

**EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE LA BIOMASA RESIDUAL  
PROVENIENTE DE CULTIVOS ENERGETICOS**

**OSCAR FERNANDO CORREDOR BECERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FISICO-QUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2008**

**EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE LA BIOMASA RESIDUAL  
PROVENIENTE DE CULTIVOS ENERGETICOS**

**OSCAR FERNANDO CORREDOR BECERRA**

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Químico

**DIRECTOR**

**Ph.D. HUMBERTO ESCALANTE HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD FISICO-QUIMICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**BUCARAMANGA**

**2008**

## CONTENIDO

|   |              |
|---|--------------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>1</b>     |
| <b>2.METODOLOGIA.....</b>   | <b>8</b>     |
| <b>3. RESULTADOS .....</b>  | <b>11</b>    |
| <b>3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE BIOMASA CULTIVOS PROMISORIOS .....</b> | <b>11</b>    |
| <b>3.1.1. ANÁLISIS PRÓXIMO BASE SECA .....</b>                                  | <b>14</b>    |
| <b>3.1.2. ANÁLISIS ELEMENTAL .....</b>  | <b>16</b>    |
| <b>3.1.3. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO.....</b>                                       | <b>17</b>    |
| <b>3.1.4. PODER CALÓRICO INFERIOR (P.C.I) .....</b>                             | <b>18</b>    |
| <b>4. POTENCIAL ENERGETICO.....</b>   | <b>20</b>    |
| <b>5. APORTES E IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                          | <b>25</b>    |
| <b>5.1. ECONÓMICOS .....</b>  | <b>25</b>    |
| <b>5.2. SOCIALES.....</b>   | <b>25</b>    |
| <b>5.3. MEDIOAMBIENTALES .....</b>  | <b>26</b>    |
| <b>6. CONCLUSIONES .....</b>  | <b>27</b>    |
| <b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>  | <b>29</b>    |
| <b>8. ANEXOS.....</b>   | <b>.....</b> |

## LISTA DE GRAFICAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Gráfica 1. Análisis próximo base seca de biomasa residual de cultivos energéticos.....</b>      | <b>14</b> |
| <b>Gráfica 2. Análisis elemental en base seca de biomasa residual de cultivos energéticos.....</b> | <b>17</b> |
| <b>Gráfica 3. Análisis Bromatológico de Biomasa Residual de Cultivos Energéticos. ....</b>         | <b>18</b> |
| <b>Gráfica 4. PCI de biomasa residual vegetal de cultivos energéticos y fuentes de carbón.....</b> | <b>19</b> |

## LISTA DE TABLAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabla 1: Rendimientos Energéticos de diferentes fuentes vegetales. ....</b>                            | <b>5</b>  |
| <b>Tabla 2. Entidades en Colombia productoras de B.B para elaboración de biodiesel y bioetanol. ....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Tabla 3. Residuos Generados por cada cultivo. ....</b>   | <b>11</b> |
| <b>Tabla 4. Caracterización Fisicoquímica de La Biomasa Residual Agrícola Cultivos Transitorios. ....</b> | <b>12</b> |
| <b>Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de La Biomasa Residual Agrícola Cultivos Permanentes. ....</b>  | <b>13</b> |
| <b>Tabla 6. Potencial Energético de BRCE por Hectárea. ....</b>   | <b>20</b> |
| <b>Tabla 7. Resultados de PE Jatropha Curcas. ....</b>  | <b>22</b> |
| <b>Tabla 8: Resultados de PE para Higuera. ....</b>   | <b>22</b> |
| <b>Tabla 9: Resultados de PE para Higuera. ....</b>   | <b>23</b> |
| <b>Tabla 10: Resultados de PE para Yuca Amarga. ....</b>  | <b>23</b> |
| <b>Tabla 11: Resultados de PE para Remolacha Forrajera. ....</b>  | <b>24</b> |

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1. Condiciones Edafoclimáticas aptas para:**

- **Higuerilla**
- **Jatropha curcas**
- **Remolacha forrajera**
- **Yuca amarga**

**Anexo 2. Porcentaje de Poder Calórico Inferior PCI (Kj/Kg) de biomasa residual respecto a una fuente de carbón**

**Anexo 3. Diferentes fuentes de carbono con su poder calorífico.**

## RESUMEN

**TITULO: EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE BIOMASA RESIDUAL PROVENIENTE DE CULTIVOS ENERGETICOS\***

**AUTOR: OSCAR FERNANDO CORREDOR BECERRA. \*\***

**PALABRAS CLAVES:** Potencial Energético, Poder Calórico Inferior (P.C.I), Biomasa Residual, Jatropha, Higuierilla, Yuca Amarga, Remolacha Forrajera.

En este trabajo se efectuó un estudio de las potencialidades energéticas de biomasa residual proveniente de cultivos energéticos , los cuales crecen en Colombia, con valores energéticos apreciables ; desconociendo el aporte complementario de energía disponible que pudiese proveer la biomasa residual procedente de los siguientes cultivos energéticos(C.E): Jatropha Curcas , Higuierilla, Yuca Amarga, Remolacha Forrajera; demostrándose mediante la presente investigación las potencialidades energéticas de biomasa residual proveniente de estos cultivos energéticos como una alternativa para el desarrollo energético sostenible, permitiendo la producción de nuevos combustibles renovables: biodiesel a partir del aceite vegetal (éste no comestible)obtenido de plantas oleaginosas como la Jatropha Curcas y La Higuierilla ;bioetanol a partir Remolacha Forrajera y Yuca Amarga(Especies no comestibles) y biomasa residual de dichos cultivos como : cáscaras del fruto, pericarpios o cascarillas de semillas, tortas residuales de la extracción del aceite , madera(tallos de podas) combustibles; a la vez que contribuyen a importantes soluciones ambientales: mejoramiento y conservación de suelos, incremento de la biodiversidad a través de reforestación; y mitigación de las emisiones de gases contaminantes, representan cantidades apreciables de energía lista a ser aprovechada mostrando así que en materia de biocombustibles Colombia tiene condiciones edafoclimáticas aptas y zonas que deben ser tecnificadas, junto con un manejo adecuado de la BRCE abren un enorme campo de oportunidades tecnológicas, económicas y políticas para el mejor aprovechamiento de la biomasa residual en el país.

\*Proyecto de Grado.

\*\*Facultad: Físico-Química. Escuela:Ingeniería Química.

Director: Ph.D. HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ

## ABSTRACT

**TITLE: EVALUATION OF THE ENERGETIC POTENTIAL FROM WASTE BIOMASS ENERGY CROPS \***

**AUTHOR: OSCAR FERNANDO CORREDOR BECERRA. \*\***

**KEYWORDS: Energetic Potential, Lower Calorific Power (P.C.I), Waste Biomass Energy Crops, Jatropha, Higuierilla, Yuca Amarga, Remolacha Forrajera.**

This work have conducted a study of the potential energy from waste biomass energy crops, which are growing in Colombia, with appreciable energy values, ignoring the contribution of additional energy available that could provide the biomass residual from the following energy crops ( CE): Jatropha curcas, Higuierilla, Yuca amarga, Remolacha Forrajera; demonstrated through this research the potential of biomass energy from these residual energy crops as an alternative for sustainable energy development, enabling the production of new renewable fuels: biodiesel from vegetable oil obtained from oilseed plants such as Jatropha curcas and Higuierilla bioethanol from Remolacha Forrajera, Yuca Amarga and residual biomass crops such as, seed ,shell, Cakes residual oil extraction, wood , while contributing to significant solutions to environmental improvement and soil conservation, increased biodiversity through reforestation and mitigation of emissions of polluting gases Represent substantial amounts of energy to be harnessed list showing the CE as promising for production of clean energy.

The research shows that in terms of biofuels Colombia has an edafoclimatic conditions suitable conditions and areas to be Technified, along with a proper handling of BRCE open a huge field of technological opportunities, and economic policies for better utilization of biomass waste in the country.

