

Aprovechamiento de la biomasa residual seca, una alternativa para la generación local de energía eléctrica en Venezuela

Use of residual dry biomass as an alternative to locally generated electric power in Venezuela

Susan Smith* y Yorley Bracho**

Recibido: 01-09-2010 / Aceptado: 15-02-2011

Resumen

Se exploró la disponibilidad residual resultante del aserrío, para la producción de energía eléctrica. Se visitaron 108 aserraderos ubicados en estados con tradición de aserrío, se tomó información sobre ubicación, volumen anual de rolas ingresadas, y salida de madera aserrada, especies, origen y destino de residuos. Los resultados mostraron que en 2011, 87 aserraderos activos generaron 178.962 m³ de biomasa residual que en la mayoría de los casos fueron quemada y/o dispuesta en vertederos. Los estados con mayor generación fueron Anzoátegui y Bolívar y a nivel municipal, Independencia y Libertador de Anzoátegui y Monagas respectivamente.

Se encontró agregación asociada a la localización de la materia prima detectándose diez bloques capaces de proporcionar materia prima para la generación, cinco en los estados orientales, cuatro en estados occidentales y uno en el municipio Cedeño del Estado Bolívar.

Estos resultados muestran que la producción actual y potencial de biomasa residual y el patrón agregado de su producción, hace posible fomentar generación local de electricidad en pequeñas centrales que al abastecerse de los residuos producidos *in situ*, mejoran la oferta de electricidad y contribuyen a reducir el acortamiento de la vida útil de vertederos municipales y el aumento de las emisiones de CO₂.

Palabras Clave: biomasa residual seca, energía eléctrica, energías alternativas, dendroenergía.

*Dra. en Ecología Trópica. Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA). Coordinadora Unidad de Proyectos. Mérida-Venezuela. Teléfono: 0274-2448906. E-mail: ssmith@ifla-ve.org

** Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA). Personal Técnico - Unidad de Proyectos. Mérida - Venezuela. Teléfono: 0274-2448906. E-mail: jbracho@ifla-ve.org

Abstract

In this paper we explore the availability of residual biomass from sawmill processes for the local production of electric power. We visited 108 sawmills located in regions traditionally engaged in the timber industry to gather data on location, annual input of logs and annual output of timber products, lists of processed species and type, origin and final destination of residues. Results showed that the 87 active sawmills generated 178.962 m³ of residual biomass in 2011; in most cases this was burned or dumped. At the State level the higher output was in Anzoátegui, Bolívar y Monagas; and at the municipal level: Independencia (Anzoátegui) and Libertador (Monagas).

Timber availability resulted in strong aggregation in ten regional blocks: five in eastern States, four in western States and one in the State of Bolivar (Municipio Cedeño). These preliminary results show current and potential production of residual biomass, its geographical aggregated pattern and the possibility to promote the local sustainable generation of electrical power. This can be done through a network of small power plants, which use the local production of residual biomass, helping to improve the service time of municipal garbage dumps and to reduce CO₂ emissions.

Key words: dry residual biomass, electric energy, alternative energy, wood energy

Introducción

Modificar la matriz energética mundial en pro de fuentes no fósiles (energía renovable, hidráulica y nuclear), es uno de los principales retos que enfrenta la humanidad de cara a la manifiesta alteración de los patrones climáticos prevalentes. Las naciones se abocaron a suscribir acuerdos en materia de reducción de emisiones y más recientemente a concentrar esfuerzos en alcanzar una estabilización del clima en un rango de calentamiento global en torno a los 2 a 2,4 °C cuestión que implica una concentración de CO₂ en la atmósfera en el rango de 450-500 ppm de CO₂ equivalente (CO₂e) (Acquatella, 2008).

Dentro de los acuerdos están las reducciones de emisiones para países industrializados concertadas dentro del Protocolo de Kioto, el compromiso de reducción de emisiones del 20% y 50% entre el 2020 y el 2050 con base en niveles de 1990 de los países de la Unión Europea y la voluntad manifestada en la Cumbre de Gleneagles (2005) de reducción de emisiones de los países del G-8 (Acquatella, 2008).

En el caso de América Latina y El Caribe aún cuando estos países han sido catalogados como en vías de desarrollo y por ende no sujetos a cuotas de reducción, no se descarta que a futuro puedan verse afectados producto de cambios en las regulaciones internacionales y en la aplicación de políticas que fortalezcan los esfuerzos globales de estabilización climática. En tal sentido América Latina en los últimos años ha venido incursionando activamente en la búsqueda de nuevas fuentes de generación. En el caso concreto de la generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual de origen forestal, se ha reportado la existencia de al menos 46 plantas generadoras de electricidad que producen en total 812MW (Instituto Forestal Latinoamericano, 2012).

El 71,7% de ellas, producen electricidad a partir de los residuos de la industria transformadora de la madera y el resto, con los residuos del aprovechamiento forestal de bosques naturales y/o plantaciones. Los países con mayor participación son Chile que genera energía tanto a partir de residuos industriales como de plantaciones forestales, y Brasil que lo hace fundamentalmente del aprovechamiento de bosques naturales.

