

Estudio nacional de la distribución y cuantificación de biomasa agroindustrial de los rubros caña de azúcar y arroz

National wide study of agro biomass distribution and quantification of sugar cane and rice.

Aurelia Villasmil¹

Fecha de recepción: 09/11/2016

Fecha de aceptación: 25/05/2017

Resumen

El Estado venezolano; tiene la necesidad de explorar nuevas fuentes de generación de energía eléctrica, a fin de minimizar su dependencia climática. La demanda de energía viene del crecimiento de la población y de sus actividades socio-productivas y el aumento del aparato socio-productivo ha reforzado el impacto del calentamiento global. Este trabajo busca conocer las características de la biomasa residual de origen agroindustrial a fin de dar respuesta técnica a una política nacional para la generación de energía eléctrica a través del uso de biomasa residual seca a partir de la evaluación de los residuos de caña de azúcar y arroz. Y la estimación de la producción de biomasa residual. Los residuos de caña de azúcar y arroz provienen de la cosecha y del proceso industrial. La generación residuos de caña de azúcares de 2.397.000 Ton/año y las trilladoras de arroz con 404.763 Ton/año. Del análisis de los datos se puede afirmar que el gran productor de residuos dentro del área es el estado Portuguesa. Allí se localiza el 56,9% de las unidades de procesamiento totales correspondientes al 36,4% de los centrales azucareros y 61,7% de las trilladoras de arroz.

Palabras clave: Biomasa residual agroindustrial, energía eléctrica, caña de azúcar (bagazo), arroz (cascarilla), residuos.

¹Investigador Instituto Forestal Latinoamericano)

Abstract

The Venezuelan State; Has the need to explore new sources of electricity generation, in order to minimize its climate dependence. The demand for energy comes from population growth and its socio-productive activities and the increase of the socio-productive apparatus has reinforced the impact of global warming. This work seeks to know the characteristics of the residual biomass of agroindustrial origin in order to give a technical response to a national policy for the generation of electric energy through the use of dry residual biomass based on the evaluation of sugar cane residues and Rice, estimation of volume of production of residual biomass. The residues of sugar cane and rice come from the harvest and the industrial process. The generation of waste is of 2.397.000 Ton / year and the threshing machines of rice with 404,763 Ton / year. From the analysis of the data it can be affirmed that the great producer of waste within the area is the Portuguese state. It is located 56.9% of the total processing units corresponding to 36.4% of the sugar mills and 61.7% of the rice threshing machines.

Keywords: Agroindustrial residual biomass, electric power, sugar cane (bagasse), rice (husk), Agroindustrial waste, residue

Introducción

En el año 2011, el Estado venezolano, preocupado por la vulnerabilidad que implicaba para la Nación el hecho de la fuerte concentración de la generación de energía en la fuente hidroeléctrica, y el dominio de la oferta de energía eléctrica de los combustibles fósiles, y por la necesidad de cumplir con los acuerdos internacionales, decidió explorar nuevas fuentes de generación de energía eléctrica, con el objetivo de minimizar su dependencia de los ritmos climáticos periódicos cada vez menos predecibles y continuar siendo fuentes de generación de energías limpias. En Venezuela a futuro se busca fortalecer la utilización de las energías limpias y de bajo impacto para la generación eléctrica y por ello ha iniciado una exploración sistemática de los recursos disponibles con que cuenta el país para dicho fin [CEPAL - GTZ, 2003].

Dentro esos recursos están la biomasa residual seca, que es generada por procesos agroindustriales, que producen importantes volúmenes de residuos y demandan grandes cantidades de energía del sistema interconectado nacional.

La utilización de la energía proveniente de biomasa es poco contaminante (ello respecto a la utilización de los combustibles fósiles que no cuentan con la compensación

de las emisiones de CO₂ por fijación mediante la fotosíntesis); características que le han otorgado la condición de ser la mayor fuente de energía renovable del mundo [López et al., 2008]. La utilización en forma completa, es decir, no sólo de las fracciones azucaradas o amiláceas para producir biogás, sino también las fracciones fibrosas para la obtención de pastas celulósicas o de fracciones residuales para combustión completa; son una de las pocas formas de disponer de una fuente abundante de materias primas para atender las necesidades crecientes de seguridad en el suministro de energía eléctrica a personas y actividades económicas [Kim y Dale, 2004]

Para atender dicha necesidad, el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica solicitó al Instituto Forestal Latinoamericano un estudio del estado de la biomasa seca residual de origen agroindustrial de los rubros caña de azúcar, arroz, café, coco y plátano a nivel nacional como fuente alternativa para la generación de energía eléctrica. En una primera etapa se estudiaron los dos primeros rubros a saber: caña de azúcar y arroz.

Materiales y métodos

Área de estudio:

El estudio se desarrolló en distintos sectores de los estados: Aragua, Barinas, Cojedes, Guárico, Lara, Portuguesa, Trujillo, Yaracuy y Zulia.

Dentro de las fuentes de generación de biomasa agroindustrial derivada del procesamiento de la caña de azúcar (centrales azucareros) y del arroz (trilladoras), corresponde a los estados del eje nor-centro-occidental: donde se tiene la mayor concentración Portuguesa, Cojedes, Lara, Barinas, Trujillo, Táchira, Yaracuy, Aragua, Carabobo, Zulia y Guárico (Tabla 1).

En el caso de los 16 centrales azucareros que actualmente se encuentran instalados, 14 están en el eje de análisis y dos en el estado Sucre. De ese total, cuatro están inactivos, dos en el estado Sucre, una en el estado Táchira y una en el estado Yaracuy. Al interior del eje de análisis, el estado Lara cuenta con cuatro centrales distribuidos en tres municipios, Portuguesa con cuatro centrales distribuidos en cuatro municipios y los estados restantes Aragua, Trujillo, Zulia y Cojedes con una central por entidad. La situación de las trilladoras de arroz es algo diferente, a nivel nacional existen 60 trilladoras distribuidas en seis estados, todos pertenecientes al eje de análisis. Los estados son: Portuguesa, Guárico, Cojedes, Carabobo, Lara y Barinas. De ese total, tres están inactivos (Cojedes) y tres en construcción (Guárico).

