (FAO, 2001)

6.6. Potencial energético forestal en las selvas mexicanas

Para fines del presente trabajo, se recopilaron datos del Sistema Nacional de Gestión Forestal (SNGF) para los años 2010, 2011 y 2012 sobre el aprovechamiento forestal en las zonas de la selva baja y media de la república mexicana. Se obtuvieron datos sobre el volumen anual aprovechable y los residuos generados derivados del aprovechamiento forestal, así como la densidad básica por especie. En las especies de bajo aprovechamiento forestal y cuya densidad básica no ha sido determinada se tomó el promedio de las demás especies comunes tropicales. El procedimiento es el que sigue:

$$PwE = \sum BS * DE \dots\dots\dots (5)$$

$$DE = Db * Pwc \dots\dots\dots (6)$$

$$BS = VRE * Db \dots\dots\dots (7)$$

$$VRE = VTA * (1 - Ca) \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

PwE: Poder energético (GJ)

BS: Biomasa sólida (Ton)

DE: Densidad energética (gcal/m³)

Db: Densidad básica (g/cm³)

Pwc: Poder calorífico (kcal/kg)

VRE: Volumen sólido de residuos (m³r)

VTA: Volumen Total de Aprovechamientos maderables

6.7. Potencial energético agrícola residual

Se recopilaron los datos de producción anual de cultivos básicos en el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) para el periodo 2003-2013. De la bibliografía consultada, se obtuvo información referente a los coeficientes de generación de residuos para los cultivos seleccionados (caña de azúcar, arroz, cebada, frijol, maíz, sorgo, trigo, caña de azúcar para producción industrial y girasol para producción industrial), Posteriormente con la ecuación que se describe, se procedió a calcular el potencial energético derivado de los residuos agrícolas nacionales para el periodo 2003- 2013.

De tal forma que las ecuaciones utilizadas se describen en seguida:

$$PwE = \sum(\beta_i X_i) * 20 \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

PwE: poder energético Total

β es un coeficiente de generación de residuos para cada i

X es la producción total anual reportada de cada i

i corresponde a cada cultivo con importancia nacional por su volumen de producción (caña de azúcar, arroz, cebada, frijol, maíz, sorgo, trigo, caña de azúcar para producción industrial y girasol para producción industrial) tomándose como contenido energético 20 Giga joules (GJ) por tonelada de materia seca, esto es, por cada tonelada generada de residuos agrícolas, corresponde esta cantidad como potencial energético.

El poder energético total se expresó anualmente, dado que la producción de energía a partir de los desechos de la industria forestal, se reporta anualizada.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Estimación de residuos por extracción

Conforme a la metodología propuesta y a los objetivos planteados, se evaluaron en campo los residuos que se generaron en las actividades de extracción y abastecimiento forestal. Se formaron brigadas entre técnicos y productores para medir 450 árboles de especies nativas de selva comprendida en los estados de Quintana Roo, Campeche, Yucatán, Tamaulipas y Veracruz. El resultado de esta evaluación fue calcular el volumen residual que queda en monte y expresarlo en fracción promedio del volumen rollo total árbol de los individuos evaluados. (Figura 10)

De los coeficientes de aprovechamiento y de residuos calculados con la información obtenida en campo (Tabla 13), se determinó que del volumen extraído, en promedio se queda el 46.06% en el área de corta, ya sea en forma de trozas mal conformadas, trozas que no alcanzan el diámetro comercial o que presentan algún daño mecánico o de insectos, o partes en forma de puntas, ramas y/o brazuelos que actualmente no tienen un mercado factible para su aprovechamiento.



FIGURA 10. SELECCIONADO Y APILADO DE RAMAS DELGADAS PARA CUBICACIÓN DE RESIDUOS

Se realizó una proyección más aproximada del volumen de residuos, utilizando el volumen promedio autorizado por hectárea en selvas, el área promedio de anualidades para las áreas de corta y el total de programas de manejo forestales vigentes para los estados antes citados. Con el promedio de la densidad de las especies evaluadas y el promedio de su valor energético, se estimó el volumen residual anual para los aprovechamientos forestales. Los resultados obtenidos en el muestreo de las distintas áreas de corta de cada Programa de Manejo Forestal, se indican en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13. Volumen disponible de producto y porcentaje de residuos generados en la extracción

ARB	NOMBRE DE ESPECIES		VOLUMEN (m ³)			%	
	Científico	Común	Residuos	Producto	Rta	Producto	Residuos
4	<i>Malvaviscus arboreus</i>	Manzanillo	11.194	0.791	11.985	6.599	93.401
4	<i>Schizolobium parahybum</i>	Picho	11.570	2.276	13.846	16.436	83.564
4	<i>Protium copal</i>	Amargoso	8.232	1.813	10.045	18.046	81.954
4	<i>Cordia alliodora</i>	Xochilcuahuitl	3.614	0.919	4.533	20.277	79.723
4	<i>Sapindus saponaria</i>	Coyolillo	4.719	1.277	5.995	21.292	78.708
4	<i>Sweetia panamensis</i>	Cencerro	1.789	0.879	2.668	32.937	67.063
4	<i>Tapirira mexicana</i>	Cacao	3.278	1.809	5.087	35.566	64.434
14	<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tzalam	2.132	1.624	3.756	43.246	56.754
6	<i>Pouteria unilocularis</i>	Zapotillo	0.584	0.447	1.031	43.322	56.678
6	<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	3.138	2.476	5.614	44.104	55.896
15	<i>Bucida buceras L.</i>	Pucte	1.684	1.401	3.085	45.418	54.582
12	Manilkara zapota	Chicozapote	2.495	2.256	4.751	47.477	52.523
4	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Machiche	0.789	0.766	1.555	49.233	50.767
4		Pa'asak	0.610	0.660	1.270	51.985	48.015
6	<i>Nectandra sp.</i>	Pimientillo	0.605	0.674	1.279	52.697	47.303
51	<i>Vitex gaumeri grem</i>	Ya'axnic	0.625	0.724	1.348	53.673	46.327
6	<i>Swartzia cubensis</i>	Katalox	0.622	0.727	1.349	53.892	46.108
6	Protium copal	Copal	0.608	0.719	1.327	54.193	45.807
15	<i>Piscidia piscipula</i>	Jabín	0.756	0.910	1.666	54.631	45.369
6	<i>Sickingia salvadorensis</i>	Chacahuante	0.619	0.749	1.367	54.755	45.245
4	<i>Ficus cotinifolia</i>	Higuera	6.382	8.044	14.426	55.762	44.238
9	<i>Caesalpinia violacea</i>	Chakte viga	0.649	0.854	1.503	56.841	43.159
40	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	0.581	0.780	1.361	57.287	42.713
23	<i>Metopium brownei</i>	Chechen	0.485	0.685	1.171	58.546	41.454
29	<i>Pouteria campechiana</i>	Kaniste	0.583	0.882	1.465	60.212	39.788
6	<i>Dhipolis salicifolia</i>	Zapote faisán	0.798	1.253	2.052	61.083	38.917
17	<i>Matayba opsitifolia</i>	Tempesquite	1.071	1.834	2.905	63.126	36.874
31	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	1.074	2.310	3.384	68.262	31.738
4	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	Pelmax	0.549	1.537	2.086	73.698	26.302
4	<i>Bursera simaruba</i>	Chaka	0.326	1.352	1.678	80.549	19.451
4	<i>Zuelania guidonia</i>	Trementino	0.000	1.349	1.349	100.000	0.000