En el plano nacional las emisiones de CO₂ han continuado creciendo a pesar de los esfuerzos del Estado venezolano en materia de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Es así como entre 1999 y 2012 las emisiones totales de CO₂ pasaron de 114.147 Gg (MARNR, *et al.*, 2005) a 167.191,9 Gg (Organización Latinoamericana de Energía, 2012), cuestión que pudiera estar relacionada con la incorporación progresiva de plantas termoeléctricas al Sistema Interconectado Nacional.

En Venezuela no disponemos de datos recientes sobre la producción de energía eléctrica a partir de combustible fósil, pero si hay información sobre la capacidad instalada de producción por plantas termoeléctricas. Para finales de la década de los noventa ésta representaba el 35% del total de capacidad de producción eléctrica en el país (Camara Venezolana de la Energía Eléctrica), siendo responsables del 41,1% de las emisiones totales de CO₂ equivalente a 4.6905 Gg CO₂ (MARNR, *et al.*, 2005). En la actualidad dicha capacidad instalada se ha casi duplicado pasando de 7.409 MW en 1998 a 13.022 MW en

2012 (Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, 2013). Este incremento seguramente tiene repercusiones importantes sobre los volúmenes de emisiones totales de CO₂.

A la luz de estos indicadores urge la necesidad de doblar esfuerzos en pro del fomento de las energías alternativas que junto con atender la demanda creciente de energía propendan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En tal sentido, el Estado venezolano se ha abocado a la búsqueda de alternativas locales para la generación eléctrica donde se incluyen fuentes como la biomasa seca residual de origen forestal asociadas tanto al manejo y aprovechamiento forestal, como a la industria de transformación mecánica de la madera.

La utilización con fines energéticos de la biomasa residual resultante de la transformación mecánica de la madera, puede representar para el Estado una vía para resolver problemas de compleja solución como son el acceso a la energía eléctrica, el saneamiento ambiental y la reducción de emisiones de CO₂ si y solo si, la producción de electricidad se hace con tecnologías amigables al ambiente y la madera utilizada en la industria del aserrío proviene de bosques y/o plantaciones manejadas de manera sostenibles y sustentables que aseguren que lo que se emite por combustión es luego absorbido por fotosíntesis en los bosques manejados para tal fin.

El presente trabajo desarrollado a solicitud del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica exploró la factibilidad técnica de aprovechar localmente la biomasa residual que se produce en los aserraderos ubicados en los estados con tradición en la industria de la transformación mecánica de la madera. En cada caso se estimó de forma indirecta la producción de biomasa residual actual y potencial, y se evaluó la factibilidad técnica de su aprovechamiento para la generación local y por ende distribuida de energía eléctrica.

Materiales y Métodos

El levantamiento de la información se realizó durante el año 2011 y abarcó los estados Cojedes, Lara, Portuguesa, Barinas, Anzoátegui, Bolívar y Monagas, que son los estados que concentran la mayoría de los aserraderos a nivel nacional (Ministerio del Poder Popular para las Industrias Básicas y Minería, 2011). Se levantaron 87 aserraderos de un total de 108 reportados para el área de estudio distribuidos en 21 municipios. Dada la amplitud del levantamiento de información, la estimación de la biomasa residual seca se hizo de forma indirecta a partir de la aplicación de un cuestionario que consideró entre otras variables: datos de abastecimiento de materias primas (volumen de madera en rola que entra al aserradero), datos de producción de madera aserrada (capacidad instalada, volumen de madera aserrada producida por el aserradero y porcentaje de residuos resultante del aserrío estimado por el entrevistado) y datos sobre destinos de los residuos (Gonzalez, *et. al.*, 2007).

El volumen en metros cúbicos de madera en rola que ingresa al aserradero (VMR) es un dato que fue estimado por cada gerente de aserradero en base al volumen en metros estéreos que ingresan, usando un factor de conversión que fluctuó entre 3 y 4,5 para los distintos aserraderos. Una vez compilados y depurados los datos de campo permitieron estimar la Capacidad Instalada (CI), el volumen de madera en rolas que ingresa (VMR) y el volumen de madera aserrada producida (VMA) para cada aserradero, expresados en $m^3/año$.

La biomasa residual actual ($VBRa$) es la diferencia entre el volumen que ingresa en rolas (VMR) y el volumen de madera aserrada (VMA), o sea:

$$VBRa = VMR - VMA$$

Esto nos permite calcular la fracción de la madera en rolas que no se aprovecha, es decir, la biomasa potencialmente aprovechable para la producción de energía. A esta fracción la llamamos aquí "fracción de biomasa residual" (FBR) que se expresa así:

$$FBR = VBRa / VMR$$

La estimación del volumen de biomasa residual potencial (VBRp) para cada aserradero puede estimarse en base a:

$$VBRp = CI \times FBR$$

La fracción de biomasa residual (FBR) está estrechamente relacionada con las características de las rolas que se procesan, por tanto para el cálculo y posterior análisis de VBRp fue necesario discriminar los datos en función del origen de la materia prima, en este caso Bosques Naturales o Plantaciones Forestales.