Tabla 1: Distribución de centrales azucareros y trilladoras de arroz por estados y municipios

Estado	Municipio	Central Azucarera	Trilladora	Total
Aragua	Bolívar	1		1
Barinas	Barinas	1	1	2
Carabobo	Guácara		1	1
Cojedes	San Carlos de Asturias		1	2
	Anzoátegui		2	2
Guárico	Francisco de Miranda		21	21
Lara	Iribarren		1	1
	Moran	1		1
	Palavecino	1		1
	Torres	2		2
Portuguesa	Agua Blanca	1	4	5
	Araure		10	10
	Esteller		6	6
	Guanare	1	1	2
	Páez	1	10	11
	Papelón	1		1
	Turen		2	2
Táchira	Pedro María Ureña	1		1
Trujillo	Motatán	1		1
Yaracuy	Veroes	1		1
Zulia	Sucre	1		1
Total		14	60	74

Fuente. Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

Revisión de metodologías de estimación de biomasa residual seca de origen agroindustrial.

Metodologías para la estimación de biomasa residual seca de origen agroindustrial no se encontraron, existen solo metodologías para la estimación de biomasa residual agrícola herbácea (BRAH) que corresponde a la paja del arroz o para los residuos agrícolas cañeros (RAC) que corresponde al residuo que queda en el campo. Se encuentran factores de producción de residuo energético que manejan diferentes países para la estimación del residuo bagazo de caña y cascarilla de arroz, estos factores son el resultado de investigaciones hechas por los centrales azucareros y las trilladoras en países como: Venezuela, Colombia, Cuba y Ecuador entre otros. Dentro de la revisión metodológica se tienen las siguientes:

1. **Estimación del factor de producción de residuo del procesamiento de la caña de azúcar (bagazo).**

La transformación de la caña de azúcar en azúcar incluye: lavado, astillado,

molienda, filtrado, clarificación, maceración, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y enfriamiento. En este proceso se producen residuos como bagazo, bagacillo, cachaza.

El bagazo de caña se obtiene como subproducto o residuo en los centrales azucareros después de la extracción del jugo de caña de azúcar. Representa aproximadamente entre el 25 y 50 % del total de la caña de azúcar procesada, valor que depende de la cantidad de sacarosa presente, cantidad de materiales extraños, contenido de sólidos solubles distintos a la sacarosa, niveles de fibras y eficiencia en la extracción del jugo. El rango indicado es producto de la revisión de estudios realizados en Venezuela, Colombia, Cuba y Ecuador, sin embargo, en estos países el porcentaje promedio más utilizado de bagazo corresponde a un 30 % [SICA, 2006].

2. Estimación del factor de producción de residuo del procesamiento del arroz (cascarilla).

Los principales productos del proceso de molienda del arroz son: el arroz blanco, los subproductos utilizables (cascarilla y salvado) que se obtienen durante el proceso de molienda que pueden ser vendidos en el mercado, y los subproductos de desecho, que tienen muy bajo valor comercial.

Según Monroy y Vargas (2004), el arroz está constituido en 72 % de grano representado por el endosperma almidonoso, el 20 % es cascarilla y el restante 8 % es el pericarpio o salvado de arroz. El grano de arroz presenta diferentes estructuras de protección como lo son la cascarilla o cáscara que mantiene al grano en una condición de impermeabilidad y termoestabilidad, además de poco contacto con el aire que pueda provocar la degradación de los componentes internos.

La cascarilla que representa el 20 % del peso del grano de arroz paddy, está constituido por un 40,7 % de fibra y 25 % de sílice. En las trilladoras de gran escala el arroz paddy es sometido a tratamientos de limpiado, descascarillado, perlado, pulido y clasificación. En el proceso de limpiado se eliminan todas las materias extrañas, tales como granos muertos, piedras y tallos.

Después de la limpieza, el arroz es transportado hacia la tolva del descascarillador en donde es dosificado hacia los cilindros en movimiento. Una vez allí por un proceso de abrasión entre la cascarilla del paddy y la superficie de caucho de los rodillos, es liberada la capa más externa del arroz (cascarilla), además de las

puntas del grano y algunos fragmentos de aleurona o salvados por desprendimiento. Finalmente se realiza un tamizado que separa las partículas más pequeñas (picas y salvado), y después por aspiración la cascarilla es retirada gracias a su mayor área de exposición al esfuerzo.

3. Estimación de la producción (Ton/año) de biomasa residual seca de origen agroindustrial:

Para la determinación de los volúmenes de producción de biomasa de residuos (bagazo y cascarilla), provenientes de la fase del procesamiento de la caña de azúcar en los centrales azucareros y del arroz en las trilladoras se debe disponer de la siguiente información: Capacidad Instalada (Ci) en toneladas, Ingreso de materia prima (Imp) en toneladas y Factor de producción de residuo energético ($Fpre$).

- **Estimación biomasa residual seca potencial (BRSP):** Se entiende como aquella biomasa que es posible generar en una zona o industria y se calcula de la siguiente manera:

$$BRSP = Ci \times Fpre \quad (1)$$

- Capacidad Instalada (Ci) en Toneladas
- Factor de producción de residuo energético ($Fpre$): corresponde al porcentaje de generación de residuo (bagazo o cascarilla) $\div 100$.
- **Estimación biomasa residual seca actual:** Se entiende como aquella biomasa que se está generando en una zona o industria y se calcula de la siguiente manera:

$$BRSP = Imp \times Fpre \quad (2)$$

- Ingreso de materia prima (Imp) en Toneladas.
- Factor de producción de residuo energético ($Fpre$): corresponde al porcentaje de generación de residuo (bagazo o cascarilla) $\div 100$.

Resultados y discusión

Caracterización cualitativa de los residuos

Los residuos agroindustriales obtenidos en la producción de azúcar y arroz blanco pueden ser clasificados en: residuos de la cosecha y residuos del procesamiento industrial,

estos últimos por estar concentrados en lugares determinados su utilización resulta más factible y menos costosa.

1. Distribución de los residuos del procesamiento industrial de caña de azúcar y arroz en Venezuela.

La infraestructura agroindustrial del eje analizado se representó cartográficamente tanto en términos de densidad como de localización individual. En la Figura 2 se resalta el carácter agregado de la actividad agroindustrial de caña de azúcar y de trilladoras de arroz en el estado Portuguesa y especialmente al norte del estado. Una situación similar ocurre en el municipio Francisco de Miranda del estado Guárico donde se reporta una gran concentración de trilladoras.