\*Degree Project.

\*\*Physic-Chemical Faculty: Chemical Engineering School.  
Director:Ph.D.HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad un 87% de la energía proviene de fuentes no renovables; en el año 2005, el consumo mundial de energía primaria llegó a los 465.2 cuatrillones de BTU (alcanzando una tasa de crecimiento promedio anual del 1.9% en los últimos 10 años), con una participación del 5.9% de las fuentes renovables [U.P.M.E.-2003]. Lo anterior evidencia la necesidad, a nivel mundial, de buscar otras formas de energía, como la eólica, la solar y la contenida en la biomasa. El aporte al calentamiento global ocasionado por las emisiones de la combustión de la biomasa es neutral, debido a que el CO<sub>2</sub>, que los cultivos energéticos tomaron cuando crecían regresa a la atmósfera para un balance cero. Por consiguiente, la biomasa es una alternativa de producción de energía-limpia, y puede llegar a convertirse en una fuente atractiva para ser aprovechada energéticamente.

La Ley colombiana 697 de 2001 denomina fuentes energéticas no convencionales de energía, aquellas que se encuentran disponibles, pero que son empleadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal; los subproductos provenientes de transformaciones físicas, químicas de la materia orgánica reciben el nombre de Biomasa Residual (B.R); La biomasa tiene energía solar almacenada, en los enlaces químicos de sus moléculas, que puede liberarse en forma de energía química al romper los enlaces carbonos - hidrógenos - oxígenos mediante procesos biológicos o termoquímicos. [McKENDRY (2001a)]. La biomasa ha sido utilizada durante cientos de años por la humanidad como fuente base de energía, su aprovechamiento se ha realizado de manera directa, por medio de la combustión, sin tener en cuenta otras posibles rutas de aprovechamiento energético como: Pirolisis, Gasificación, Digestión anaerobia entre otras, por medio de las cuales se pueden obtener gases con alto poder calorífico, hidrocarburos y o biocombustibles como el etanol o biodiesel.

Mediante procesos de digestión, combustión o descomposición natural, se convierte la energía química presente en la biomasa, en energía calorífica. La biomasa tiene bajo contenido de carbono y azufre, un elevado contenido de oxígeno y de compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presencia de  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ ) responsables de su poder calorífico. El poder calorífico de la biomasa oscila entre 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos lignocelulósicos.[ENERGIAS RENOVABLES SECRETARIA DE ENERGIA DE ARGENTINA-PRODUCCION DE ENERGIAS RENOVABLES-BIOMASA] La Biomasa Base (B.B) procede de la materia orgánica formada por organismos autótrofos, y que llevan a cabo el proceso de fotosíntesis. De la B.B hace parte la biomasa procedente del sector vegetal, como son los diferentes tipos de residuos. Otro tipo de biomasa es la producida por organismos heterótrofos, los cuales toman como parte de su alimento B.B generando, por transformaciones biológicas y químicas, un nuevo tipo de biomasa de naturaleza diferente a la inicial.

La biomasa que se genera durante el uso de cultivos para la producción de biocombustibles, se la conoce como Biomasa Residual Vegetal de Cultivos Energéticos (B.R.V.C.E); en ella se diferencian dos tipos: los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) y los Residuos Agrícolas Industriales (RAI).

La B.R.V.C.E puede ser aprovechada como combustible sólido para la conversión energética por medio de procesos termoquímicos o biológicos donde sus principales productos son los biocombustibles y el biogás. [McKENDRY (2001), 2].

La selección del tipo de aprovechamiento energético y las dificultades que se puedan presentar en cualquier tratamiento posterior dependen de las propiedades fisicoquímicas, Bioquímicas y energéticas del residuo, por lo cual en el uso de determinada tecnología es de vital importancia realizar la caracterización de la BR. Para el uso de biomasa seca (contenido de humedad menor al 50%) por medio

de procesos termoquímicos se recomienda conocer: el contenido de humedad, proporciones de carbono fijo y volátiles, valor calorífico, metales alcalinos y contenido de cenizas; mientras que para el aprovechamiento de la biomasa húmeda (mayor al 50%) por medio de la bioconversión son de interés el contenido de humedad y la relación celulosa y lignina. [McKENDRY (2001), 1].

Una forma clásica de caracterizar este tipo de residuos es a partir del análisis inmediato (humedad, carbono fijo, volátiles, cenizas) y del análisis elemental (C, O, N, H, S), además a partir del análisis elemental se pueden establecer los balances de materia y el alcance de algunos efectos ambientales.

Las características fisicoquímicas de los RAC y RAI, los cataloga como excelentes fuentes promisorias de energía. V KIRUBAKARAN et AL (2007), realizaron las caracterizaciones fisicoquímicas de Cascara de arroz, Cascara de coco, Rastrojo de Maíz, con el fin de estudiar el uso de esta biomasa en procesos de gasificación termoquímica. Estos residuos presentaron altos valores en porcentaje en peso con promedios de: material volátil (83,8), poder calorífico superior [Mj/Kg] (19,67), porcentaje de cenizas (0,8), contenido de humedad (12,2).

Mostrando de esta manera que fuentes de biomasa residual vegetal pueden ser un alimento importante para el desarrollo de tecnologías como la gasificación, debido a su poco contenido de humedad, un bajo porcentaje de cenizas lo que significa que se producirá una disminución proporcional en la producción de  $SO_x$ ; poderes calóricos apreciables, alto contenido de material volátil, incrementos en estos dos últimos parámetros se ven reflejados en la alta energía calórica contenida en el gas; sin olvidar lo más importante, producción de energía a partir de fuentes renovables.

Colombia gracias a su posición geográfica y variedad de climas, posee una gran oferta en su vegetación, entre especies forestales (Acacias, Robles, Cedros, etc.)

y cultivos agrícolas (Arroz, Maíz, Banano, Plátano, Café, Caña de azúcar y palma de Aceite, entre muchos otros mas), de los cuales se han destinado para la producción de biocombustibles la caña de azúcar y la palma de aceite, pues son las agrocadenas más desarrolladas desde el punto de vista técnico, económico y social. Desafortunadamente el uso de cultivos agrícolas para la producción de biocombustibles ha llevado a un incremento en los precios de la canasta familiar, sobre todo en productos generados por estos cultivos como azúcar y aceite de palma incluyendo sus derivados. Es necesario investigar sobre la obtención de Etanol- Carburante y Biodiesel a partir de B.B de Cultivos No Tradicionales (CNT) como: la Jatropha curcas, la Higuera, la Yuca amarga y la Remolacha forrajera. Los requerimientos edafoclimáticos de los CNT son menos exigentes que para el maíz, la caña de azúcar o palma de aceite. Los CNT pueden ser cosechados en zonas marginales del país. Se ha establecido que para la producción de 1 Lt de biodiesel o etanol a partir de CNT(Jatropha, Higuera, Yuca Amarga, Remolacha Forrajera) se genera un promedio aproximado de 10 Kg de residuos, que por su naturaleza biomásica podrían contener un apreciable PE recuperable en una cadena productiva industrial.

Teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible de biocombustibles, numerosos cultivos energéticos han sido propuestos y están siendo investigados a nivel mundial como fuentes de energía renovables [Energy research Centre of the Netherlands- Phyllis\* <http://www.ecn.nl/Phyllis>; algunos autores como ([McKENDRY (2001)], citan las características que deben tener los Cultivos Energéticos para ser postulados como ideales, las cuales son:

- Producción apreciable de biomasa residual por hectárea.
- Requerimientos energéticos relativamente bajos para su producción.
- Bajo costo.
- Requerimientos relativamente bajos de nutrientes.