Con los resultados del análisis de las variables consideradas se procedió al mapeo de los resultados y a la identificación de las áreas potencialmente productoras para generación de energía, usando como referencia los estudios sobre radio de aprovisionamiento de biomasa que dependiendo de las características del biocombustible definen áreas de aprovechamiento que pueden ir desde 20 a 100 kilómetros (FAO, 2009; De Antonio y Barrera, 2009; Lopez *et. al.*, 2007).

Los resultados que presentamos a continuación deben tomarse como estimados de las variables consideradas en un estudio a escala regional, en el cual necesariamente se manejan datos provenientes de distintas fuentes con confiabilidad variable. Un estudio más preciso del comportamiento de estas variables requiere concentrar esfuerzos en unos pocos aserraderos, con la consiguiente pérdida de amplitud.

Resultados

La materia prima que da origen a los residuos aprovechables proviene de las plantaciones forestales ubicadas en la Reserva Forestal Ticoporo y en patrimonios de empresas privadas (Masisa y Desarrollos Forestales San Carlos y Smurfit Kappa Venezuela) y públicas (Maderas del Orinoco); también proviene del aprovechamiento de relictos de bosques naturales localizados al norte del río Orinoco (Apure, Barinas, Cojedes, Guárico, Mérida, Portuguesa, Trujillo, Yaracuy y Zulia) y del aprovechamiento de bosques naturales localizados al sur del río Orinoco, específicamente en las reservas forestales Imataca, Tumeremo – El

Dorado y en el Lote San Pedro del estado Bolívar.

En lo que se refiere a plantaciones forestales, las especies más aprovechadas son Pino, Teca, Melina, Apamate y algunas especies del género *Eucalyptus*. En bosques naturales el espectro es más amplio, allí se incluyen Algarrobo, Baraman, Camoruco, Capatabaco, Capure, Carabali, Caramacate, Caraño, Carapa, Cascaron, Cedro Amargo, Cedro Blanco, Ceiba, Ceiba Roja, Congrio Charo, Drago, Guarapo, Guamo Colorado, Guarataro, Guacharaco, Hielillo, Hueso de Pescado, Josefino, Jebe, Jobo, Kerosén, Mahomo, Mureillo, Pata de Danto, Pardillo, Pericoco, Picanton, Pilón, Pilón Rosado, Purgo, Puy, Roble, Samán, Simaruba, Yiguire, Zapatero (anexo 1).

En cuanto al uso que se le da a la biomasa residual, en la gran mayoría de los casos se los deja en el sitio donde se acumulan y con alguna frecuencia son quemados en forma controlada para minimizar el riesgo de incendios o son trasladados a los vertederos municipales. El 18% de los aserraderos consultados informó que venden parte de los residuos a fabricantes de guacales, a artesanos de la madera y a empresas básicas dedicadas a la producción de acero. Finalmente el 75 % de los consultados informó que una fracción de los residuos es regalada a restaurantes (polleras), casaberas, viveros, gallineros y caballerizas entre otras.

De acuerdo a los datos levantados en los siete estados estudiados (Cojedes, Lara, Portuguesa, Barinas, Anzoátegui, Bolívar y Monagas) existe una capacidad instalada para la transformación primaria y secundaria de la madera del orden de 1.009.490 m³/año. Dicha capacidad se localiza mayormente en los estados Monagas, Anzoátegui y Bolívar (89,1%).

Los 1.009.490 m³ de capacidad, procesa anualmente un aproximado de 562.759 m³ de madera en rolas que son transformados en 385.356 m³ de madera aserrada más una fracción equivalente a 178.963 m³ que se pierde y que corresponde a la de biomasa residual actual (tabla 1).

Tabla 1. Capacidad Instalada (CI), Volumen de Madera en Rolos que ingresa (VMR), Volumen de Madera Aserrada (VMA), Biomasa Residual Actual (VBRa) y Fracción de Biomasa Residual (FBR) para cada uno de los siete estados estudiados.

Estado	CI (m ³)	%	VMR (m ³ /año)	%	VMA (m ³)	%	VBRa (m ³ /año)	%	FBR
Portuguesa	12.610	1,2	5.581	1,0	4.240	1,1	1.469	0,8	0,39
Lara	16.640	1,6	4.613	0,8	3.459	0,9	1.155	0,6	0,26
Cojedes	24.400	2,4	13.241	2,4	10.545	2,7	2.696	1,5	0,35
Barinas	55.970	5,5	15.002	2,7	11.168	2,9	3.834	2,1	0,20
Anzoátegui	262.000	26,0	223.000	39,6	136.400	35,4	86.600	48,4	0,25
Bolívar	294.800	29,2	120.642	21,4	78.031	20,2	42.612	23,8	0,22
Monagas	343.070	34,0	180.680	32,1	141.513	36,7	40.597	22,7	0,26
Total general	1.009.490	100,0	562.759	100,0	385.356	100,0	178.963	100,0	

Ahora bien, cambiando la escala de análisis de la estatal a la municipal, encontramos que la concentración de la actividad del aserrío se robustece al extremo de que son sólo unos pocos municipios son los que concentran el grueso de la actividad. En este caso el municipio Libertador del estado Monagas cuenta con el 31 % de la capacidad instalada total y produce el segundo más alto porcentaje de biomasa residual (tabla 2).