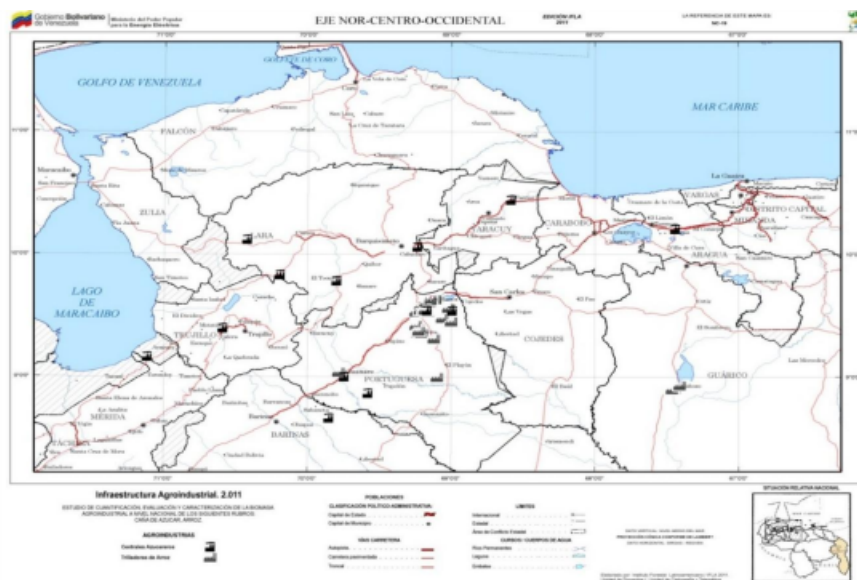


Figura 1: Infraestructura Agroindustrial Individual

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano

1.1. Caña de Azúcar.

La transformación de la caña de azúcar en azúcar incluye: lavado, astillado, molienda, filtrado, clarificación, maceración, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y enfriamiento. En este proceso se producen residuos como bagazo, bagacillo, cachaza. El porcentaje de residuo que se maneja en los diferentes centrales levantados se encuentra en promedio de un 35 %.

De los 16 centrales azucareros que existen en Venezuela, se visitó y/o contactó 11 de estas unidades distribuidas en los estados Portuguesa, Lara, Aragua, Zulia y Trujillo (Tabla 2). El estado Portuguesa cuenta con cuatro centrales distribuidos en cuatro municipios organizados en dos bloques, el primero de ellos localizado en la parte norte-este del estado, correspondiente a los municipios Páez y Agua Blanca, y el segundo bloque localizados hacia al suroeste del estado, correspondiente a los municipio Guanare y Papelón.

En el caso de Lara se detectaron dos bloques, el primero contentivo de los municipios Morán y Torres con tres centrales y el segundo en el Municipio Palavecino con una central. Ambos bloques localizados al oeste y sureste respectivamente, en los casos restantes, los centrales azucareros se encuentran uno por estado.

Tabla 2: Centrales azucareros por municipio visitados por el proyecto.

Estados	Municipios	Centrales Azucareras
Portuguesa	Papelón	1
	Guanare	1
	Paéz	1
	Agua Blanca	1
Lara	Moran	1
	Torres	2
	Palavecino	1
Aragua	Bolívar	1
Zulia	Sucre	1
Trujillo	Motatán	1

Fuente. Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

En cuanto al suministro de materia prima para la producción de residuos, los estados Portuguesa, Lara, Trujillo, Zulia y Aragua, según el VII Censo Agrícola Nacional (2007), se encuentran entre los siete primeros lugares a nivel nacional en superficie sembrada (ha), superficie cosechada (Ha) y producción (ton) de caña de azúcar (Tabla 3). Estos elementos sustentan la disponibilidad de materias primas en el espacio y en el tiempo que hacen factible la instalación de centrales de generación de energía a partir de biomasa residual de origen agroindustrial. De los 16 centrales estudiados, diez trabajan una sola variedad de caña de azúcar, la Industria Azucarera Santa Elena C.A. y Central Venezuela procesan dos variedades, el Central El Palmar tres variedades, el Central Trujillo seis variedades, Central Pio Tamayo ocho variedades y la

Azucarera Río Turbio procesa 52 variedades. La materia prima de la mayoría de los centrales proviene directamente de cultivos.

Tabla 3: Información de superficie sembrada (Ha) y cosechada (Ha) con producción (Ton) de caña de azúcar para los nueve estados de Venezuela donde se ubican los centrales azucareros

Estados	Superficies Sembradas (ha)	Superficies Cosechadas (ha)	Producción (Ton)
Portuguesa	56.066,29	53.898,65	4.010.778
Lara	15.710,23	15.360,38	1.006.592
Trujillo	8.187,23	7.856,13	618.420
Yaracuy	6.768,23	6.572,73	532.817
Zulia	6.167,12	5.919,98	510.985
Aragua	5.363,52	5.231,52	438.255
Barinas	3.248,52	1.986,27	207.898
Sucre	2.853,00	2.632,65	109.300
Táchira	2.799,46	2.658,05	174.807
Total	107.163,60	102.116,36	7.609.852
Venezuela	121.441,50	115.692,48	8.638.058

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

1.2. Arroz Paddy.

La transformación del arroz paddy en arroz blanco incluye: lavado, descascarillado, perlado, pulido y clasificación. En este proceso se producen residuos como cascarilla y salvado de arroz. El porcentaje de residuo que se maneja en los diferentes centrales visitados se encuentra en un promedio del 20 %.

Las trilladoras de arroz en Venezuela son 60 y se distribuyen en seis estados: Portuguesa, Guárico, Cojedes, Carabobo, Lara, Barinas; encontrándose la mayor concentración de trilladoras en los estados Portuguesa con 33 y Guárico con 21 (Tabla 4).

Las trilladoras visitadas en esta investigación corresponden a las del estado Guárico [SADA, 2011], la información de las trilladoras del estado Portuguesa fue suministrada por SIIP (2008) y SADA (2011). Los detalles de su ubicación están contenidos en la Tabla 5.

Tabla 4: Trilladoras de arroz por estado.

Estados	Numero de Trilladoras
Portuguesa	33
Guárico	21
Cojedes	3
Carabobo	1
Lara	1
Barinas	1

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

Tabla 5: Trilladoras de arroz por municipio.