Las características enunciadas anteriormente pueden variar dependiendo de las condiciones edafoclimáticas de la región de desarrollo del cultivo en un país determinado. Para la producción de biocombustibles en Colombia se utilizan distintas fuentes de B.B como materia prima, a su vez el ministerio de agricultura propone una serie de cultivos energéticos basados en los rendimientos más altos de los últimos años (2007-2008) dados en (l/ha/año); Los cuales se clasifican para producción de Biodiesel (A partir de transesterificación de aceites provenientes de plantas oleaginosas) y Bioetanol (A partir de Fermentación de almidones y azucares vegetales para producción de etanol de cultivos energéticos) Ver tabla 1:

| BIO DIESEL         |                        | BIO ETANOL        |                        |
|--------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| Cultivo            | Rendimiento (l/ha/año) | Cultivo           | Rendimiento (l/ha/año) |
| Palma              | 5.550                  | Caña              | 9.000                  |
| Cocotero           | 4.200                  | <b>REMOLACHA.</b> | <b>5.000</b>           |
| <b>HIGUERILLA.</b> | <b>2.600</b>           | <b>YUCA.</b>      | <b>4.500</b>           |
| Aguacate           | 2.460                  | Sorgo dulce       | 4.400                  |
| <b>JATROPHA.</b>   | <b>1.559</b>           | Maíz              | 3.200                  |
| Colza              | 1.100                  |                   |                        |
| Soya               | 840                    |                   |                        |

Ministerio De Agricultura Colombia.-2008.;PAG : [www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx](http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx)

Tabla 1: Rendimientos Energéticos de diferentes fuentes vegetales.

La implementación del Plan Nacional de Energía 2006-2025, que incluyen la producción de biocombustibles a partir de cultivos energéticos, se espera el aprovechamiento y recuperación de territorios marginales o degradados, no afectando zonas protegidas-bosques y selvas, generando progreso en estas zonas.

El Potencial Energético se define como la energía lumínica que toma la biomasa del sol para ser transformada en energía química, mediante reacciones

enzimáticas que la almacenan en sus enlaces químicos. Esta energía química contenida en la biomasa, puede ser transformada en energía calórica por medio de algunas de las vías de aprovechamiento anteriormente nombradas.

La evaluación del PE de diferentes fuentes renovables se realiza mediante el desarrollo de modelos matemáticos [PERERA, et al, 2005; RAVINDRANATH, et al, 2005; SKOULO y ZABANIOTOU, 2007; FLORA y RIAHI-NEZHAD, 2006; SAJJAKULNUKIT, et al, 2005].

China, India, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia han realizado estudios para evaluar el P.E de la biomasa residual vegetal, agrícola, del estiércol animal y de los residuos sólidos urbanos [BHATTACHARYA, et al, 2005 (1)]. Los resultados de estas investigaciones, han permitido realizar proyecciones de disponibilidad de potencial Energético hasta el año 2010. En la región de Navarra (España) se elaboró la cartografía que muestra la producción energética potencial de los residuos agroforestales, con el fin de identificar zonas posibles para la ubicación de plantas de aprovechamiento de biomasa, [DOMINGUEZ, et al, 2003]. En Estados Unidos se construyó el atlas de los recursos energéticos renovables, contabilizando el P.E. de la BR, tomando como muestra representativa en rellenos sanitarios, estiércol animal, residuos forestales y de cosecha de cultivos como el maíz, trigo y cebada [THE HEWLETT FOUNDATION AND THE ENERGY FOUNDATION, 2002]. Brasil se ha interesado en la evaluación del PE de los residuos agrícolas de Paraná; con el fin de buscar suplir algunas necesidades energéticas que tiene esta región [SOUZA, et al, 2002].

En general los modelos matemáticos planteados para evaluar el PE se definen como:

$$PE = Masa_{Residuo} \cdot ContenidoEnergético_{Residuo}$$

Los diferentes modelos propuestos difieren en la forma de expresar la masa de residuo, la cual depende del tipo de biomasa bajo estudio.

El Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) desarrolló un modelo matemático, para calcular el PE de la Biomasa Vegetal [Escalante et al 2008], en el cual se analizó la importancia del contenido de humedad del residuo al momento de definir su aprovechamiento industrial. La principal aplicación energética de la BRCE son los procesos termoquímicos de combustión; cuya eficiencia depende del contenido de humedad, del valor calorífico, de la relación carbono fijo y volátiles, del contenido de cenizas y de metales alcalinos, [McKENDRY, (2001; 1)].

En el modelo para calcular el PE, desarrollado por Escalante y col., la masa de biomasa residual se definió como función de: área del cultivo potencialmente apta (A), rendimiento del cultivo (Re), cantidad de residuos generados ( $F_{p-ei}$ ) y contenido de humedad ( $F_{hi}$ ). Por lo anterior el modelo se define como:

$$PE_{(B.R.V.C.E)TEORICO} = \alpha * \sum_{i=1}^n A_i * Re_i \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^m f_{p-e_{k,j}} * fh_{k,j} * PCI_{k,j} \quad (1)$$

Donde:

- A : área teórica del cultivo
- Re : rendimiento del cultivo
- ( $f_{p-e}$ ) : factor de residuo generado
- ( $F_h$ ) : factor de contenido de humedad.
- PCI : poder calórica Inferior.

En la ecuación 1 el contador  $k$  hace referencia a los dos grupos de residuos a considerar; mientras que el contador  $j$  se refiere a cada uno de los residuos identificados para el cultivo  $i$ .

## 2. METODOLOGIA

Con base en la definición de cultivo energético ideal [McKENDRY 2001], y en los criterios de la sostenibilidad ambiental y social de los biocombustibles [CONPES;2008], los cuales involucran: a) no competir con alimentos, b) Aprovechar y Recuperar Territorios Marginales o Degradados, c) No afectar zonas Protegidas y d) Apostar a paradigmas productivos alternativos, en el presente estudio se seleccionó como muestra representativa de cultivos energéticos-promisorios: la Jatropha, la Higuera, la remolacha, y la Yuca. Se identificaron en el país las principales entidades dedicadas al cultivo de las especies seleccionadas (ver tabla 2); quienes suministraron la información concerniente al volumen de producción, tipo de residuo generado y muestras representativas de esta biomasa.

| DEPARTAMENTO     | ENTIDAD              | FUENTE DE BIOMASA.   |
|------------------|----------------------|----------------------|
| VALLE DEL CAUCA. | CLAYUCA.             | YUCA-AMARGA.         |
| MEDELLIN.        | HIGUEROIL.           | HIGUERILLA.          |
| META.            | JATROPHA CURCAS S.A. | JATROPHA CURCAS.     |
| BOYACA.          | QUELBIS ROMAN.       | REMOLACHA FORRAJERA. |

Tabla 2. Entidades en Colombia productoras de B.B para elaboración de biodiesel y bioetanol.

Para la caracterización fisicoquímica se realizó un muestreo planificado, de forma que los resultados sean representativos de las condiciones de clima y suelo de las regiones en las cuales se desarrolla cada cultivo. Las muestras se tomaron por duplicado, los análisis se realizaron en el Laboratorio del CEIAM.

Como parámetros esenciales para la caracterización fisicoquímica de la biomasa, con fines de aprovechamiento energético se determinó: el carbono fijo, carbón volátil combustible, Hidrogeno, Azufre, Nitrógeno, Cenizas y Humedad, sólidos

volátiles y el carbono fijo, densidad real, densidad aparente Seca, humedad, cenizas, sólidos totales y sólidos volátiles totales.

El PCI se puede determinar de forma teórica mediante un modelo matemático [CHANGDONG et al, 2002]; sin embargo en este estudio se determinó experimentalmente mediante el uso de una bomba calorimétrica marca BTRS-MODELO 83, en el laboratorio de Ingeniería Metalurgia y Ciencia de los Materiales, de la Universidad Industrial de Santander [UIS].

Para el cálculo de la masa de residuo, según el modelo matemático (ecuación 1), es necesario conocer información sobre áreas potenciales teóricas de siembra, rendimiento del cultivo y factores de generación de residuos. En Colombia no se dispone de grandes extensiones de tierras para el cultivo de especies promisorias; razón por la cual en los anuarios estadísticos agropecuarios y bases de información del ministerio de agricultura, no se encuentra reportada esta información.