En la Tabla 14 se muestran las especies con mayor aprovechamiento maderable, observándose que el porcentaje de residuos generados en la extracción, el más alto valor corresponde a las especies comunes tropicales. Lo cual se explica porque el uso mayoritario de las especies que conforman a las comunes tropicales se destina a madera de durmientes, donde el coeficiente de residuos por costeras es aún más alto. Contrariamente, la caoba (*Swietenia macrophylla*) considerada como la especie de mayor valor comercial, presenta el menor porcentaje de desperdicio (31.74 %).

Tabla 14. Especies tropicales maderables con mayor aprovechamiento forestal

ESPECIE		% PRODUCTO	% RESIDUOS
<i>Preciosas</i>		56.18	43.82
<i>Comunes tropicales</i>		49.06	50.94
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	68.26	31.74
<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	44.1	55.9
<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tzalam	43.25	56.75
<i>Metopium brownei</i>	Chechen	58.55	41.45
<i>Manilkara zapota</i>	Chicozapote	47.47	52.52
<i>Pouteria campechiana</i>	Kaniste	60.21	39.79
<i>Bucida buceras L.</i>	Pucte	45.42	54.58
<i>Brosimun alicastrum</i>	Ramón	57.29	42.71
<i>Matayba opsitifolia</i>	Tempesquite	63.13	36.87
<i>Vitex gaumeri grem</i>	Ya'axnic	53.67	46.33
<i>Piscidia comunis</i>	Jabín	54.63	45.37
<i>Otras especies</i>		45.10	54.90

Cabe indicar que los resultados que se presentan, reflejan únicamente los volúmenes extraídos de las áreas de corta que cuentan permisos de aprovechamiento bajo un programa de manejo forestal. No está incluido el

volumen correspondiente a las áreas que realizan aprovechamientos fuera de la normatividad vigente de SEMARNAT.

Del volumen aprovechado en el año 2012 por 464,458.38 m³r, el estimado para residuos en las áreas de corta de las selvas, fue de 213,929.52 m³r, de éstos 20,915.94 m³r se obtuvieron del grupo de especies preciosas tropicales y 193,010.58 m³r de especies comunes tropicales (Tabla 15), considerando que los volúmenes autorizados y reportados corresponden a madera en rollo fustal sin corteza.

Esto representa un volumen disponible de 135,817.95 toneladas de madera seca, de los cuales, 9,203.01 toneladas de biomasa corresponden a preciosas, considerando para éste grupo una densidad promedio de 0.44 g/cm³. Un volumen de 126,614.94 toneladas se generan de comunes tropicales cuya densidad promedio se estimó en 0.656 g/cm³.

Lo anterior indica que en el monte se queda un volumen en forma de residuos, superior al que se extrae. Este volumen es importante desde un enfoque de disponibilidad de materia prima para aprovechamiento energético, ya que este tipo de biomasa forestal históricamente ha sido utilizado únicamente para dendroenergía en forma de leña y carbón.

Tabla 15. Volumen estimado de residuos proveniente de los aprovechamientos maderables en selvas

MADERA	VOLUMEN TOTAL APROVECHADO(m ³ r)	VOLUMEN RESIDUAL(m ³ r)	BIOMASA SECA(Ton)
PRECIOSAS Y COMUNES	464,458.38	213,929.52	135,817.95
MADERAS PRECIOSAS	45,410.84	20,915.94	9,203.01
COMUNES TROPICALES	419,047.36	193,010.58	126,614.94

Estos residuos deberán tener en el corto plazo un uso definido, pues la estimación nos indica que representan casi la mitad del volumen derribado. Los nuevos productos bioenergéticos representan una alternativa de destino factible, además ya existen tecnologías para ofrecer combustibles forestales densificados o materias primas para nuevos combustibles renovables. A medida que se incorpore al manejo forestal mayor superficie para aprovechamiento, mayor volumen de residuos se generará, lo que hace necesario dar un uso adecuado a la biomasa que hasta ahora se desperdicia.

Aunque algunos de los investigadores del grupo ETC (Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración)ⁱ consideran el uso de la biomasa como un negocio más de la red corporativa del poder mundial, es indispensable admitir que los recursos petroleros, aunados a la población creciente y demandante de recursos de diversa índole (entre ellos el energético y considerado como el más importante), están poniendo en crisis el desarrollo industrial y económico, así como el medio ambiente. Por otro lado, los partidarios del Calentamiento global afirman que son las industrias y las actividades agrícolas las que, con un uso

energético importante, favorecen el calentamiento global, por lo que el desarrollo de este tipo de tecnologías verdes, es decir, los biocombustibles a partir de biomasa sólida, representan una alternativa viable y una oportunidad de negocio para mejorar ingresos para el sector primario de las economías, incluyendo a las economías en desarrollo, tales como la mexicana.