Estados	Municipio	Numero de Trilladoras
Portuguesa	Páez	10
	Araure	10
	Esteller	6
	Agua Blanca	4
	Turen	2
	Guanare	1
Guárico	Francisco de Miranda	21

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

Del análisis de la distribución espacial se concluyó que la actividad de trillado de arroz está organizada en dos grandes bloques. El primero de ellos ubicado en el nor-este del estado Portuguesa conformado por los municipios Agua Blanca, Araure, Esteller, Páez, Turen y Guanare con un total de 33 trilladoras, y el segundo bloque conformado por el municipio Francisco de Miranda del estado Guárico con un total de 21 trilladoras.

Los estados Portuguesa y Guárico, según el VII Censo Agrícola Nacional (2007), ocupan los dos primeros lugares a nivel nacional (Tabla 6).

Las trilladoras que se localizan en Portuguesa, Guárico, Cojedes, Barinas y Carabobo, cuentan con una disponibilidad cercana de materia prima para su funcionamiento, beneficiándolos en costos de transporte y en suministro continuo de material.

Tabla 6: Información de superficie sembrada (ha) y cosechada (ha) con producción (Ton) de arroz para los seis estados de Venezuela donde se ubican las trilladoras

Estados	Superficies Sembradas (ha)	Superficies Cosechadas (ha)	Producción (Ton)
Portuguesa	133.998	132.463	672.273
Guárico	73.875	72.282	360.021
Cojedes	19.903	19.543	94.246
Barinas	1.689	1.604	7.825
Carabobo	4	3	12
Lara	0	0	0
Total	229.467	225.894	1.134.377
Venezuela	229.623	225.981	1.134.602

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

2. Disponibilidad y destino de los residuos generados en las industrias de azúcar y arroz.

Durante el proceso de transformación de la caña de azúcar y del arroz paddy se generan grandes cantidades de residuos. Tal como se dijo con anterioridad, los porcentajes de residuos para caña de azúcar oscilan entre un 25 y 50 % [SICA, 2006, UPME, 2003, Reyes, 2003] y para el arroz paddy un 20 % [MIEM, 2005, Grace, 2003].

Dichos residuos son parcialmente utilizados y el resto se acumula sin que se realicen labores sustentables de disposición final.

A continuación se presenta el resultado del análisis del destino del bagazo y de la cascarilla de arroz.

2.1. Caña de Azúcar

Sólo el Central Azucarero Guanaré C.A. informó que parte de los residuos quedan en el sitio en espacios libres detrás de la caldera y el resto lo regala a productores locales. Todos los demás indicaron que buena parte de los residuos son utilizados como combustible en sus procesos internos, lo que indica que en la actualidad los centrales azucareros están utilizando el bagazo de caña como combustible para la generación de la energía necesaria para el desarrollo de sus procesos internos

2.2. Arroz Paddy.

Todas las trilladoras informaron al momento del levantamiento que regalan parte de la cascarilla a caballerizas, granjas avícolas, agricultores para incorporarlas al suelo y a personas que lo necesiten. Alimentos Polar y Comainca utilizan la cascarilla para la elaboración de alimentos concentrados para animales y venden parte de la cascarilla a las empresas Asodepa, Lucha Calabozo y Monaca. Las trilladoras Cereales Calabozo, Monaca y Venarroz RSA, botan la cascarilla.

3. Estimación de los residuos.

La magnitud de los residuos que se producen en la agroindustria depende de la cantidad y tipo de materia prima que se procesa, de las tecnologías utilizadas en el proceso de transformación, del nivel de producción y de las características de los productos obtenidos. Una vez producido el residuo su disposición final va a variar en función del uso que se le dé a este y de la magnitud de dicho uso. En relación con esto último, la información levantada indica que el bagazo se está utilizando ampliamente como combustible al interior de las centrales, mientras que la cascarilla se está mayormente perdiendo. A continuación se analizan los aspectos cuantitativos de la generación de residuos, a fin de precisar los volúmenes reales de generación de residuos y su factibilidad de ser redireccionados con fines energéticos.

El análisis consideró las siguientes variables: Capacidad Instalada, Cantidad Ingresado de Materias Primas y Cantidad y Porcentaje de Residuos. Las estimaciones se hicieron a partir de las informaciones obtenidas de las revisiones bibliográficas y de las entrevistas y visitas de campo. En total se trabajó con datos de diez centrales azucareros y 19 trilladoras que aportaron información vía entrevista telefónica y/o consulta bibliográfica, y de 21 trilladoras visitadas.

3.1 Estimación de residuos de Caña de Azúcar.

3.1.1 Capacidad Instalada.

La capacidad instalada para el área de estudio es de 11.350.000 Ton/año (Tabla 7). Las mayores capacidades están en los estados Portuguesa y Lara. A nivel individual la mayor capacidad la tiene el Central Azucarero Portuguesa (Portuguesa), seguida del Central El Palmar (Aragua) y por último la Azucarera Río Turbio (Lara).

Tabla 7: Capacidad instalada de centrales azucareros, (Ton/año)

Centrales Azucareros	Capacidad Instalada (Ton/año)				
	Portuguesa	Lara	Aragua	Zulia	Trujillo
1	2.250.000	1.300.000	1.620.000	500.000	150.000
2	1.260.000	1.200.000			
3	1.125.000	595.000			
4	900.000	450.000			
Total por Estado	5.535.000	3.545.000	1.620.000	500.000	150.000
Total Área de estudio	11.350.000 Ton/año				

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

Expresado en porcentaje se tiene que el estado Portuguesa concentra el 48 % de toda la capacidad y el resto se distribuye como se indica en la Figura 2.

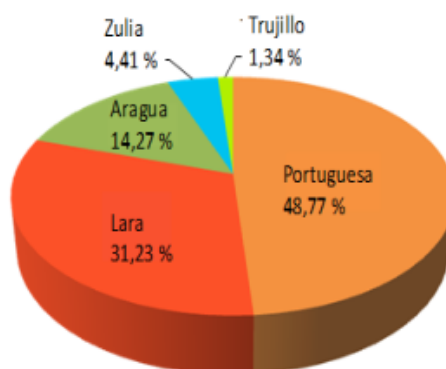


Figura 2: Capacidad Instalada en %

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

3.1.2 Cantidad ingresada de materia prima

La cantidad ingresada de materia prima corresponde a 7.640.000 Ton/año, procesada por los 11 centrales azucareros distribuidos en los estados Portuguesa, Lara, Aragua, Zulia y Trujillo (Tabla 8). Las mayores cantidades las aportan el Central Azucarero Portuguesa (Portuguesa), el Central El Palmar (Aragua) y Moliendas Papelón (Portuguesa).