Mediante el Mapa de Zonificación Agroecológica de Colombia, suministrado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se identificaron las condiciones edafoclimáticas de desarrollo para cada cultivo. El país tiene 21.5 millones de hectáreas con vocación agrícola, de los cuales 3.7 millones de hectáreas se destinan a la agricultura, entre cultivos transitorios y permanentes. Por otra parte, se dispone de 38,7 millones de hectáreas para uso en ganadería, la mayor parte extensiva, mientras la vocación natural para pastos es sólo de 14.2 millones de hectáreas. Lo anterior indica que en Colombia una tercera parte de la superficie aprovechable está subutilizada en ganadería extensiva, cuando podría estar en agricultura, otra tercera parte está sobreutilizada en agricultura campesina de subsistencia o en pastos y sólo un tercio está adecuadamente utilizado porque su uso corresponde a su vocación natural, especialmente en la ganadería en los Llanos Orientales [REYES POSADA 2007]. Con base en el anterior análisis, para

la selección de las posibles áreas de siembra de los cultivos promisorios de este estudio, se tomo como referencia las unidades agroecológicas con vocación ganadera y con uso de pastoreo extensivo, a las cuales se les aplico un filtro selectivo de las condiciones edafoclimáticas que satisfagan a las requeridas por los cultivos seleccionados (Anexo de Condiciones Edafoclimáticas Optimas CP), encontrando así áreas potenciales teóricas cultivables para cada fuente de biomasa.

Para la definición del factor de generación de residuo, se conto con el apoyo de los productores, centros de investigación de cada sector agrícola, identificando los factores teóricos de producción de los residuos de la agrocadena. Con la información requerida, se creó una base de registros en Excel 2007 donde se realizo el cálculo del PE, de acuerdo al modelo matemático (ecuación 1). El principio el PE se cálculo en base a una hectárea, posteriormente para realizar una oferta energética al país de biomasa residual vegetal de cultivos energéticos, se determino un nuevo PE escogiendo los 3 departamentos en Colombia con los mayores valores del mismo.

### 3. RESULTADOS

En la tabla 3 se presenta la cantidad de biomasa producida por los cultivos seleccionados en este estudio.

| CULTIVO  | RESIDUO GENERADO      | Rendimiento.<br>(kg/ha) | Factor de Residuo | Kg de residuo generado /litro producido de biodiesel ,bioetanol |
|--|-----------------------|-------------------------|-------------------|---|
| <b>Jatropha curcas.</b><br>(Variedad cabo verde) | Cascarilla de semilla | 6730                    | 3,33              | 14,39   |
|  | Torta de Prensado     |                         | 0,62              | 2,68  |
|  | Hojas.                |                         | 4,16              | 17,99   |
| <b>Higuerilla negra jaspeada</b>                 | Cascarilla de semilla | 6000                    | 5,375             | 12,40   |
| <b>Higuerilla Blanca Jaspeada</b>                | Cascarilla de semilla | 7500                    | 2,38              | 6,88  |
| <b>Yuca Amarga.</b>                              | Tallos                | 25000                   | 0,35              | 1,94  |
|  | Ripios                |                         | 0,11              | 0,62  |
| <b>Remolacha forrajera (variedad brigadier).</b> | Pasta                 | 74300                   | 0,067             | 1,00  |
|  | Hojas, tallos         |                         | 0,56              | 8,33  |

Tabla 3. Residuos Generados por cada cultivo.

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE BIOMASA CULTIVOS PROMISORIOS

En la tabla 4 se presenta la caracterización fisicoquímica para los cultivos transitorios y en la tabla 5 para los cultivos permanentes. En la tabla 6 se muestra el análisis en base seca para los dos tipos de cultivo. La caracterización consta de un total de 20 parámetros pertenecientes a los análisis básico, próximo, último, bromatológico y energético.

| CARACTERIZACION DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRICOLA. |              |                       |          |                                  |               |                      |
|--|--------------|-----------------------|----------|----------------------------------|---------------|----------------------|
| TIPO DE ANÁLISIS                                 | Unidades     | CULTIVOS TRANSITORIOS |          |                                  |               | FUENTE DE CARBON     |
|  |              | YUCA (Amarga)         |          | REMOLACHA Forrajera (brigadier). |               | CARBON DEL CERREJON. |
| Análisis Básico                                  |              | RIPIOS                | TALLOS   | PASTA                            | HOJAS, TALLOS |                      |
| Humedad  | % p/p        | 12,87                 | 69,46    | 91,99                            | 92,49         | 8,77                 |
| Sólidos Totales                                  | % p/p        | 87,13                 | 30,54    | 8,01                             | 7,51          | -                    |
| <b>Análisis Próximo en Base Seca</b>             |              |                       |          |                                  |               |                      |
| Material Volátil MV                              | % p/p        | 77,24                 | 69,03    | 69,35                            | 53,36         | 35,55                |
| Carbono Fijo CF                                  | % p/p        | 19,25                 | 25,24    | 15,92                            | 24,54         | 52,77                |
| Cenizas  | % p/p        | 3,51                  | 5,73     | 14,73                            | 22,10         | 10,76                |
| <b>Análisis Último en Base Seca</b>              |              |                       |          |                                  |               |                      |
| Carbono Orgánico Total (COT).                    | % p/p        | 38,21                 | 37,38    | 32,86                            | 29,60         | 73,74                |
| Hidrógeno  | % p/p        | 6,43                  | 6,27     | 5,67                             | 5,22          | 5,30                 |
| Oxígeno  | % p/p        | 50,96                 | 49,81    | 43,82                            | 39,52         | 8,53                 |
| Nitrógeno  | % p/p        | 0,85                  | 0,72     | 2,84                             | 3,13          | 1,18                 |
| Azufre   | % p/p        | 0,04                  | 0,09     | 0,08                             | 0,43          | 0,79                 |
| <b>Análisis Bromatológico</b>                    |              |                       |          |                                  |               |                      |
| Grasa  | % p/p        | 0,73                  | 0,83     | 0,47                             | 0,76          | -                    |
| Proteína   | % p/p        | 5,38                  | 4,25     | 13,31                            | 19,63         | -                    |
| Celulosa   | % p/p        | 5,47                  | 22,21    | 7,28                             | 8,78          | -                    |
| Hemicelulosa                                     | % p/p        | 24,92                 | 19,18    | 12,22                            | 7,38          | -                    |
| Lignina  | % p/p        | 0,00                  | 19,97    | 0,00                             | 3,29          | -                    |
| <b>Otros Parametros</b>                          |              |                       |          |                                  |               |                      |
| Sólidos Volátiles Totales SVT                    | % p/p        | 84,07                 | 28,79    | 6,83                             | 5,85          | -                    |
| Materia Orgánica                                 | % p/p        | 58,07                 | 18,80    | 4,40                             | 3,92          | -                    |
| Relación C/N                                     | Adimensional | 44,95                 | 52,51    | 11,50                            | 9,65          | -                    |
| <b>Análisis Energético en Base Seca</b>          |              |                       |          |                                  |               |                      |
| Poder Calorífico Inferior                        | KJ/kg        | 18179,609             | 1740,677 | 9835,74                          | 9433,925      | 26805,88             |