Así mismo, aplicar las tecnologías verdes disponibles (como los pellets) a la biomasa sólida residual forestal proporcionará una alternativa con reducción de riesgos a la salud para las familias cuyo combustible es la leña o el carbón, aprovechando las estufas que se repartieron a lo largo del país bajo el esquema de el Plan Nacional de Desarrollo 2007- 2012 de la CONAFOR.

7.2. Potencial energético a partir de residuos forestales en la selva mexicana

Para cubrir el segundo objetivo respecto a la estimación del potencial energético de los residuos forestales de la selva mexicana, se presentan los resultados en la Tabla 16, mostrando un patrón variable en la estimación del potencial energético, lo cual obedece a que los volúmenes aprovechados en cada anualidad de acuerdo a los programas de manejo, son variables y afectados por factores diversos, de tipo social, económico y ambiental, además de las externalidades.

Se obtuvo para 2010 un potencial energético estimado de 63,650 GJ, cabe indicar que en esta anualidad, los estados de Tabasco y Yucatán no presentaron reportes de aprovechamientos maderables importantes. Para 2011 la

participación de los aprovechamientos en el estado de Quintana Roo, sufrió un incremento que incidió en que la estimación del potencial energético se incrementara en 761,206 GJ. Sin embargo, en la anualidad de 2012, la estimación descendió a 151,991 GJ, estos resultados son válidos y aceptables si se considera que en México, el registro y reporte de la información tiene retrasos y adolece de pronta actualización, por lo que habría que esperar a que la base de datos sea alimentada completamente y realizar el ajuste correspondiente.

De acuerdo con las estimaciones reportadas en la Tabla 16 y el balance de energía expuesto en la Tabla 11, el potencial energético a partir de residuos forestales en las selvas mexicanas representó el 8%, 93 % y 18 % del consumo nacional de energía eléctrica, reportados por la SENER (2014) con valores de 764,033 GJ, 816,817 GJ y 841,709 GJ para los años 2010, 2011 y 2012, respectivamente..

En la Figura 11 se puede apreciar la participación porcentual de los volúmenes de residuos disponibles en los diferentes programas de manejo y en términos del potencial energético, lo que es factible generar. Quintana Roo es para los tres años de análisis, el estado con mayor número de superficie forestal, acorde con el volumen de sus aprovechamientos maderables y en este sentido, refleja una mayor participación porcentual de residuos, cuyos valores por mucho, son superiores al resto de los estados.

Tabla 16. Potencial energético derivado del aprovechamiento forestal en la selva de México (2010- 2012)

Año	Estado	Sup total aprovechamiento (ha)	Volumen total de aprovechamiento (m ³ r)	Posibilidad estimada (m ³ r/ha) ^{1/}	Volumen Residuos (m ³ r)	Biomasa Seca (Ton)	Densidad energética (Gcal/m ³) ^{2/}	Potencial energético (GJ)	Subtotal (GJ)
2010	Campeche	533,802	4,129,647	23,103,756	2,090,966	1,357,418	2.87	16,706	63,650
	Chiapas	1,193	60,691	10,430	30,695	19,556	2.57	214	
	QRoo	343,684	8,621,686	1,288,988	4,338,482	2,766,849	2.57	30,874	
	Tamaulipas	126,631	4,134,502	1,115,506	2,106,115	1,402,044	2.70	15,856	
2011	Campeche	38,106	359,328	768,932	182,580	117,870	2.62	1,330	761,206
	Chiapas	2,000	25,144	12,064	12,808	8,332	2.63	92	
	QRoo	10,664,987	211,288,589	195,970,301	106,789,843	66,878,423	2.53	735,748	
	Tabasco	14.00	310.22	350.00	136	63	1.88	0.494	
	Tamaulipas	11,310	263,834	80,315	134,397	88,164	2.66	981	
	Yucatán	237,386	6,050,426	3,017,634	3,082,087	2,033,290	2.68	23,054	
2012	Campeche	68,154	251,558	1,363,149	127,429	83,272	2.62	950	151,991
	Chiapas	546	18,471	3,515	9,409	6,194	2.66	69	
	QRoo	2,575,885	22,162,067	64,397,125	11,161,073	6,896,614	2.50	74,801	
	Tabasco	14.00	182.34	14.00	93	59.91	2.62	0.656	
	Tamaulipas	96,848	3,109,243	860,800	1,583,849	1,069,817	2.69	12,285	
	Yucatán	538,775	16,743,427	5,377,136	8,529,101	5,592,377	2.62	63,884	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos del SNGF e INIFAP

1/ La posibilidad estimada está expresada tal cual lo reporta el SNGF; 2/ Los valores empleados en el cálculo corresponde al promedio de la densidad básica de todas las especies tropicales consideradas por estado, en este estudio.

Nota: se incluye solo el periodo de 2010 a 2012 de los datos reportados por el SNGF para el ecosistema Tropical (Selva) de los predios con manejo forestal. Se tomaron en cuenta 190 especies reportadas por el SNGF para las mismas zonas y período.