Resulta interesante destacar el comportamiento del factor de la biomasa residual (FBR), que muestra una variación sustantiva dependiendo de cómo se organizan los datos. Al analizarlo para todo el universo levantado ($n=87$), encontramos que el valor medio es de 0.27 ± 0.03 , pero si el análisis se hace separando las maderas provenientes de bosques naturales de aquellas provenientes de plantaciones encontramos que la media de FBR en el primer caso es igual a 0.337 ± 0.07 y en el segundo igual a 0.26 ± 0.03 .

Tabla 2. Capacidad Instalada (CI), Volumen de Madera en Rolos que ingresa (VMR), Volumen de Madera Aserrada (VMA), Biomasa Residual Actual (VBRa) y Fracción de Biomasa Residual (FBR) para cada uno de los 21 municipios estudiados.

Municipios	CI (m ³)	%	VMR (m ³ /año)	%	VMA (m ³)	%	VBRa (m ³ /año)	%	FBR
Libertador, Monagas	314.970	31,20	159.975	28,43	125.293	32,51	36.112	20,18	0,23
Independencia, Anzoátegui	262.000	25,95	223.000	39,63	136.400	35,40	86.600	48,39	0,39
Caroní, Bolívar	105.600	10,46	31.980	5,68	24.900	6,46	7.081	3,96	0,22
Piar, Bolívar	72.000	7,13	36.383	6,47	22.905	5,94	13.478	7,53	0,37
Heres, Bolívar	58.200	5,77	36.995	6,57	18.900	4,90	18.095	10,11	0,49
Roscio, Bolívar	43.000	4,26	9.170	1,63	7.500	1,95	1.670	0,93	0,18
Antonio José de Sucre, Barinas	34.450	3,41	8.280	1,47	6.356	1,65	1.924	1,08	0,23
Maturín, Monagas	26.560	2,63	19.822	3,52	15.720	4,08	4.102	2,29	0,21
Inbarren, Lara	16.640	1,65	4.613	0,82	3.459	0,90	1.155	0,65	0,25
Barinas, Barinas	10.520	1,04	2.898	0,51	2.332	0,61	566	0,32	0,20
Padre Pedro Chien, Bolívar	10.000	0,99	1.944	0,35	1.426	0,37	518	0,29	0,27
Cruz Paredes, Barinas	9.800	0,97	3.325	0,59	2.180	0,57	1.145	0,64	0,34
Araure, Portuguesa	9.750	0,97	4.817	0,86	3.690	0,96	1.255	0,70	0,26
San Carlos, Cojedes	9.000	0,89	1.841	0,33	1.575	0,41	266	0,15	0,14
Falcón, Lara	8.400	0,83	8.400	1,49	6.720	1,74	1.680	0,94	0,20
Tinaco, Cojedes	7.000	0,69	3.000	0,53	2.250	0,58	750	0,42	0,25
Cedeño, Bolívar	4.000	0,40	3.000	0,53	1.500	0,39	1.500	0,84	0,50
Guanare, Portuguesa	2.860	0,28	764	0,14	550	0,14	213	0,12	0,28
Sifontes, Bolívar	2.000	0,20	1.170	0,21	900	0,23	270	0,15	0,23
Piar, Monagas	1.540	0,15	883	0,16	500	0,13	383	0,21	0,43
Pedraza, Barinas	1.200	0,12	499	0,09	300	0,08	199	0,11	0,40
Total general	1.009.490	100,00	562.759	100,00	385.356	100,00	178.963	100,00	

Detalles del comportamiento de los datos (Figura 2) permite concluir que el índice tiene un comportamiento asimétrico cuando el aserrío se hace con maderas provenientes del aprovechamiento de los bosques naturales.

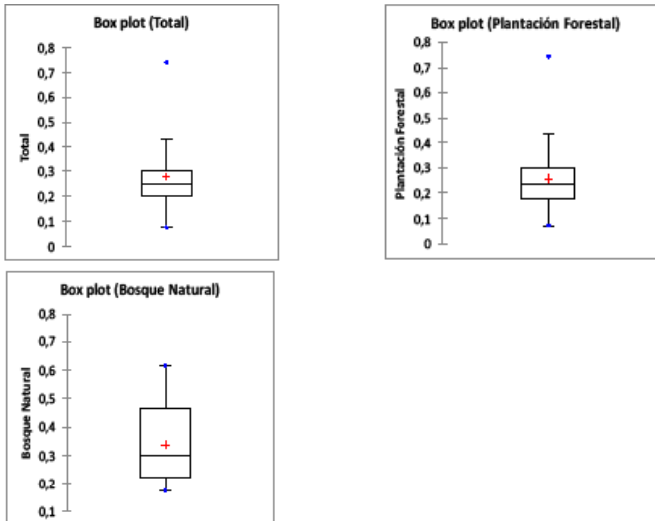


Figura 1. Box-Plots para el FBR Total, para Bosque Natural y para Plantaciones Forestales

Detalles del comportamiento de este índice pero ahora discriminado por estado y por municipio están contenidos en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Comportamiento del FBR para cada Estado, discriminado de acuerdo al origen de la materia prima.