**Tabla 4.** Caracterización Físicoquímica de La Biomasa Residual Agrícola Cultivos Transitorios.

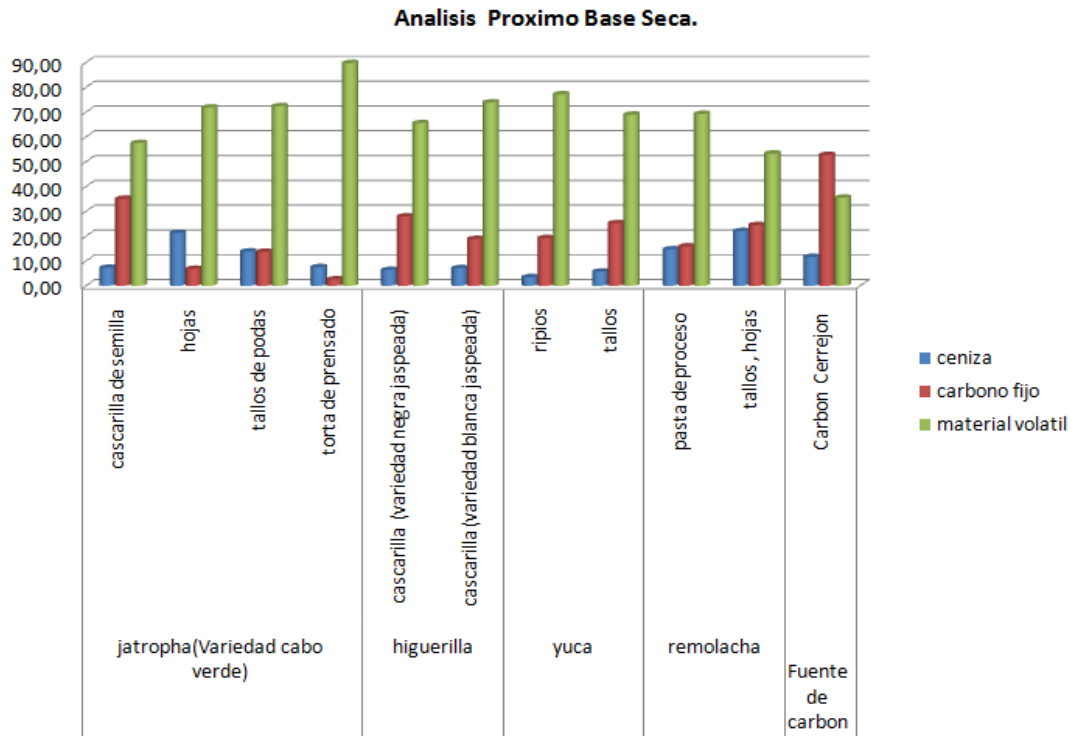
| CARACTERIZACION DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRICOLA |               |                             |       |         |                   |                                |                            |                         |
|---|---------------|-----------------------------|-------|---------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| TIPO DE ANÁLISIS                                | Unidades      | <u>CULTIVOS PERMANENTES</u> |       |         |                   |                                |                            | <u>FUENTE DE CARBON</u> |
|   |               | JATROPHA CURCAS.            |       |         |                   | HIGUERILLA.                    |                            | CARBON DEL CERREJON     |
| Análisis Básico                                 |               | cascarilla                  | hojas | tallos  | torta de prensado | cascara semilla negra jaspeada | cascarilla blanca jaspeada |                         |
| Humedad   | % p/p         | 11,12                       | 42,41 | 89,67   | 44,59             | 12,01                          | 11,92                      | 8,77                    |
| Sólidos Totales                                 | % p/p         | 88,88                       | 57,59 | 10,33   | 55,41             | 87,99                          | 88,08                      | -                       |
| <b>Análisis Próximo en Base Seca</b>            |               |                             |       |         |                   |                                |                            |                         |
| Material Volátil MV                             | % p/p         | 57,58                       | 71,87 | 72,44   | 89,84             | 65,61                          | 73,95                      | 35,55                   |
| Carbono Fijo CF                                 | % p/p         | 35,11                       | 6,82  | 13,72   | 2,62              | 27,97                          | 18,91                      | 52,77                   |
| Cenizas   | % p/p         | 7,30                        | 21,31 | 13,84   | 7,54              | 6,42                           | 7,14                       | 10,46                   |
| <b>Análisis Último en Base Seca</b>             |               |                             |       |         |                   |                                |                            |                         |
| Carbono Orgánico Total(COT)                     | % p/p         | 36,30                       | 30,05 | 33,86   | 35,66             | 36,54                          | 36,63                      | -                       |
| Hidrógeno                                       | % p/p         | 6,19                        | 5,23  | 5,77    | 6,15              | 6,22                           | 6,22                       | 5,30                    |
| Oxígeno   | % p/p         | 48,40                       | 40,06 | 45,11   | 47,55             | 48,72                          | 48,85                      | 8,53                    |
| Nitrógeno                                       | % p/p         | 1,79                        | 3,19  | 1,37    | 3,01              | 1,84                           | 1,65                       | 1,18                    |
| Azufre  | % p/p         | 0,02                        | 0,17  | 0,04    | 0,08              | 0,27                           | 0,22                       | 0,79                    |
| <b>Análisis Bromatológico</b>                   |               |                             |       |         |                   |                                |                            |                         |
| Grasa   | % p/p         | 7,04                        | 4,67  | 1,47    | 68,11             | 0,75                           | 0,56                       | -                       |
| Proteína  | % p/p         | 10,81                       | 19,19 | 8,19    | 18,56             | 11,13                          | 10,44                      | -                       |
| Celulosa  | % p/p         | 40,75                       | 4,81  | 19,90   | 10,72             | 26,35                          | 35,71                      | -                       |
| Hemicelulosa                                    | % p/p         | 6,93                        | 7,72  | 14,59   | 0,00              | 16,14                          | 20,14                      | -                       |
| Lignina   | % p/p         | 3,75                        | 13,30 | 10,71   | 0,00              | 11,19                          | 3,26                       | -                       |
| <b>Otros Parámetros</b>                         |               |                             |       |         |                   |                                |                            |                         |
| Sólidos Volátiles Totales (SVT)                 | % p/p         | 82,39                       | 45,32 | 8,90    | 51,23             | 82,34                          | 81,79                      | -                       |
| Materia Orgánica                                | % p/p         | 53,82                       | 28,73 | 5,96    | 33,67             | 53,89                          | 56,25                      | -                       |
| Relación C/N                                    | Adimensional. | 20,30                       | 9,43  | 25,53   | 11,87             | 19,96                          | 22,18                      | -                       |
| <b>Análisis Energético en Base Seca</b>         |               |                             |       |         |                   |                                |                            |                         |
| Poder Calorífico Inferior                       | kJ/kg         | 22141                       | 18807 | 7935,81 | 5339,699          | 18247                          | 17776,19                   | 26805,88                |

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de La Biomasa Residual Agrícola Cultivos Permanentes.

La biomasa residual agrícola posee humedad muy variada, valores desde el 11,12% hasta 92,99 %. Lo anterior indica que los residuos de Jatropha e Higuierilla (humedad menor de 50 %) se pueden aprovechar por vías térmicas. Por otra parte

los residuos de la Remolacha Forrajera (humedad 92,49%) y la Yuca amarga (humedad 69,46%) pueden tratarse por vía o bioquímicas.

En la grafica 1, se ilustra los valores de las cenizas, material volátil y carbono fijo, reportados en la caracterización de esta biomasa.



**Gráfica 1. Análisis próximo base seca de biomasa residual de cultivos energéticos.**

**3.1.1. Análisis próximo base seca.** El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia solida no combustible por kilogramo de biomasa. El contenido de esta variable en la BRCE incide en la energía disponible de la biomasa y a su vez afecta los costos de procesamiento y transformación de la energía de la misma. En las calderas e intercambiadores las cenizas ocasionan dificultad la transferencia de calor, al actuar como un aislante. [Savitri Garivait et Al; 2007]. En procesos de combustión la ceniza puede reaccionar para formar escoria y reducirse la eficiencia del proceso [Mckendry 1ª].