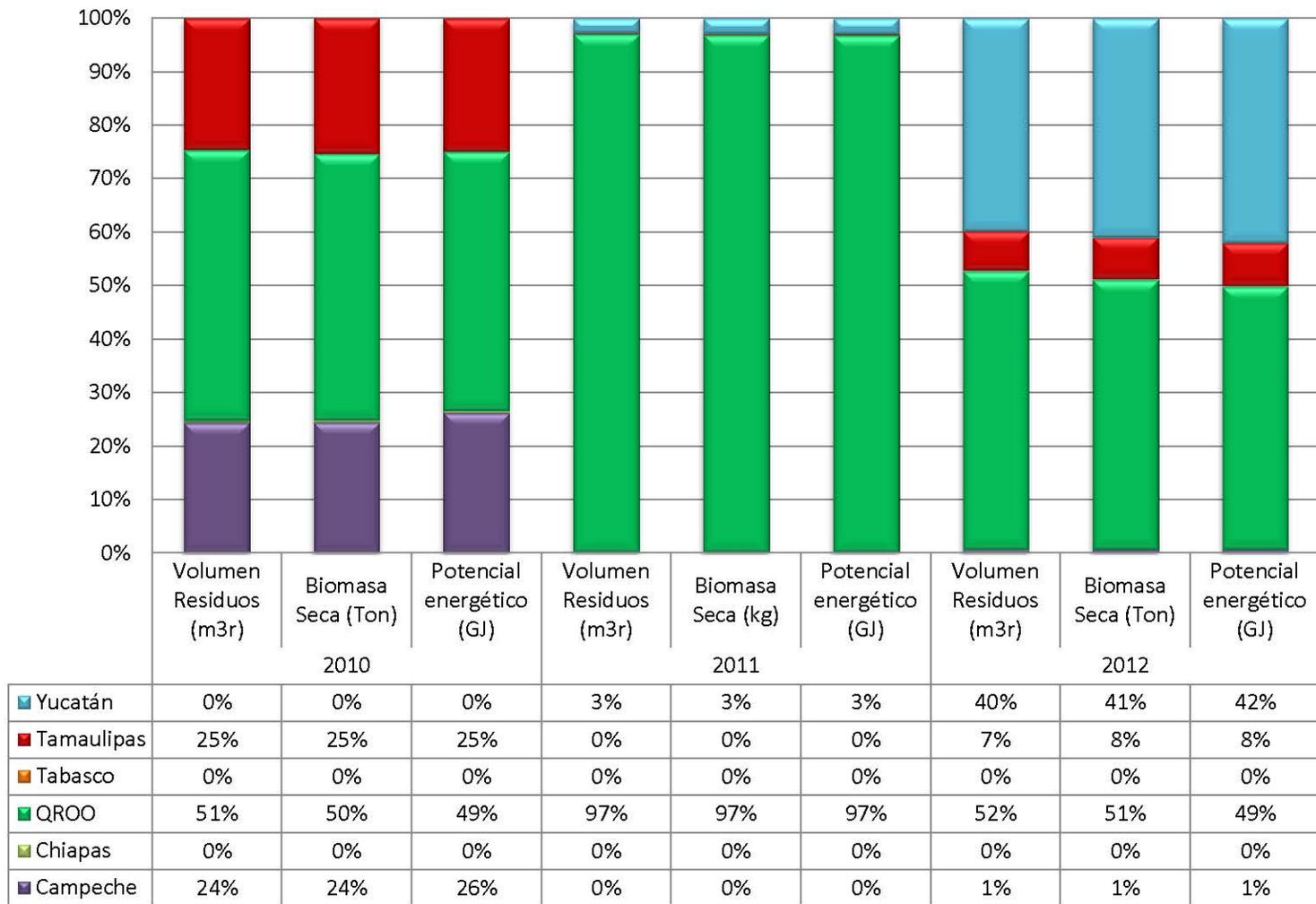


FIGURA 11. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL POR ENTIDAD FEDERATIVA EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS CON POTENCIAL ENERGÉTICO

En la anualidad 2012, Yucatán y Quintana Roo presentaron valores similares en su participación al manejo forestal. Como es de esperarse, el potencial energético factible de obtener de este tipo de materia prima, está relacionado de forma directa con el volumen de aprovechamientos forestales y este a su vez, con la cantidad de residuos generados.

En este análisis, no se consideró la estimación y participación del volumen de aprovechamiento maderable del estado de Veracruz, porque se identificó que no existen bosques con ecosistema de selva con superficies suficientes para el aprovechamiento industrial. Estos aprovechamientos son de traspatio, tienen una distribución geográfica dispersa y las especies derribadas se enfocan principalmente al cedro (*Cedrella odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*).

7.3. Potencial energético a partir de residuos agrícolas

En relación con la estimación del potencial energético de los residuos agrícolas, cabe resaltar que se enfocó en aquellos con mayor producción nacional. Se consideró la información disponible en la década 2003 a 2013 y reportada por SIAP-SIACON (2014), INEGI (2014) y Macera (2005).

Tabla 17. Residuos agrícolas con potencial energético en México (2003- 2013)

Categoría	Año / Cultivo	PRODUCTOS AGRÍCOLAS							SUBPRODUCTOS INDUSTRIALES		TOTAL
		Caña De Azucar	Arroz	Cebada	Frijol	Maíz	Sorgo	Trigo	Caña de azúcar	Girasol	
Producción agrícola (Miles de TON)	2003	48,113	273	1,693	1,415	30,843	12,447	2,791	47,975	0.15	145,550
	2004	49,250	279	1,212	1,163	31,107	12,098	2,412	49,127	0.23	146,649
	2005	52,274	291	1,384	827	27,793	9,824	3,074	52,144	0.03	147,611
	2006	50,676	337	1,242	1,386	32,388	11,089	3,449	50,553	0.18	151,121
	2007	52,676	295	1,038	995	33,872	11,500	3,573	52,527	0.01	156,474
	2008	51,737	224	1,318	1,112	37,218	11,830	4,274	51,573	0.01	159,287
	2009	49,357	263	995	1,042	29,411	11,219	4,159	49,238	0.33	145,684
	2010	51,025	217	1,153	1,157	35,114	11,589	3,737	50,883	3.80	154,878
	2011	50,614	173	886	569	27,266	10,380	3,691	50,136	2.83	143,719
	2012	51,643	179	1,540	1,082	34,171	12,406	3,607	51,358	1.31	155,986
	2013	61,706	180	1,009	1,296	35,325	11,114	3,445	61,560	4.55	175,640
CGR		0.15	1.50	2.30	1.50	0.15	1.50	1.50	0.15	0.25	
Producto o desecho bruto con potencial energético (Miles de ton secas)	2003	7,217	410	3,893	2,122	4,626	18,671	4,186	7,196	0.04	48,322
	2004	7,387	418	2,789	1,745	4,666	18,148	3,618	7,369	0.06	46,140
	2005	7,841	437	3,183	1,240	4,169	14,736	4,611	7,822	0.01	44,039
	2006	7,601	506	2,857	2,079	4,858	16,634	5,174	7,583	0.04	47,292
	2007	7,901	442	2,387	1,492	5,081	17,250	5,359	7,879	0.00	47,791
	2008	7,761	337	3,031	1,668	5,583	17,745	6,411	7,736	0.00	50,271
	2009	7,403	395	2,289	1,563	4,412	16,828	6,238	7,386	0.08	46,513
	2010	7,654	325	2,652	1,736	5,267	17,384	5,606	7,632	0.95	48,256
	2011	7,592	260	2,038	853	4,090	15,571	5,537	7,520	0.71	43,462
	2012	7,746	268	3,542	1,623	5,126	18,609	5,410	7,704	0.33	50,029
	2013	9,256	270	2,320	1,944	5,299	16,671	5,168	9,234	1.14	50,163

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP-SIACON (2014)

En la Tabla 17 se resumen los resultados obtenidos que indican una producción sumaria que va de 143,719 a 175,640 mil toneladas. De estos, la disponibilidad de materia prima base seca, indican un potencial de residuos disponible y factibles de utilizar para uso energético que varía de 43,462 a 50,271 miles de toneladas. El

potencial energético contenido en estos productos se determinó de manera individual y total y se registra en Peta-joules por año.