Tabla 8: Cantidad ingresado de materia prima (Ton/año)

Centrales	Cantidad ingresado de Materia Prima (Ton/año)				
Azucareros	Portuguesa	Lara	Aragua	Zulia	Trujillo
1	1.650.000	800.000	1.100.000	150.000	115.000
2	924.000	650.000			
3	900.000	270.000			
4	850.000	231.000			
Total por Estado	4.324.000	1.951.000	1.100.000	150.000	115.000
Total Área de estudio	7.640.000 Ton/año				

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

Los centrales azucareros del estado Portuguesa manejan la mayor cantidad de materia prima con 4.324.000 Ton/año, en comparación con Trujillo que maneja solo 115.000 Ton/año. Con respecto la cantidad total ingresada de materia prima, el estado Portuguesa procesa 56.60 %, Lara 25.54 %, Aragua 14.40 %, Zulia 1.96 % y Trujillo 1.51 % ver Figura 3.

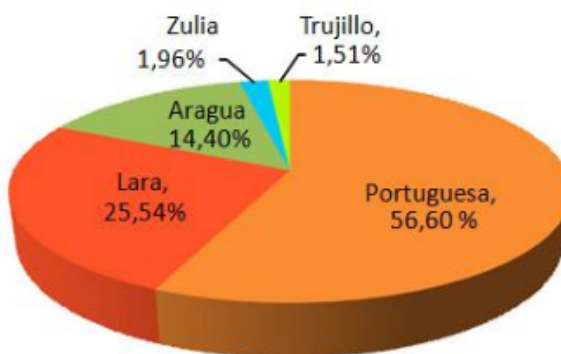


Figura 3: Porcentaje de materia prima por estado.

3.1.3 Cantidad de Residuos.

La cantidad de residuos de los 11 centrales azucareros es de 2.397.000 Ton/año, distribuidos en los estados Portuguesa, Lara, Aragua, Zulia y Trujillo (Tabla 9). Las mayores cantidades las aportan el Central Azucarero Portuguesa (estado Portuguesa), el Central El Palmar (Aragua) y Moliendas

Papelón (Portuguesa).

Los centrales azucareros del estado Portuguesa manejan la mayor cantidad de materia prima con 4.324.000 Ton/año, en comparación con Trujillo que maneja solo 115.000 Ton/año. Con respecto a la cantidad total de ingreso de materia prima, el estado Portuguesa procesa 56.60 %, Lara 25.54 %, Aragua 14.40 %, Zulia 1.96 % y Trujillo 1.51 % ver Figura 4.

Tabla 9: Cantidad de residuos (Ton/año)

Centrales	Cantidad de residuos (Ton/año)				
Azucareros	Portuguesa	Lara	Aragua	Zulia	Trujillo
1	486.000	288.750	420.000	45.000	33.000
2	323.400	234.000			
3	270.000	97.200			
4	122.500	77.350			
Total por Estado	1.201.900	697.300	420.000	45.000	33.000
Total Área de estudio	2.397.200 Ton/año				

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

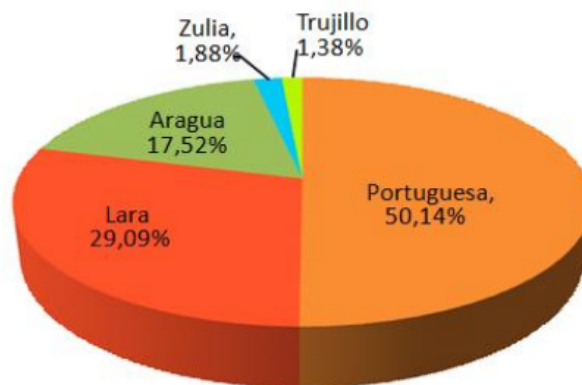


Figura 4: Porcentaje de residuos por estado.

De lo anterior se puede concluir que la mayor generación de residuos está concentrada en el estado Portuguesa, debido a que la cantidad de residuos agroindustriales guarda estrecha relación con la cantidad de materia prima procesada, con el tamaño de la industria y con la continuidad del periodo

de procesamiento de la materia prima. Por lo tanto, cuatro centrales de Portuguesa manejan el 56.60 % del total de la materia prima que se procesa en el área de estudio, y producen 50.14 % de la cantidad de residuos, en tanto que los siete centrales restantes concentran el 49.87 % de la producción de residuos.

3.2. Estimación de residuos de Arroz Paddy.

Para efectos del análisis se decidió trabajar con los datos de las trilladoras de los estados Portuguesa y Guárico ya que además de presentar un patrón espacial agregado, en conjunto representan algo más del 90 % de la actividad a nivel nacional. El resto del trillado de arroz se realiza en Cojedes (tres trilladoras inactivas), una en Carabobo, una en Barinas (inactiva) y una en Lara.

La información de las trilladores se obtuvo de los datos suministrados por Sistema de Control Alimentario [SADA, 2011] y de la página web de [SIIP, 2008]. Además, se realizaron visitas y entrevistas en las empresas del estado Guárico.

En relación con la información de las 33 trilladoras del estado Portuguesa, los datos oficiales fueron cantidad de materia prima en toneladas por día; a partir de estos datos se estimaron la cantidad anual de materia prima y de residuos, esto último considerando un factor de 20 %.

En el caso del estado Guárico no fue posible obtener información oficial sobre cantidad de materia prima procesada, razón por la cual se procedió con el levantamiento de campo. De las 21 trilladoras visitadas, 18 trilladoras están operativas y en cada caso se analizaron las variables capacidad instalada, entrada de materia prima (trillado) y cantidad de residuos.

3.2.1 Capacidad Instalada

Dada las dificultades para obtener información oficial de estas variables, sólo fue posible obtener un estimado de capacidad instalada de las 18 trilladoras ubicados en el estado Guárico, con un total de 1.234.880 Ton/año, concentradas todas en el municipio Francisco de Miranda (Tabla 10).