Para procesos de conversión bioquímica, el residuo sólido representa la cantidad de carbón no-biodegradable presente en la biomasa, Este residuo podría ser mayor que el contenido de ceniza [ Mckendry 1ª]. En la tabla 5 se observa que las cenizas de la BRCE se encuentran desde 3,51 % hasta el 22,10%. Así mismo los residuos de Cascarilla Higuierilla y Cascarilla de Jatropha poseen contenidos de ceniza incluso más bajos que los de un carbón del cerrejón (12%de cenizas) [Rojas A. et Al (2007)].

La energía almacenada en un combustible sólido está almacenada en el Carbón Fijo (CF) y el Material Combustible Volátil (MCV). El mayor contenido de MV y CF representan la facilidad con la cual la biomasa puede ser quemada, gasificada o oxidada [Mckendry 1ª].

El análisis de la BRCE de este estudio se realizó con base en la caracterización fisicoquímica del carbón del cerrejón [Rojas A. et Al (2007)].

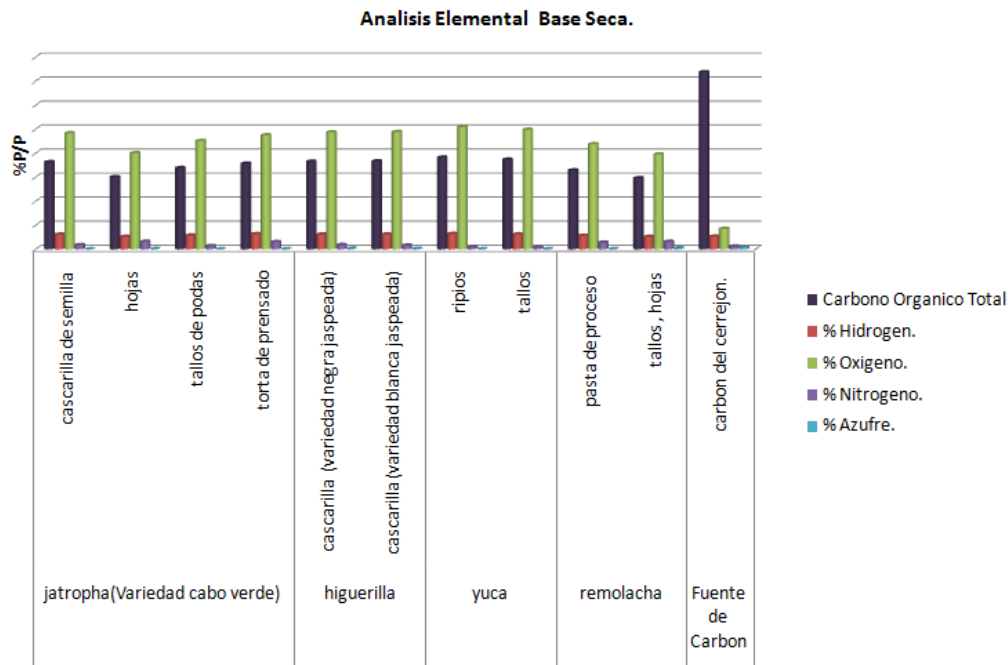
El contenido de MV de un combustible sólido es la porción de materia que es llevada a gas (incluyendo la humedad). En la tabla 4 se observa que el contenido de MV de la BRCE oscila entre valores de 53,36% hasta el 89,84%, lo cual determina que estos residuos pueden ser muy buenos combustibles, ya que un contenido apreciable de MV favorece la velocidad global del proceso, debido a que se desprenderán mas gases en la etapa de pirolisis, proporcionando así una contribución a las velocidades de reacción gas-gas. [Mckendry 1ª].

El contenido de CF es la masa remanente que queda después de haberse consumido el MV, excluyendo la ceniza y el contenido de humedad [Mckendry 1ª]. Un bajo porcentaje de cenizas 7,30(%p/p) y un alto contenido de material volátil 80(%p/p), son las ventajas que tiene la biomasa sobre los combustibles fósiles

como el carbón, haciendo a la biomasa un alimento ideal para procesos como la pirolisis o la gasificación. [Savitri Garivait et al 2007].

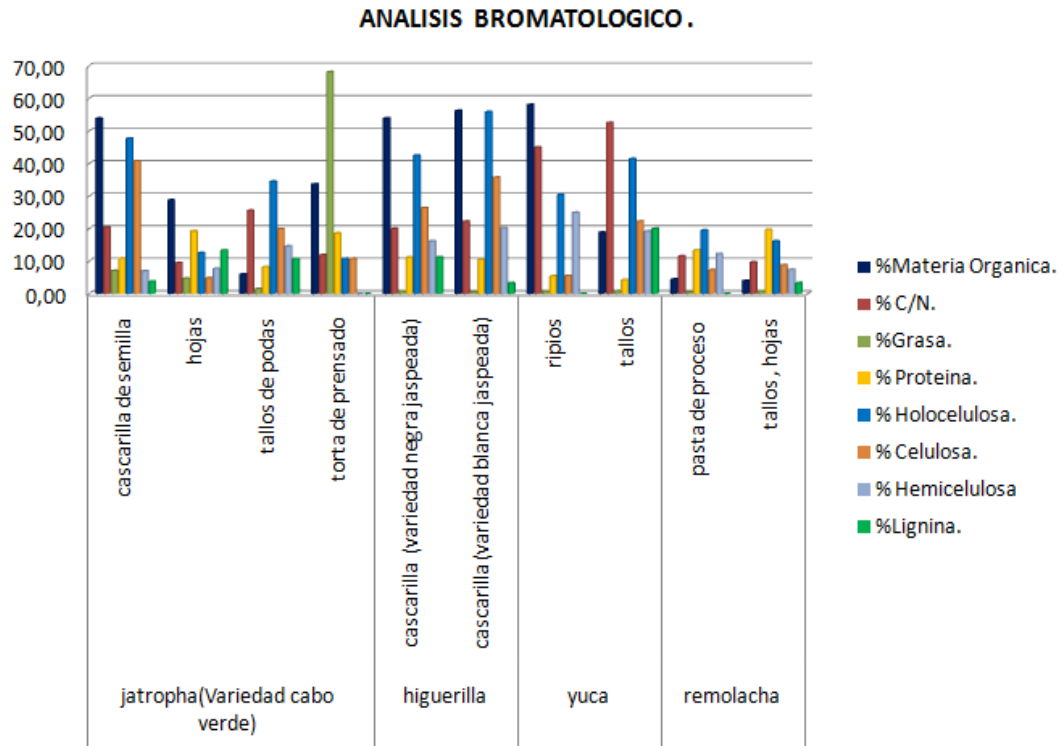
**3.1.2. Análisis elemental.** El Análisis Elemental, determina la composición elemental de cualquier material orgánico, expresada en porcentajes de Carbono Orgánico Total (COT), Hidrógeno, Nitrógeno y azufre. El resultado de este análisis en la biomasa residual permite definir notablemente la tecnología a utilizar para un máximo aprovechamiento. Un elevado contenido de azufre contribuye a la formación de óxidos de azufre ( $SO_x$ ) causantes de lluvia acida y sulfatos transportados en material particulado respirable.

En la grafica 2. se compara el análisis elemental de la biomasa residual proveniente de cultivos energéticos con el carbón del cerrejón, donde se muestra claramente en la BR la alta proporción de oxígeno (50,96%) e hidrogeno (6,43%), respecto a la fuente de carbón mencionada (8,53%-5,30% respectivamente) [Rojas A. et Al (2007)], causando reducción en el valor energético PCI de la fuente de combustible (biomasa residual vegetal), debido a la baja energía química contenida en enlaces tipo carbono-oxigeno y carbono-hidrogeno comparada con la alta energía química contenida en los enlaces tipo carbono-carbono.