Tabla 18. Potencial energético agrícola en México (2003- 2013)

Categoría	Año / Cultivo	PRODUCTOS AGRÍCOLAS						SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES		TOTAL (PJ)	
		Caña de Azúcar	Arroz	Cebada	Frijol	Maíz	Sorgo	Trigo	Caña de azúcar		Girasol
Equivalente energía primaria (PJ/año)	2003	144.34	8.20	77.86	42.45	92.53	373.42	83.72	143.92	0.001	966.44
	2004	147.75	8.36	55.77	34.90	93.32	362.95	72.37	147.38	0.001	922.80
	2005	156.82	8.73	63.65	24.81	83.38	294.72	92.22	156.43	0.000	880.77
	2006	152.03	10.12	57.14	41.58	97.16	332.67	103.47	151.66	0.001	945.83
	2007	158.03	8.84	47.74	29.84	101.61	344.99	107.19	157.58	0.000	955.82
	2008	155.21	6.73	60.62	33.36	111.66	354.89	128.23	154.72	0.000	1,005.42
	2009	148.07	7.89	45.78	31.25	88.23	336.56	124.77	147.71	0.002	930.27
	2010	153.07	6.50	53.03	34.72	105.34	347.68	112.11	152.65	0.019	965.13
	2011	151.84	5.20	40.76	17.06	81.80	311.41	110.74	150.41	0.014	869.24
	2012	154.93	5.36	70.84	32.46	102.51	372.19	108.20	154.07	0.007	1,000.57
	2013	185.12	5.39	46.40	38.88	105.98	333.43	103.36	184.68	0.023	1,003.27

CGR: Coeficiente de generación de residuos.

Nota: La unidad de los coeficientes está dada en toneladas de materia seca (tMS) de residuo (rastros, elotes, cáscaras, o bagazo), por tonelada (ton) de producto en unidades de producción convencionales. Las unidades de producción convencionales son: 1) caña para azúcar y otros usos; 2) Cebada forrajera, en grano y semilla; 3) Frijol para grano y por pelón; Girasol; Maíz forrajero, grano, semilla y palomero; Sorgo semilla, forrajero y escobero; Trigo forrajero, grano y semilla (sólo para 2006). La producción agrícola en toneladas por año incluye a los sub-productos agroindustriales más no a los agrícolas. Los subproductos agrícolas se generan en el terreno de siembra y no se consideran parte de la producción. (c) Se utilizó un contenido energético promedio de 20 Giga joules por tonelada de materia seca.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP-SIACON (2014), INEGI (2014) y Macera (2005)

De acuerdo con las estimaciones realizadas, en el periodo 2003-2013 se tuvo un potencial energético promedio anual de 22.68 tep o 950 PJ lo que es muy superior al potencial derivado de la industria forestal.

En la figura 12 se muestra gráficamente la aportación potencial de cada cultivo seleccionado, se aprecia claramente cómo la industria de la caña es el cultivo con mayor generación de residuos y en gran medida, el cultivo con mayor estabilidad productiva del periodo, seguido del maíz, arroz y trigo. Así mismo, el potencial energético derivado del sector agrícola se muestra más o menos estable, con excepción del año 2011, que coincide con un año de crisis económica generalizada en el país