Tabla 10: Capacidad instalada de trilladoras del estado Guárico

Trilladoras de Arroz	Cap. Instalada (Ton/año)
1	264.000
2	144.000
3	96.000
4	92.400
5	92.160
6	86.400
7	69.120
8	66.000
9	57.600
10	54.000
11	50.400
12	44.000
13	36.000
14	28.800
15	24.000
16	12.000
17	12.000
18	6.000
Total	1.234.880 Ton/año

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

En el eje nor centro occidental se encuentran todas las trilladoras del país, indicando a este eje como el de concentración de residuos potenciales, si las trilladoras trabajaran a su capacidad máxima.

3.2.1. Cantidad de materia prima (trillado).

La cantidad de materia prima es de 1.994.093 Ton/año, conformado por las 46 trilladoras, distribuidas en los estados Portuguesa y Guárico (Tabla 11).

Tabla 11: Cantidad de materia prima (Ton/año)

Trilladoras de arroz	Cantidad Materia Prima (Trillado) (Ton/año)	
	Portuguesa	Guánico
1	237.600	144.000
2	116.160	79.200
3	92.400	52.800
4	66.000	48.000
5	66.000	40.656
6	52.800	36.000
7	52.800	35.000
8	52.800	33.600
9	52.800	33.600
10	52.800	33.600
11	52.800	28.800
12	52.800	20.160
13	52.800	17.280
14	39.600	10.800
15	39.600	10.000
16	39.600	6.720
17	39.600	5.500
18	39.600	
19	39.600	
20	26.400	
21	26.400	
22	21.600	
23	10.560	
24	10.560	
25	7.920	
26	6.547	
27	3.960	
28	3.960	
29	2.310	
Total por Estado	1.358.377	635.716
Total	1.994.093 Ton/año	

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

Las trilladoras del estado Portuguesa manejan la mayor cantidad de materia prima con 1.358.377 Ton/año (68 %), en comparación con Guárico que maneja solo 635.716 Ton/año, (32 %) obteniéndose una diferencia de 722.661 Ton/año, lo que indica la gran cantidad de arroz paddy procesado por el estado Portuguesa como se observa en la Figura 5.

Las trilladoras activas del estado Portuguesa se encuentran distribuidas en cinco municipios de los cuales el municipio Araure y Páez tienen el mayor número de trilladoras con una cantidad de materia prima de 605.880 Ton/año (30.4 %) y 366.907 Ton/año (18.4 %) respectivamente. En el estado Guárico todas las trilladoras están concentradas en el municipio Francisco de Miranda donde se procesa una cantidad de materia prima de 635.716 Ton/año, representando el 32 % del total de materia prima ver Figura 7.

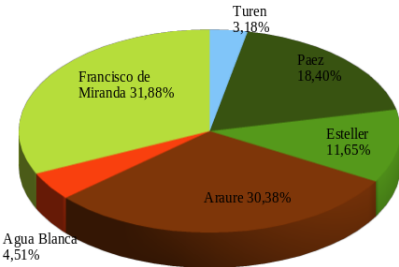
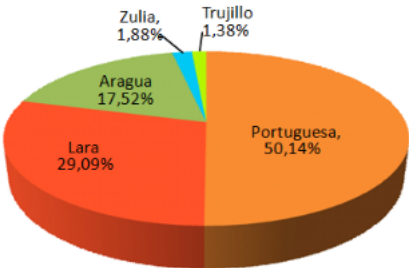


Figura 5: Porcentaje de entrada de materia prima por estado.

Figura 6: Distribución del trillado por municipio.

3.2.2 Producción de Residuos.

La cantidad de residuos para las 46 trilladoras analizadas es de 404.763 Ton/año, 271.675 Ton/año para Portuguesa (67,1 %) repartidos en cinco municipios y 133.088 Ton/año para Guárico (32,9 %) en un único municipio (Tabla 12, Figuras 6 y 8).

Tabla 12: Cantidad de residuos (Ton/año).

Trilladoras de arroz	Cantidad de Residuos (Trillado) (Ton/año)	
	Portuguesa	Guárico
1	47.520	28.800
2	23.232	17.424
3	18.480	10.560
4	13.200	10.080
5	13.200	8.944
6	10.560	7.560
7	10.560	7.392
8	10.560	7.056
9	10.560	7.056
10	10.560	7.000
11	10.560	6.048
12	10.560	4.234
13	10.560	3.629
14	7.920	2.500
15	7.920	2.160
16	7.920	1.546
17	7.920	1.100
18	7.920	
19	7.920	
20	5.280	
21	5.280	
22	4.320	
23	2.112	
24	2.112	
25	1.584	
26	1.309	
27	792	
28	792	
29	462	
Total por Estados	271.675	133.088
Total	404.763 Ton/año	

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

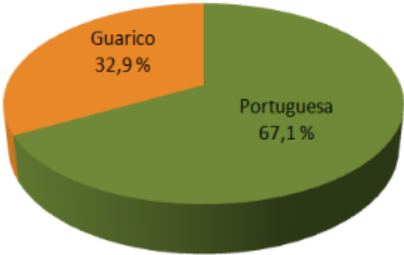


Figura 7: Porcentajes de residuos por estado

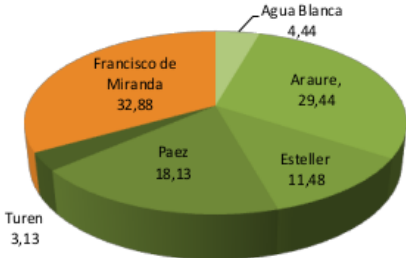


Figura 8: Distribución del residuo por municipio.

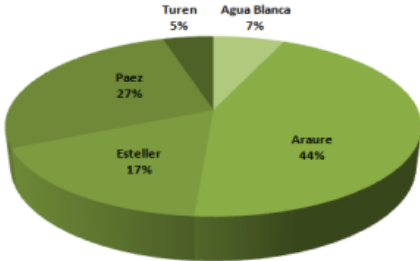


Figura 9: Distribución de residuos en el estado Portuguesa.

Es importante señalar que la generación de residuos está altamente concentrada tanto para el estado Portuguesa como para el estado Guárico. Portuguesa genera 271.675 Ton/año de residuos, de los cuales el 71,62 % está concentrado entre los municipios Araure con 121.177 Ton/año que equivale al 44,61 % y Páez con 73.381 Ton/año que representan el 27,01 % (Figura 9). El restante 28,38 % de residuos se encuentra distribuido entre los municipios Esteller, Agua Blanca y Turen. En Guárico la situación es aún

más concentrada ya que las 133.088 Ton/año de residuos, es decir el 100 % que se manejan en el estado, se producen solamente en el municipio Francisco de Miranda.