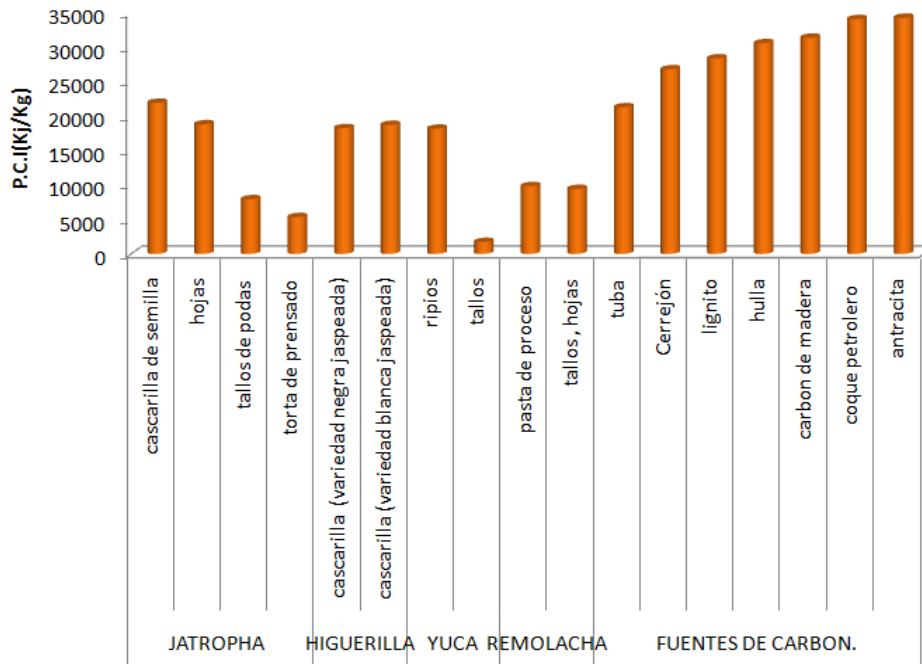
**Gráfica 2. Análisis elemental en base seca de biomasa residual de cultivos energéticos.**

**3.1.3. Análisis bromatológico.** Las proporciones de celulosa y lignina en la biomasa son importantes solamente para los procesos bioquímicos para su aprovechamiento energético. La biodegradabilidad de la celulosa es mayor que la de la lignina, por lo general la conversión del carbono presente como celulosa en el material vegetal es superior que el de las plantas con una mayor proporción de lignina [Mckendry 1<sup>a</sup>]. Siendo un factor determinante en el momento de seleccionar biomasa vegetal para procesos de transformación bioquímicos. El problema asociado al tratamiento de biomasa residual con alto contenido de lignina se debe a que es una molécula polimérica compleja cuya ruptura selectiva en moléculas más pequeñas que puedan utilizarse como biocombustibles es difícil e impredecible con tecnologías desarrolladas hasta la fecha. [NING YAN et al 2008].



**Gráfica 3. Análisis Bromatológico de Biomasa Residual de Cultivos Energéticos.**

**3.1.4. Poder Calórico Inferior (P.C.I).** Para evaluar el PCI de los cultivos energéticos, es necesario comparar con datos de otras fuentes como diferentes tipos de carbón (ANEXO 2-3. DIFERENTES FUENTES DE CARBONO, CON SU PODER CALORÍFICO).



**Gráfica 4. PCI de biomasa residual vegetal de cultivos energéticos y fuentes de carbón.**

Los PCI de los cultivos energéticos son inferiores a los correspondientes de los combustibles fósiles, como el carbón. Los altos contenidos de oxígeno e hidrógeno de los cultivos energéticos inciden en el valor del PCI; los cuales oscilan entre un rango de 7.943,40 KJ hasta 18.735 KJ por kilogramo de biomasa seca.

Los residuos de cascarilla de Higuierilla, Jatropha son los cultivos que poseen los mayores valores de PCI, y contenidos de humedad bajos (12%) lo que los hace aptos para cualquier tecnología de aprovechamiento termoquímico. En el rango medio-bajo de PCI, aproximadamente 9.000 KJ/kg de biomasa seca, se encuentran los residuos de los cultivos energéticos de la Remolacha y la yuca; estos residuos poseen las valores de humedad más altos (60-93)%, haciéndolos aptos para aprovechamiento energético por medio de un proceso bioquímico. Existen fuentes de BRCE que no poseen PCI elevados, esto ocurre debido a su elevado contenido de humedad como la remolacha forrajera haciéndolas alimento apto para tecnologías bioquímicas para producción biogás [Mckendry 1ª].

#### 4. POTENCIAL ENERGETICO

El PE de los cultivos energéticos se calculó, mediante las variables del modelo (ecuación 1). Debido a que estos cultivos son de poca masificación en el país, se evaluó primeramente el PE (MJ/año) por hectárea de cada fuente de BR. Los resultados se presentan en la tabla 6.

| Cultivo                            | BR                    | Tipo de Residuo | Biomasa [kg/año ] | PE [MJ/año] | Total PE por Cultivo [MJ/año] | %PE [MJ/año] |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------------------|--------------|
| <b>Jatropha Curcas.</b>            | Cascarilla de semilla | RAC             | 22.433,33         | 437.715,31  | 754.087,70                    | 45,71        |
|                                    | Torta de Prensado     | RAI             | 4.172,6           | 12.357,39   |                               |              |
|                                    | Hojas                 | RAC             | 28.041 ,66        | 304.015     |                               |              |
| <b>Higuerilla negra jaspeada.</b>  | Cascarilla de semilla | RAC             | 32.250            | 518.286,04  | 518.286,05                    | 31,42        |
| <b>Higuerilla Blanca Jaspeada.</b> | Cascarilla de semilla | RAC             | 17.875            | 294.980,30  | 294.980,31                    | 17,88        |
| <b>Yuca Amarga</b>                 | <b>Tallos</b>         | RAC             | 8.750             | 4.655,97    | 48.693,38                     | 2,95         |
|                                    | <b>Ripios</b>         | RAI             | 2.777,5           | 44.037,40   |                               |              |
| <b>Remolacha Forrajera.</b>        | <b>Pasta</b>          | RAC             | 4978,1            | 3925,71     | 33.458,18                     | 2,028376369  |
|                                    | <b>Hojas, Tallos</b>  | RAC             | 41643,95          | 29532,46    |                               |              |

Tabla 6. Potencial Energético de BRCE por Hectárea.

El P.E calculado en una hectárea para diferentes fuentes de BRCE varía dependiendo de cada una de las variables que hacen del modelo; para la variedades de higuerilla como lo es la negra jaspeada y blanca jaspeada se obtienen potenciales energéticos de 518.286,07 y 294.980,30 Mj /Kg respectivamente, esto se debe a la diferencia entre los factores de residuo y el rendimiento de cada variedad, a pesar de que su caracterización fisicoquímica y PCI son similares, en otras fuentes de BRCE como la Jatropha curcas se aprecia un contenido de humedad bajo (11,12%), alto valor de P.C.I (21.953,00 KJ/kg) generando alrededor de 22.433,33 kg de cascarilla al año estos valores inciden en la obtención de un PE de 437.715,31Mj/ año convirtiéndola en la 3ra fuente de BR con mayor P.E.

Por lo tanto a partir de su caracterización fisicoquímica y sus altos potenciales energéticos obtenidos por hectárea, hacen de fuentes de BRCE como cascarilla de Higuierilla Blanca, Negra jaspeada y Cascarilla de Semillas de Jatropha Curcas materia orgánica potencialmente apta como alimento en usos de tecnologías termoquímicas.