Estado	Bosque Natural					Plantaciones Forestales				
	N	Media	±	Desv.St	Varianza	N	Media	±	Desv.St	Varianza
Anzoátegui						3	0,28	0,49	0,20	0,04
Barinas	5	0,41	0,25	0,20	0,04	13	0,25	0,06	0,10	0,01
Bolívar	12	0,34	0,09	0,13	0,02	18	0,32	0,09	0,17	0,03
Cojedes	1	0,25				3	0,16	0,10	0,04	0,00
Lara	2	0,26	0,95	0,11	0,01	3	0,22	0,14	0,06	0,00
Monagas						23	0,22	0,04	0,08	0,01
Portuguesa	1	0,22				3	0,29	0,10	0,04	0,00

Tabla 4. Comportamiento del FBR para cada municipio, discriminado por origen de la materia prima

Municipio	Bosque Natural					Plantaciones Forestales				
	N	Media	±	Desv.St	Varianza	N	Media	±	Desv.St	Varianza
Independencia, Anzoátegui						3	0,28	0,49	0,20	0,04
Antonio José de Sucre, Barinas						8	0,25	0,07	0,08	0,01
Barinas, Barinas	1	0,52				4	0,20	0,16	0,10	0,01
Cruz Paredes, Barinas	4	0,39	0,35	0,22	0,05					
Pedraza, Barinas						1	0,40			
Caroni, Bolívar	1	0,20				9	0,27	0,12	0,16	0,03
Cedeño, Bolívar						1	0,50			
Heres, Bolívar	2	0,52	1,26	0,14	0,02	4	0,42	0,42	0,26	0,07
Padre Pedro Chien, Bolívar	1	0,30				1	0,23			
Piar, Bolívar	5	0,37	0,12	0,10	0,01	3	0,33	0,14	0,06	0,00
Roscío, Bolívar	2	0,20	0,35	0,04	0,00					
Sifontes, Bolívar	1	0,23								
Falcón, Cojedes						1	0,20			
San Carlos, Cojedes						2	0,14	0,19	0,02	0,00
Tinaco, Cojedes	1	0,25								
Iribarren, Lara	2	0,26	0,95	0,11	0,01	3	0,22	0,14	0,06	0,00
Maturín, Monagas						3	0,19	0,09	0,04	0,00
Libertador, Monagas						19	0,21	0,03	0,07	0,01
Piar, Monagas						1	0,43			
Araure, Portuguesa	1	0,22				2	0,29	0,51	0,06	0,00
Guanare, Portuguesa						1	0,28			
Total general	21	0,34	0,07	0,15	0,02	66	0,26	0,03	0,13	0,02

El volumen de biomasa residual potencias (VBRp) que viene a ser un indicador de la potencialidad que tiene los aserraderos de producir residuos si ellos estuvieran trabajando a completa capacidad, se estimó a partir de los valores medios del FBR por municipio y por tipo de materia

prima. Ello debido a la dispersión de los datos observada especialmente en el caso de las materias primas provenientes de bosques naturales. Adicionalmente en aquellos casos donde no se detectó capacidad instalada ociosa (Andinos C.A.), los volúmenes de VBRa se asumieron como VBRp.

Los resultados muestran que para todo el universo analizado, si los aserraderos que actualmente están en operaciones trabajaran al 100% de su capacidad, la producción de residuos pasaría de 178.962,72 m³/año a 291.135,90 m³/año lo que implica un adicional de incremento del 112.173,18 m³/año, que se concentra mayormente en algunos municipios de los estados Anzoátegui, Bolívar y Monagas.

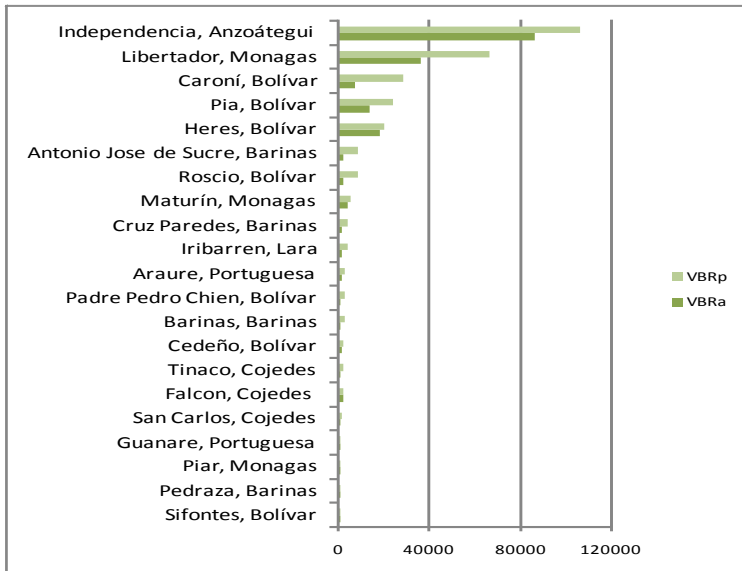


Figura 2. Volúmenes de biomasa residual actual (VBRa) y potencial (VBRp) por municipio (valores en m³/año)

Una vez concluido el análisis del comportamiento de las variables asociadas al procesamiento de la madera, se procedió a analizar la distribución espacial de los sitios de generación de biomasa residual. Los resultados mostraron una fuerte agregación producto de la localización de la materia prima. Es así como en Anzoátegui y Monagas los aserraderos se establecieron en torno a las plantaciones de Uverito y Chaguaramas;

en el estado Bolívar en torno a los lotes boscosos y las reservas forestales del sur del estado; en Barinas y en el eje Portuguesa, Lara y Cojedes en torno a las reservas forestales de los Llanos Occidentales.