4. Regionalización de las Áreas Productoras de Residuos

Una vez concluido el análisis del comportamiento de las variables capacidad instalada de las industrias y la cantidad de residuos generados por estado y por municipio, se procedió con su regionalización. El objetivo fue identificar las grandes áreas de producción actual y potencial de biomasa residual seca del procesamiento de la caña de azúcar y del arroz. Dicha regionalización se hizo bajo el criterio de que los sitios de producción de la biomasa residual seca deben estar a no más de 50 kilómetros de distancia de la planta de generación de energía eléctrica [Nogués, García-Galindo y Adeline, 2010]

Como resultado se obtuvieron nueve bloques: dos en Portuguesa, tres en Lara, uno en Aragua, uno en Trujillo, uno en Guárico y uno en Zulia. Como se observa en la Figura 10

En la Tabla 13 se indican los municipios que conforman cada bloque y el número de unidades de procesamiento.

Tabla 13: Descripción de los bloques de producción de biomasa residual seca.

Bloques Municipios	Bloque Aragua	Bloque Guárico	Bloque Lara 1	Bloque Lara 2	Bloque Lara 3	Bloque Portuguesa 1	Bloque Portuguesa 2	Bloque Trujillo	Bloque Zulia	Total general
Bolívar	1									1
Francisco de Miranda		18								18
Moran					1					1
Palavecino				1						1
Torres			2							2
Agua Blanca						5				5
Araure						10				10
Esteller						6				6
Guanare							2			2
Páez						11				11
Papelón							1			1
Turen						2				2
Motatán								1		1
Sucre									1	1
Total general	1	18	2	1	1	34	3	1	1	62

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano. [IFLA, 2011]

De lo anterior se desprende que el Bloque Portuguesa 1 que abarca cinco municipios, concentra 34 unidades de procesamientos activos, le sigue el bloque Guárico con 18 unidades. Los restantes bloques integran entre una y cinco unidades de procesamiento.

Del total de residuos generados para toda el área de estudios (2.801.963 Ton/año), la mayor producción la tiene el bloque-Portuguesa 1, seguido por el bloque-Portuguesa 2 y el bloque-Aragua (Figura 10).

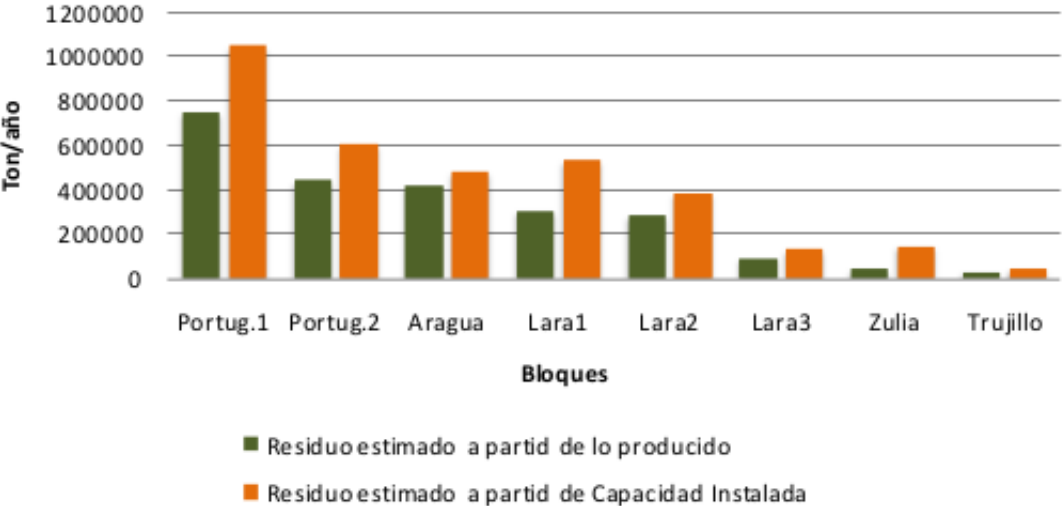


Figura 10: Estimaciones de residuos por bloque.

Finalmente al analizar la potencialidad (capacidad instalada) de generación de biomasa residual seca a partir de caña de azúcar, esta pudiera incrementarse en un 30 % en términos globales (toda el área de estudio) y los mayores incrementos se pudieran lograr en el Bloque Zulia (70 %), Bloque Lara (48 %), y Bloques Portuguesa 1 y Lara 3 con 28 % cada uno (Figura 11).

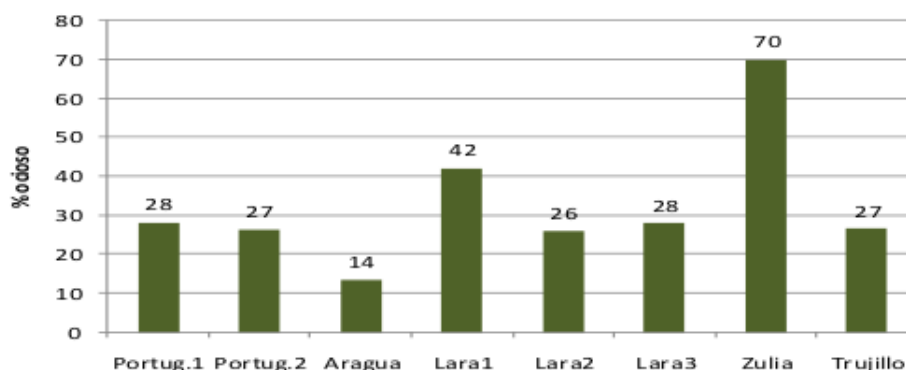


Figura 11: Capacidad ociosa en %.

Conclusiones

En Venezuela se producen dentro del área de estudio y para los rubros indicados, un total de 2.801.963 Ton/año de residuos. De ese total, el 85,6% corresponde a bagazo de caña (2.397.200 Ton/año) y el 14,4% restante a cascarilla de arroz (404.763 Ton/año). Dicha producción se realiza fundamentalmente en 58 unidades de procesamiento, 11 para caña de azúcar y 47 para arroz. Existe adicionalmente un número poco importante de unidades que al momento de la investigación se encontraban inoperativas o en procesos de instalación.