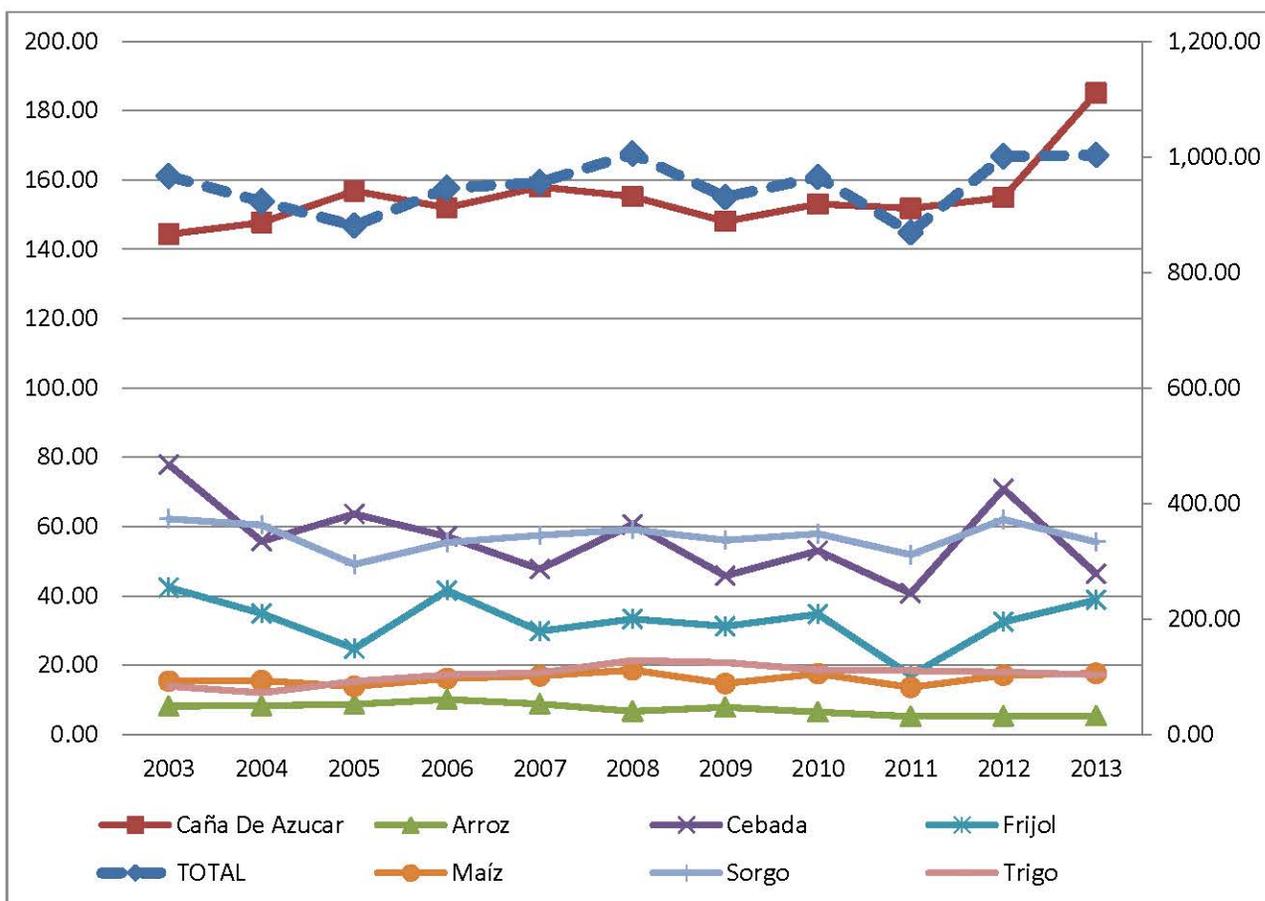


FIGURA 12. EQUIVALENTE DE ENERGÍA PRIMARIA A PARTIR DE RESIDUOS DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS (GJ/AÑO)

Nota: el valor total del cálculo de potencial energético es el único grafico que está referenciado al eje secundario

Fuente: Elaboración propia a partir de las estimaciones

En la tabla 19 se encuentran expresados los valores anuales en petajoules (PJ), giga joules (GJ) y toneladas equivalentes en petróleo (TEP); de acuerdo a la bibliografía consultada son las medidas más usadas para realizar el análisis. De igual manera, en la misma tabla se encuentra un estimado del valor tanto de la capacidad efectiva anual de generación eléctrica como del estimado del potencial energético de los desperdicios de la actividad agrícola. Así, los valores para el estimado del potencial en el periodo 2003- 2013 van de los 227,757 hasta los 383,542 millones de pesos corrientes, estos valores se encuentran muy por encima del valor de la capacidad efectiva anual de generación eléctrica que para el mismo periodo se ubica en un rango de 37,805 hasta 81,471 miles de pesos. La diferencia entre los valores estimados para el potencial y la generación actual son más que significativas, sin embargo, es importante señalar que se tomó en cuenta el precio medio total reportado por la CFE- SENER (2014) y podría no corresponder a sectores específicos. Por otro lado, si los valores que se estimaron son ciertos, México está desaprovechando una capacidad energética derivada de los residuos agrícolas de gran magnitud e importancia económica

7.4 Potencial energético a partir de la biomasa sólida forestal en ecosistema selva y agrícola

Se observa un potencial energético vasto en los residuos agrícolas y comparativamente con los residuos forestales, superan por mucho el contenido del potencial energético.

Tabla 19. Potencial energético agrícola en México y su valor potencial a precios corrientes (2003- 2013)

CATEGORÍA	Año	TOTAL (PJ)	TOTAL (GJ)	Millones de TEP	Capacidad efectiva de generación		Precio promedio de la energía 1/		Valor de la capacidad de generación	Valor de la estimación del potencial
					(MW)	GJ	(¢/kwh)	(miles de pesos/GJ)	miles pesos/GJ	millones de pesos 2/
EQUIVALENTE ENERGÍA	2003	966.44	966,435,493	23.08	44,561	160,419.60	84.84	0.24	37,805.6	227,757
	2004	922.80	922,799,655	22.04	46,554	167,594.40	95.48	2.65	44,449.8	244,747
	2005	880.77	880,771,370	21.04	46,534	167,522.40	102.64	2.85	47,762.5	251,118
	2006	945.83	945,833,421	22.59	48,769	175,568.40	113.79	3.16	55,494.2	298,962
	2007	955.82	955,821,275	22.83	51,029	183,704.40	117.83	3.27	60,127.5	312,846
	2008	1,005.42	1,005,424,677	24.01	51,105	183,978.00	137.33	3.81	70,182.5	383,542
	2009	930.27	930,269,863	22.22	51,686	186,069.60	121.17	3.37	62,627.9	313,113
	2010	965.13	965,126,068	23.05	52,945	190,602.00	133.54	3.71	70,702.8	358,008
	2011	869.24	869,240,581	20.76	51,931	186,951.60	142.75	3.97	74,131.5	344,678
	2012	1,000.57	1,000,572,941	23.90	52,534	189,122.40	149.13	4.14	78,344.0	414,487
2013	1,003.27	1,003,267,618	23.96	53,455	192,438.00	152.41	4.23	81,470.8	424,744	
PROMEDIO		950	949,596,633	22.68						

Fuente: Elaboración Propia con datos estimados y de la CFE-SENER (2014)

Nota: La equivalencia de 1kwh es a 3,600 joules , una tonelada equivalente en petróleo (tep) es también equivalente a 41.868 GJ. La producción de energía eléctrica total incluye hidroeléctrica, termoeléctrica, ciclo combinado, carboeléctrica, nucleoeeléctrica, germoeléctrica, eoeeléctrica y fotovoltaica.