FAO (2009), De Antonio y Barrera (2009) y López, *et al.* (2007) sugieren sitios potenciales para la instalación de plantas termoeléctricas considerando que éstas deben ubicarse en un radio de aprovisionamiento de biomasa que depende de las características del combustible puede oscilar entre 20 y 100 kilómetros. Para nuestros efectos se seleccionó un radio de aprovisionamiento no mayor de 50 km y con este criterio y en base al mapa de aserraderos estudiados, detectamos diez áreas susceptibles de proporcionar la materia prima para la generación de energía y calculamos los volúmenes actuales y potenciales de suministro para cada área o bloque. Como se muestra en la Figura 1, cinco de los bloques se distribuyen en los estados orientales, cuatro en los estados occidentales y uno en el municipio Cedeño del Estado Bolívar. Como puede apreciarse en la figura 3, las áreas más importantes en relación al suministro se ubican en la región oriental, especialmente en los bloques 1 y 2.

Tabla 5. Bloques de producción de producción de biomasa residual actual (VBRa) y potencial (VBRp)

Bloques	Municipios	No. Empresas	VBRa m ³ /año	VBRp m ³ /año
Bloque 1	Caroní, Piar, estado Bolívar, Independencia estado Anzoátegui	20	102159	147012
Bloque 10	Iribarren, estado Lara	5	1154,55	3660,8
Bloque 2	Libertador, estado Monagas	19	36112	66143,7
Bloque 3	Heres, estado Bolívar, Independencia estado Anzoátegui	7	23095	31244
Bloque 4	Maturín y Piar, estado Monagas	4	4485	5708,6
Bloque 5	Antonio José de Sucre, Barinas, Cruz Paredes, Pedraza, estado Barinas	18	3834	15338,5
Bloque 6	Falcón, San Carlos, Tinaco, estado Cojedes	4	2695,92	4690
Bloque 7	Padre Pedro Chien, Roscio, Sifontes, estado Bolívar	5	2458	11710
Bloque 8	Cedeño, estado Bolívar	1	1500	2000
Bloque 9	Araure, Guanare, estado Portuguesa	4	1469,25	3628,3
Total general		87	178962,72	291135,9