Del análisis de los datos se puede afirmar que el gran productor de residuos dentro del área es el estado Portuguesa. Allí se localiza el 56,9% (33) de las unidades de procesamiento totales correspondientes al 36,4% (4) de los centrales azucareros y 61,7% (29) de las trilladoras de arroz.

En cuanto a la generación propiamente de residuos, Portuguesa produce el 52,6% de los residuos totales, 50,1% (1.201.900 Ton/año) de bagazo de caña y 67,1% (271.675 Ton/año) cascarilla de arroz. A escala municipal, el municipio Páez es el mayor productor de residuos con el 20,0% (559.381,4 Ton/año) de los residuos totales, 20,3% (486.000 Ton/año) de bagazo de caña y 18,1% (73.381 Ton/año) de cascarilla de arroz. Le siguen en importancia el municipio Bolívar del estado Aragua con una participación equivalente al 17,5% (420.000 Ton/año) de bagazo y el municipio Papelón del estado Portuguesa con un 13,5% (324.400 Ton/año).

En un esfuerzo por agrupar áreas de aptitud para la generación de residuos agroindustriales, se puede concluir que existen dos grandes bloques de generación, el primero localizado al norte del estado Portuguesa compuesto por los municipios Páez,

Agua Blanca, Esteller, Araure y Turen; con 36 unidades de procesamiento (tres centrales y 33 trilladoras), 1.027.675,44 Ton/año de residuos. Le sigue un segundo bloque, también en el estado Portuguesa (Guanare y Papelón) con tres unidades de procesamiento (dos centrales y una trilladora inactiva) y una producción de residuos equivalente a 445.900 Ton/año de bagazo. En tercer lugar está un bloque en Aragua, municipio Bolívar con una producción de 42.000 Ton/año concentradas en el central Aragua.

Las estimaciones potenciales de generación de residuos, a partir de las capacidades instaladas hablan que se pudiera en promedio producir un 34% más de los residuos que actualmente se procesan en el eje de análisis. Resaltan los casos de Zulia con la posibilidad de generar un 70% más de bagazo de caña y Guárico con capacidad de generar un 64% de cascarilla de arroz.

En general los residuos del procesamiento de la caña de azúcar son utilizados internamente como combustibles para las calderas de los centrales, mientras que la cascarilla de arroz es mayormente dispuesta en vertederos locales. Sólo una pequeña fracción de la cascarilla es utilizada por emprendimientos locales, es el caso de viveros y criaderos de aves.

Finalmente aceptar a priori que la generación de energía eléctrica a partir de la energía de la biomasa y por lo tanto de los residuos es una práctica inocua, puede ser imprudente ya que su utilización (biomasa residual seca) puede generar impactos socio-ambientales que alteren por ejemplo las capacidades nacionales de producción de alimentos (reducción de las superficies de producción y afectación de la calidad de los suelos como consecuencia de una sobre explotación del recurso), las capacidades de los ecosistemas de continuar brindando los servicios ambientales por afectación y truncamiento del funcionamiento ecológico (ciclos de materia y energía), pérdidas de hábitat y pérdidas de biodiversidad. De allí la necesidad de desarrollar estudios de impacto ambiental específicos tanto para el tipo de biomasa residual como de las alternativas tecnológicas de generación de energía.

Bibliografía

- [CEPAL - GTZ, 2003] CEPAL Y GTZ. (2003). *Sostenibilidad energética en América Latina y El Caribe: El aporte de las fuentes renovables*. Recuperado el 10 de enero de 2012, de <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/13319>
- [Grace, 2003] Grace, E. (2003). El Arroz. Antropología Alimentaria. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 16 de Enero de 2012, <http://es.scribd.com/doc/57104264/ANTROPOLOGIA-ALIMENTARIA>.

- [IFLA, 2011] Instituto Forestal Latinoamericano-IFLA, (2011). Estudio de cuantificación, evaluación y caracterización de biomasa agroindustrial a nivel nacional de los siguientes rubros: caña de azúcar, arroz, café. Coco y plátano. Primera etapa caña de azúcar y arroz). Mérida- Venezuela.
- [Kim y Dale, 2004] Kim, S., y Dale, B. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, 26, 361-375.
- [López et al., 2008] López, A., Alfaro, A., Caparrós, S., García, M., Pérez, A., y Garrote, G. (2008). Aprovechamiento energético e integrado por fraccionamiento de Biomasa Lignocelulósica forestal y agroindustrial. Caracterización de hemicelulosas, celulosas y otros productos del fraccionamiento. *Boletín del CIDEU*, 5, 7-19.
- [MIEM, 2005] MIEM. (2005). *Sector Energético en Uruguay, Diagnóstico y Perspectivas*. (M. d. (MIEM), Ed.) Recuperado el 10 de Enero de 2012, de <http://www.carbosur.com.uy/archivos/Energias%20Alternativas.pdf>
- [Monroy y Vargas, 2004] Monroy, C., y Vargas, A. (2004). *Estudio de caracterización, procesos de obtención y usos del salvado de arroz*. Universidad de Tolima. Programa de Ingeniería Agroindustrial. Recuperado el 12 de Enero de 2012, de www.monografias.com/trabajos15/salvado-arroz/salvado-arroz.shtm
- [Nogués, García-Galindo y Adeline, 2010] Nogués, F. S., García-Galindo, D., y Adeline, R. (2010). *Energía de la Biomasa (Vol. 1)*. Zaragoza: Prensa Universitaria de Zaragoza.
- [Reyes, 2003] Reyes, J. (2003). *Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental*. Recuperado el 12 de Enero de 2012, de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.html>
- [SADA, 2011] SADA. (2011). *Registro de Trilladoras, Directorio*. Superintendencia Nacional de Silos, Almacenes y Depósitos Agrícola.
- [SICA, 2006] SICA. (2006). *El azúcar en la comunidad andina. Proyecto SICA-Banco Mundial*. Recuperado el 12 de enero de 2012, de <http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/>
- [SIIP, 2008] SIIP. (2008). *Sistema de Información e Inteligencia Edo. Portuguesa*. Recuperado el 2012 de enero de 3, de Área Económica Financiera, Sub Área Industria, Plantas de Beneficio de Arroz: <http://www.siipo.net/puntos/Plantas%20de%20Arroz.pdf>

[UPME, 2003] UPME. (2003). Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia. Recuperado el 10 de Enero de 2012, de http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacionenergias_alternativas/potencialidades/biomasa_CULTIVOS%20ENERGETICOS.pdf