1/ El precio medio de electricidad dado por la CFE-SENER (2014)

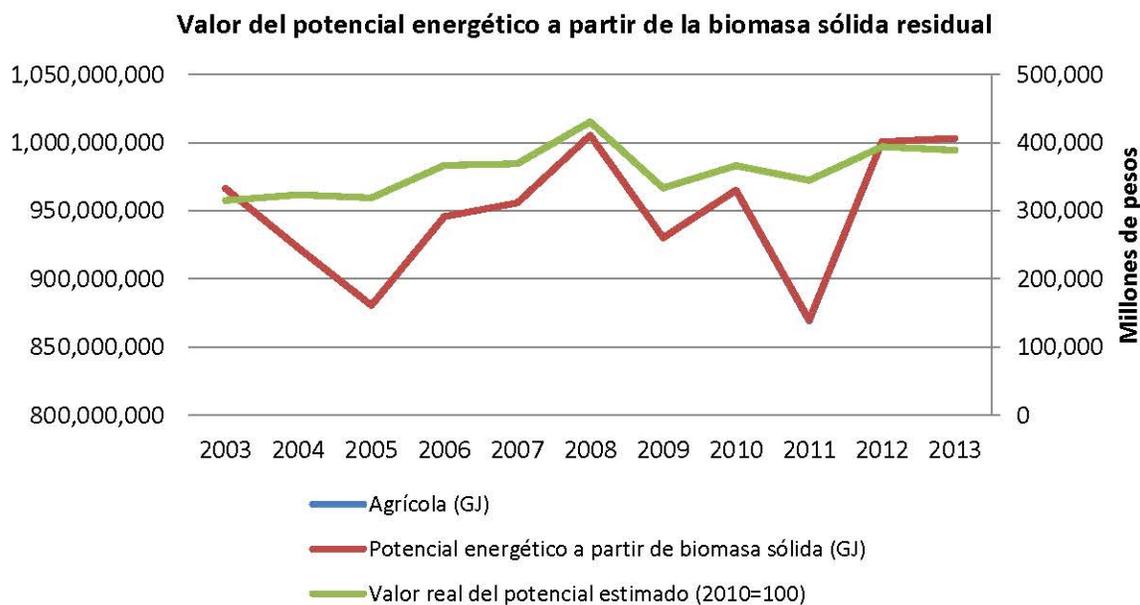
2/ Precios corrientes

El potencial derivado de la biomasa sólida forestal del ecosistema selva y el sector agrícola en México es significativo en magnitud y económicamente. En la tabla 20 se muestra el potencial energético tanto del sector agrícola de México, con cultivos seleccionados y el del Ecosistema Selva, dado que no se disponen datos para el periodo completo de los residuos forestales, se calculó un estimado conjunto para los años 2010, 2011 y 2012. En estos años, el valor económico del potencial energético se muestra en la misma tabla. Se tomó en cuenta el precio reportado por la CFE- SENER (2014) en cada año de periodo analizado expresado en centavos por kilo whatt hora (Kwh) y después de las transformaciones equivalentes en GJ se tiene que el potencial económico derivado de la biomasa sólida agrícola y forestal en ecosistema de selva para México alcanza en 2003 un valor de \$227,757 millones de pesos y de \$414, 550 millones de pesos corrientes, sin embargo en la Figura 13 se aprecia una tendencia positiva en el valor real estimado del potencial energético calculado para el periodo 2003- 2013. Así mismo, en la figura se observa que el sector agrícola está casi superpuesto al total del potencial energético calculado. Cabe señalar que a pesar que el sector agrícola presenta mayor proporción de biomasa sólida con potencial energético, el sector forestal sólo se está contabilizando la superficie en ecosistemas selva con programas de manejo vigentes, por lo que las cifras calculadas representan una proporción pequeña de la superficie forestal nacional que puede ser incorporada tanto a programas de manejo forestal como a programas que busquen captar la biomasa residual derivada de la actividad maderable.

Tabla 20. Potencial energético agrícola y forestal en México y su valor potencial a precios corrientes (2003- 2013) y constantes (2010=100)

Categoría	Año	Agrícola (GJ)	Ecosistema Selva(GJ)	TOTAL (GJ)	Precio medio (miles de pesos /GJ)	Valor del potencial estimado	Valor real del potencial estimado (2010=100)
						Millones de pesos	Millones de pesos
Equivalente energía primaria (GJ/año)	2003	966,435,493	ND	--	0.24	227,757	315,205
	2004	922,799,655	ND	--	2.65	244,747	323,550
	2005	880,771,370	ND	--	2.85	251,118	319,240
	2006	945,833,421	ND	--	3.16	298,962	366,753
	2007	955,821,275	ND	--	3.27	312,846	369,141
	2008	1,005,424,677	ND	--	3.81	383,542	430,496
	2009	930,269,863	ND	--	3.37	313,113	333,765
	2010	965,126,068	63,650	965,189,718	3.71	358,032	366,415
	2011	869,240,581	761,205	870,001,787	3.97	344,980	344,980
	2012	1,000,572,941	151,990	1,000,724,931	4.14	414,550	394,075
	2013	1,003,267,618	ND	--	4.23	424,744	388,960

Fuente: Elaboración propia con datos estimados y precios de la CFE-SENER (2014)



* FIGURA 13. VALOR REAL DEL POTENCIAL ENERGÉTICO ESTIMADO A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL (SELVAS) Y AGRÍCOLA EN MÉXICO

Aunque algunos de los investigadores del grupo ETC (Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración)¹ consideran el uso de la biomasa como un negocio más de la red corporativa del poder mundial, es indispensable admitir que los recursos petroleros, aunados a la población creciente y demandante de recursos de diversa índole, entre ellos uno de los más importantes el energético, están poniendo en crisis el desarrollo industrial y económico, así como el medio ambiente. Por otro lado, los partidarios del Calentamiento global afirman que son las industrias y actividades agrícolas aquellas con un uso energético importante los que favorecen el calentamiento global, por lo que el desarrollo de este tipo de tecnologías verdes, como los biocombustibles a partir de biomasa sólida, representan una alternativa viable y una oportunidad de negocio para mejorar ingresos para el sector primario de las economías, incluyendo a las economías en desarrollo, como la mexicana.