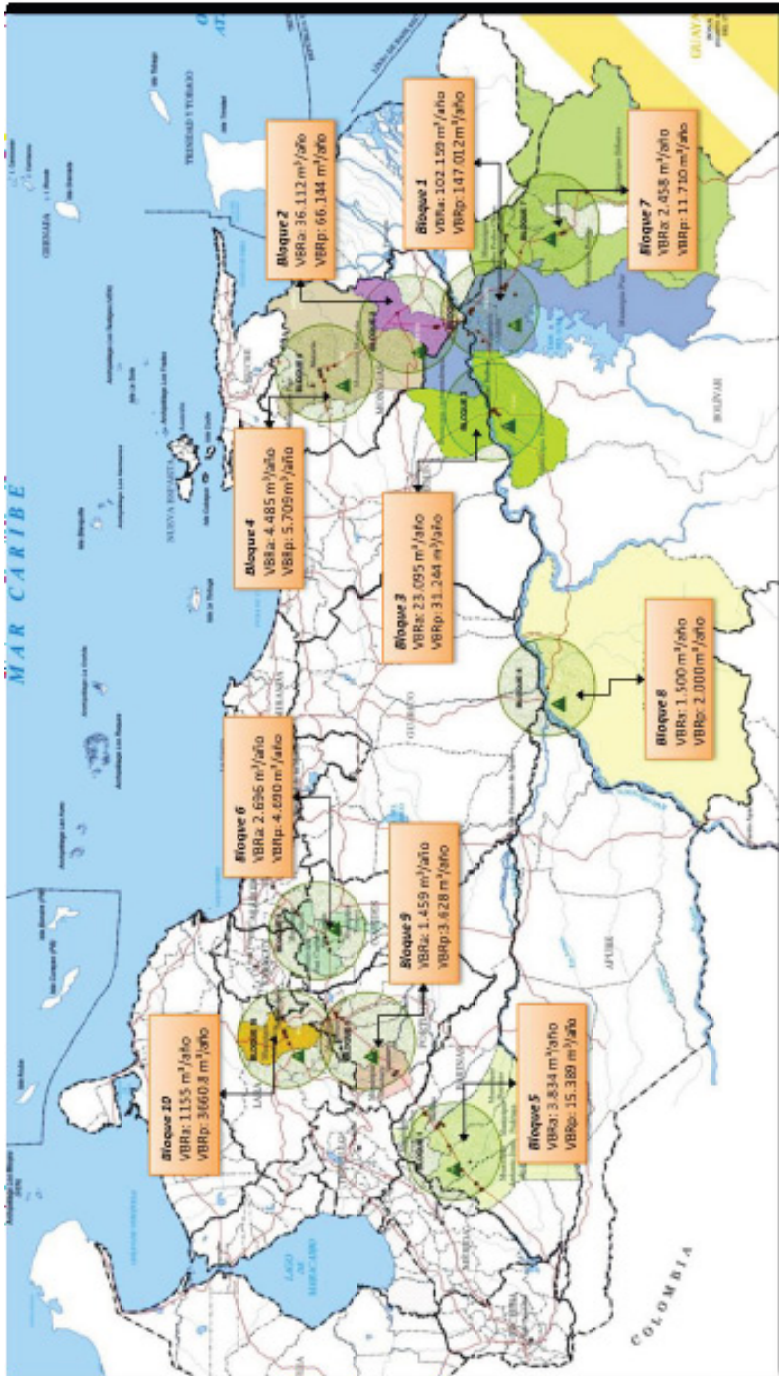


Figura 3. Representación de los aserraderos (puntos) y de los bloques (circunferencias Radio de Aprovisionamiento igual a 50 km) de producción de biomasa residual de origen forestal potencialmente aprovechables para la generación local de energía eléctrica.

Discusión

De los resultados que arroja el estudio se puede concluir que en el área con tradición en la industria de la transformación primaria y secundaria de la madera, se producen anualmente 178.962 m³ de residuos derivados del aserrío que luego son dispuestos sin control en vertederos municipales con lo cual se reduce la vida útil de los mismos, o son quemados de forma no controlada, cuestión que se traduce en emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En el hipotético caso que estos residuos fuesen sólo de pino caribe, la cantidad total de residuos producidos anualmente rondaría las 100.000 T (densidad de la madera seca al aire de pino caribe es de 556kg/m³ LABONAC, (conversación personal con Profesor Styles Valero, Laboratorio Nacional de Productos Forestales LABONAC), que bien pudieran ser destinada a la generación de energía eléctrica. (Carmona, *et. al.*, 1999) documentan que a pesar de que los rendimientos energéticos y los requerimientos de combustible difieren entre centrales grandes y pequeñas de generación eléctrica, es razonable asumir que dado que la biomasa vegetal seca al aire tiene un poder calorífico de 3600 kcal/kg, un kilogramo de biomasa vegetal seca al aire puede producir entre 1 y 1,4 kWh. Bajo este parámetro el autor indica que el cálculo de consumo de combustible para una planta de 25MW correspondería a 155.000 T/año, cifra que no se aleja mucho los datos obtenidos en esta investigación.

En cuanto a la distribución espacial de la producción de residuos, los volúmenes de biomasa residual no están concentrados en un único lugar; la naturaleza de la actividad de transformación de la madera ha hecho que los aserraderos se localicen de forma agregada y en muchos casos dentro de un radio de 50 kilómetros a la redonda. Este patrón es especialmente notorio en el municipio Libertador del estado Monagas, donde en un radio incluso inferior a los 25 kilómetros se ubicaban para el momento del levantamiento, 19 aserraderos activos que estaban produciendo aproximadamente 36.112 m³/año de biomasa residual equivalente a una 20.000 T/año y que pudieran producir casi el doble si estuvieran trabajando a total capacidad.

Pero profundizando un poco más en las implicaciones que

tiene para el país, el carácter agregado de la producción de residuos (10 núcleos), podemos decir que es justamente la agregación de las fuentes de residuos, la que posibilitaría el fomento de la generación eléctrica distribuida. Esto último a través de la puesta en marcha de pequeñas centrales que al abastecerse de los residuos que se producen localmente, mejoraría la oferta de electricidad local y nacional, a la vez que contribuiría con la reducción de problemas ambientales de costosa solución, como es el acortamiento de la vida útil de los vertederos municipales y el aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA) y al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica por aportar los recursos para la realización de esta investigación, en el marco de los Estudios: “Inventario, Caracterización y Evaluación de Biomasa Residual Seca de origen Forestal como Fuente Alternativa para la Generación de Energía Eléctrica” e “Inventario, Caracterización y Evaluación de Biomasa Agroindustrial de Caña de Azúcar y Arroz como Fuente Alternativa para la Generación de Energía Eléctrica”.

También queremos agradecer al Prof. Juan Silva por el apoyo brindado en la revisión del manuscrito, al Geógrafo Juan Pablo Rodríguez por el apoyo cartográfico y al Prof. Omar Carrero por su apoyo en aspectos de taxonomía vegetal.

Referencias Bibliográficas

ACQUATELLA, J. 2008. **Energía y cambio climático: oportunidades para una política energética integrada en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Nueva York, Estados Unidos.** [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cepal.org/cgi-bin/getprod.asp?xml=/ilpes/noticias/paginas/7/40507/P40507.xml&xsl=/ilpes/tpl/p18f.xsl&base=/ilpes/tpl/top-bottom.xsl>. [Consultado: 2011, Agosto 24].

CÁMARA VENEZOLANA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (S.F). **Estadísticas Consolidadas año 2005. Caracas, Venezuela.**

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/ricardocuberos/estadisticas-consolidadas-caveinel-2005>. [Consultado: 2014, Marzo 24].

- CARMONA, H., VILLA, A., MANRÍQUEZ, G., Y PRIETO, J. 999. **Diseño de un proyecto piloto dendroenergético y formulación de lineamientos de políticas, estrategias e instrumentos para el fomento de sistemas dendroenergéticos en Colombia.** Escuela de Electromecánica, Universidad Nacional de Colombia. Colombia, Bogotá, pp. 17-18.
- DE ANTONIO, R. Y BARRERA, A. 2009, Febrero-Marzo. Aprovisionamiento de biomasa para uso agroindustrial. Jornadas de Agroindustriales y Ganaderas. Ponencia presentada en la Jornadas Agroindustriales y Ganaderas – IDEA. **Factorverde** soluciones en biomasa. Madrid.
- FAO. 2009. Análisis del balance de energía derivada de la biomasa en Argentina Informe Final. Departamento Forestal, Dendroenergía. Buenos Aires, pp. 57-58.
- GONZÁLEZ, P., ÁLVAREZ, V., STANGE, M. H., COHEN, M., Y PRADO, H. 2007. **Residuos de la Industria Primara de la Madera: Disponibilidad para Uso Energético.** CNE/INFOR/GTZ/Cooperación Intergubernamental Chile-Alemania. Santiago de Chile, pp. 21-85.
- INSTITUTO FORESTAL LATINOAMERICANO. 2012. **Inventario, caracterización y evaluación de biomasa residual seca de origen forestal como fuentes alternas para la generación de energía eléctrica.** Instituto Forestal Latinoamericano, Mérida, Venezuela, pp. 11-37.
- LÓPEZ, F., PÉREZ, C., Y RUIZ, A. 2007 Septiembre. Análisis de puntos óptimos de ubicación de centrales de biomasa mediante SIG. Aplicación a la provincia de Cáceres España. Ponencia presentada en el XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. España, pp. 70-80.

MARNR, PNUD, GEF. 2005. Primera **Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.** Fondo Mundial para el Medio Ambiente. Caracas, Venezuela, pp. 24-26.

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA ENERGÍA ELÉCTRICA. 2013. **Anuario Estadístico 2013.** Sector Eléctrico Venezolano. Cifras correspondientes al 2012. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Oficina de Planificación, Presupuesto y Organización. Coordinación de Estadística. Caracas, Venezuela, pp. 327-331.

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LAS INDUSTRIAS BÁSICAS Y MINERÍA. 2011. **Directorio nacional de industrias forestales.** Dirección General de Industrias Madereras, Caracas, Venezuela. 14-247 pp.

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA. 2012. **Sistema de información económica energética. Energía en cifras. Informe de estadísticas energéticas 2012.** [Informe en línea]. Disponible en: <http://www.olade.org/sites/default/files/publicaciones/PLEGABLE2012-SEC.pdf> [Consultado: 2012, Febrero 15]. Quito, Ecuador, pp. 11.

Anexo 1. Nombres científicos de las especies consideradas en el estudio

	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Nombre Científico
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i> L.		
Baramán	<i>Catostemma commune</i> Sandwith	Joselino	<i>Styphnodendron microstachyum</i> Poepp
Camoruco	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H. Karst.	Jebe	<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) D.C.
Capa de tabaco	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Jobo	<i>Spondias mombin</i> L.
Capure	<i>Pouteria calmito</i> Radlk.	Kerosen	<i>Drypetes variabilis</i> Uittien
Carabali ó Samán	<i>Pithecellobium samán</i> (Jacq.) Benth	Mahomo	<i>Lonchocarpus margaritensis</i> Pittier <i>Lonchocarpus pictus</i> Pittier
Caramacate	<i>Piranhea longepedunculata</i> Jabl.	Melina	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.
Caraho	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	Murello	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.
Carapa	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Pata de Danto	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F.Gmel.) Exell
Cascarón	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Walp.	Pardillo	<i>Cordia allodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken
Cedro Amargo	<i>Cedrela odorata</i> L.	Pericoco	<i>Ormosia</i> sp.
Cedro Blanco	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Picanton	<i>Loxopterygium sagotii</i> Hook. f.
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Pilón	<i>Ouratea leblondii</i> (Tiegh.) Lemée
Ceiba Rojo	<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A. Robyns	Pino	<i>Pinus caribaea</i> Morelet
Congrio Charo	<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	Pilón Rosado	<i>Pera schomburgkiana</i> (Klotzsch) Müll.Arg. <i>Pera glabatra</i> Leal
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.	Purgo	<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A. Chev.
Sangre de Drago	<i>Pterocarpus acapulcensis</i> Rose	Puy	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. Ex DC) Mattos
Guarapo	<i>Qualea dinizii</i> Ducke	Roble	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand
Guamo Colorado	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Simaruba	<i>Simarouba</i> sp.
Guarataro	<i>Vitex capitata</i> Vahl.	Yigure	<i>Pseudo piptadenia psilostachya</i> (DC.) G.P.Lewis & M.P.Lima
Guacharaco	<i>Vitex compressa</i> Turcz.	Zapatero	<i>Peltogyne porphyrocardia</i> Benth <i>Peltogyne paniculata</i>
Hielillo	<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Müll.Arg.		