¹ “El Grupo ETC se dedica a la conservación y promoción de la diversidad cultural y ecológica y los derechos humanos. Con este objetivo, ETC promueve el desarrollo de tecnologías socialmente responsables que sirvan a los pobres y marginados. También trabajan en cuestiones de gobernanza internacional y monitoreo del poder corporativo.” De acuerdo con su semblanza en la página <http://www.etcgroup.org/es/about>

8. CONCLUSIONES

El porcentaje de residuos derivados de la extracción maderable es de 44% para las especies preciosas y de 51% para las comunes tropicales, lo que implica que existe un potencial importante en este sector que puede utilizarse como materia prima para elaboración de biocombustibles, así para el ecosistema de selva se estima que se tienen al menos 135,817.95 toneladas de materia seca derivados de la actividad maderable en zonas bajo programas con manejo forestal, de las cuales 9,203 corresponden a maderas preciosas y 126,615 a las demás especies comunes tropicales.

Se estima que los residuos de la actividad maderable presentan un potencial energético de 63,650 GJ, 761,206 GJ y 151, 991 GJ para los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente. Así mismo, este potencial energético es el equivalente a abastecer el 8.33%, 93.13% y 18% del consumo de electricidad nacional para los respectivos años analizados.

Se observa un potencial energético vasto en los residuos agrícolas y comparativamente con los residuos forestales, superan por mucho el contenido del potencial energético. Para la década 2003- 2013 el promedio del potencial estimado fue de 950 Peta joules (PJ) equivalente a 22.68 millones de toneladas equivalentes en petróleo (TEP). Este potencial energético implica un valor estimado de \$324,909 a precios constantes de 2010 con un precio promedio de 3.22 mil pesos/GJ.

En conjunto, el potencial agrícola y forestal (selvas) presentan un potencial estimado equivalente al 3% del PIB nacional de 2012 a precios constantes de 2012.

El sector forestal representa un sector clave para la generación de energía a partir de los residuos forestales, sin embargo es preciso hacer más estudios al respecto así como incorporar los programas de manejo forestal al reto de la superficie forestal. En cuanto a las selvas, la cantidad de residuos generados, es una porción de materia prima con potencial energético que no debe seguir desaprovechándose.

Para el periodo analizado, los residuos agrícolas mostraron un elevado potencial para generación de energía a partir de los residuos derivados de esta actividad por lo que es importante que se analice con mayor detenimiento la posibilidad de que el sector primario sea su propio proveedor de energía, al menos para las actividades productivas.

Existe un potencial energético derivado del sector primario nacional de 22.68 millones de TEP (promedio anual para el periodo 2003- 2013) por parte de la agricultura más 7,700 TEP derivado del sector forestal en la selva mexicana (promedio 2011-2012) que puede significar un ahorro nacional para los sectores ubicados en los deciles más bajos de ingresos.

El valor estimado del potencial energético derivado del sector primario es de \$359,325 millones de pesos (promedio del periodo 2003-2013) a precios

constantes del 2010 equivalente al 3% del PIB del 2012 (12,294.17 miles de millones de pesos a precios constantes de 2010).

El potencial energético que se puede extraer de los residuos forestales (Selva) y agrícolas significa un incremento importante en la capacidad efectiva de generación de energía final más del 100% para todos los años del periodo analizado.

Es necesario implementar acciones a nivel nacional que promuevan la captación de biomasa forestal y agrícola con fines energéticos; empezando por los programas de manejo forestal, así como inversión en tecnologías para la elaboración de los biocombustibles a partir de la biomasa sólida residual y programas que fomenten su uso tanto a nivel industrial como en los hogares.

9. BIBLIOGRAFÍA

Fuentes L., M.E.; N. Carrillo A.; R. Flores V.; P. Aguilar S.; E. Buendía R.; C. Ordoñez P.; F.López T.; C. Monroy R.; J.L. López A.; E. Hernández M.; E. Couttolenc B. 2012a. Estimación de la biomasa disponible en el aprovechamiento forestal maderable y de aserraderos en ecosistemas de selva tropical y bosque templado para su uso bioenergético. Informe final de proyecto. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Fuentes L., M.E.; P. Aguilar S.; N. Carrillo A.; R. Flores V.; E. Buendía R.; C. Ordoñez P.; F.López T.; C. Monroy R. 2012b. Caracterización de especies del trópico y de bosque templado de México, con potencial bioenergético – determinación del poder calorífico, densidad y humedad. Informe final de proyecto. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos) 2004-2009

Masera O. 2005. Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México, Masera O., Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)

Best y Brown. 2006 Introducción a las Fuentes Renovables de Energía Biomasa. CIE-UNAM.

Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer. Estudio FAO Montes 134, Roma, Italia.

OCDE/ IAE, 2013. World Energy Outlook. Resumen Ejecutivo. Traducción al español. International Agency of Energy. Paris, France

Páginas web

OMS, 2014. Contaminación del aire de interiores y salud. Nota descriptiva N°292. Organización Mundial de la Salud. Marzo de 2014. Disponible en www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/

- El Economista. <http://eleconomista.com.mx/industrias/2011/05/17/da-luz-cogeneradora-biomasa-veracruz> Luz cogeneradora de Biomasa en Veracruz (fecha de consulta: 19/10/2014)
- CNN Expansión. <http://www.cnnexpansion.com/obras/2011/05/17/planta-energia-biomasa-renovable-obras> (fecha de consulta 19/10/2014)
- GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C.) 2003. Informe final. El uso de la Biomasa como fuente de energía en hogares, efectos en el ambiente y la salud y posibles soluciones. <http://www.etcgroup.org/es/about> (fecha de consulta: diversas fechas de octubre de 2014)
- La Jornada. <http://www.jornada.unam.mx/2011/07/30/opinion/029a1eco> Biomasa o Biomasaacre (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2014)
- FAO, 2010. What woodfuels can do to mitigate climate change. 162 Forestry Paper. Italy, Rome.
- IPCC, 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html
- FAO, 2004. Programa de Evaluación de los recursos forestales; documento de trabajo 83/S: Actualización de la evaluación de los recursos forestales mundiales a 2005 Departamento de Montes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma
- FAO, 2001 UWET (Unified Wood Energy Terminology). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Disponible en www.fao.org/docrep/008/j0926e/j0926e00.htm
- FAO, 1998. Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. Disponible en: www.fao.org/docrep/007/ae218s/ae218s06.htm
- SENER, 2014. Datos y estadísticas de Energía. Secretaría Nacional de Energía. Disponibles en: www.energia.gob.mx/portal y www.sener.gob.mx