Para hacer una oferta energética al país y brindar la información necesaria para la toma de decisiones sobre la planeación nacional de fuentes energéticas renovables fue necesario establecer valores estimativos de la energía contenida en la biomasa residual vegetal representada en el P.E.(Tj/Kg); se tomaron para cada cultivo energético 3 zonas potencialmente aptas para producción de biomasa las cuales fueron previamente seleccionadas(metodología selección de zonas)como materia prima de bioetanol y biodiesel teniendo en cuenta en su selección los P.E más altos en cada departamento; obteniendo de esta manera los siguientes resultados para cada cultivo:.

|   | Cultivo           | Residuo            | Tipo de Residuo | Área(Ha)    | Departamento | municipio           | Cantidad de Biomasa Tn/año | Potencial Energético TJ/.año |
|---|-------------------|--------------------|-----------------|-------------|--------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | JATROPHA CURCAS . | Cascarilla Semilla | RAC             | 170475,3838 | Casanare     | HATO COROZAL        | 3824331,11                 | 74619,68                     |
|   |                   | Torta de Prensado  | RAI             | 170475,3838 |              |                     | 711325,58                  | 2106,63                      |
|   |                   | Hojas              | RAI             | 170475,3838 |              |                     | 4780413,88                 | 51827,07                     |
| 2 |                   | Cascarilla Semilla | RAC             | 54281,76    | Magdalena    | Sabana de san Ángel | 1217720,94                 | 23759,96                     |
|   |                   | Torta de Prensado  | RAI             | 54281,76    |              |                     | 226496,09                  | 670,78                       |
|   |                   | Hojas              | RAI             | 54281,76    |              |                     | 1522151,17                 | 16502,47                     |
| 3 |                   | Cascarilla Semilla | RAC             | 34265,89    | Córdoba.     | Los Córdobas.       | 768698,20                  | 14998,70                     |
|   |                   | Torta de Prensado  | RAI             | 34265,89    |              |                     | 142977,86                  | 423,43                       |
|   |                   | Hojas              | RAI             | 34265,89    |              |                     | 960872,7528                | 10417,34563                  |

Tabla 7. Resultados de PE Jatropha Curcas.

|   | Cultivo                   | Residuo            | Tipo de Residuo | Área(Ha)    | Departamento | municipio            | Cantidad de Biomasa Tn/año | Potencial Energético TJ/.año |
|---|---------------------------|--------------------|-----------------|-------------|--------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | Higuerilla negra jaspeada | Cascarilla Semilla | RAC             | 170475,3838 | Casanare     | HATO COROZAL         | 5497831,12                 | 88355,01                     |
| 2 |                           |                    |                 | 73364,24    | Arauca       | PUERTO RONDON        | 2365996,91                 | 38023,66                     |
| 3 |                           |                    |                 | 54281,76    | Magdalena    | SABANAS DE SAN ANGEL | 1750586,94                 | 28133,48                     |

Tabla 8: Resultados de PE para Higuerilla.

|   | Cultivo                    | Residuo            | Tipo de Residuo | Área(Ha)    | Departamento | municipio            | Cantidad de Biomasa Tn /año | Potencial Energético TJ/.año |
|---|----------------------------|--------------------|-----------------|-------------|--------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | Higuerilla blanca jaspeada | Casarilla Semilla. | RAC             | 170475,38   | Casanare     | HATO COROZAL         | 3047247,48                  | 50286,88                     |
| 2 |                            |                    |                 | 73364,24542 | Arauca       | PUERTO RONDON        | 1311385,88                  | 21641.                       |
| 3 |                            |                    |                 | 54281,76561 | Magdalena    | SABANAS DE SAN ANGEL | 970286,56                   | 16012,05                     |

Tabla 9: Resultados de PE para Higuerilla.

|   | Cultivo      | Residuo | Tipo de Residuo | Área(Ha)  | Departamento | municipio            | Cantidad de Biomasa Tn /año | Potencial Energético TJ/.año |
|---|--------------|---------|-----------------|-----------|--------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | Yuca Amarga. | Tallos  | RAC             | 170475,38 | Casanare     | HATO COROZAL         | 1491659,60                  | 793,72                       |
|   |              | Ripios  | RAI             | 170475,38 |              |                      | 473495,37                   | 7507,29                      |
| 2 |              | Tallos  | RAC             | 73364,24  | Arauca       | PUERTO RONDON        | 641937,14                   | 341,58                       |
|   |              | Ripios  | RAI             | 73364,24  |              |                      | 203769,19                   | 3230,77                      |
| 3 |              | Tallos  | RAC             | 54281,76  | Magdalena    | SABANAS DE SAN ANGEL | 474965,44                   | 252,73                       |
|   |              | Ripios  | RAI             | 54281,76  |              |                      | 150767,60                   | 2390,42                      |

Tabla 10: Resultados de PE para Yuca Amarga.

|   | Cultivo       | Residuo | Tipo de Residuo | Área(Ha)    | Departamento | municipio    | Cantidad de Biomasa Tn /año | Potencial Energético TJ/.año |
|---|---------------|---------|-----------------|-------------|--------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | remolach<br>a | Pasta   | RAI             | 10798,73    | Cauca        | CALOTO       | 53757,19                    | 42,39                        |
|   |               | Hojas   | RAC             |             |              |              | 449702,13                   | 318,91                       |
| 2 |               | Pasta   | RAI             | 7536,43     | Nariño       | PASTO        | 37517,11                    | 29,58                        |
|   |               | Hojas   | RAC             |             |              |              | 313846,81                   | 222,56                       |
| 3 |               | Pasta   | RAI             | 46370467,72 | Boyacá       | CHIQUINQUIRA | 23083,68                    | 18,20                        |
|   |               | Hojas   | RAC             |             |              |              | 193104,95                   | 136,943                      |
| 4 |               | Pasta   | RAI             | 3807,19     | Cundinamarca | MOSQUERA     | 18952,57                    | 14,94                        |
|   |               | Hojas   | RAC             |             |              |              | 158546,46                   | 112,43                       |

Tabla 11: Resultados de PE para Remolacha Forrajera.

Colombia posee variedad de condiciones edafoclimáticas aptas, variedad de suelos, para incursionar en cuanto a materia de biocombustibles se refiere produciendo cantidades apreciables de BR, esto se puede ver en los 3 departamentos con mayores PE para cada cultivo.

## **5. APORTES E IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Los principales aportes e impactos de agrosistemas forestales de: Higuierilla, *Jatropha Curcas L.*, *Yuca Amarga*, *Remolacha Forrajera* se Pueden enmarcar en beneficios económicos, sociales y medioambientales.

### **5.1. ECONÓMICOS**

El país podrá disponer de nuevos combustibles renovables provenientes de biomasa residual (cáscara, cascarilla, y el aceite vegetal para producir tanto biodiesel como bioetanol), lo que tendrá una influencia positiva en el mejoramiento de la matriz energética, así como posibilitará una mayor diversificación de los combustibles que participan en la economía energética, tanto la biomasa base (B.B) (al aportar nuevos combustibles renovables) como la biomasa residual (B.R). Estas materias primas y sus subproductos (residuos) de los procesos industriales (aceites, glicerol, biomasa residual), pueden tener otros empleos económicos (energía, insecticidas, abono, alimento animal,), de acuerdo con la factibilidad económica, así como generar empleos, desarrollo de agroindustrias, reducción de las importaciones de combustibles y otras materias primas, y generar nuevos rubros exportables.

### **5.2. SOCIALES**

Se puede contribuir a la solución de problemas de la energización rural, como nuevas fuentes de combustible renovable para las cocinas, lámparas de alumbrado, maquinarias, consecuentemente produciendo una mejora en la calidad de vida.

### **5.3. MEDIOAMBIENTALES**

El desarrollo de agrosistemas de: Higuierilla ,*Jatropha Curcas*, *Yuca Amarga*, *Remolacha Forrajera* ,el aprovechamiento de su biomasa, pueden propiciar un aprovechamiento en zonas con vocación Pastoreo extensivo, incremento de las áreas boscosas y frenar la reforestación en los ecosistemas más frágiles, en especial, en las regiones semiáridas y secas no aprovechadas por la agricultura colombiana, regeneración de suelos, el incremento de la biodiversidad, la disminución de las emisiones de gases contaminantes.

## 6. CONCLUSIONES

Colombia posee una gran variedad de cultivos energéticos, entre los cuales se tienen *Jatropha curcas*, Higuera, Yuca Amarga, Remolacha Forrajera los cuales generan aproximadamente 14,98 ton/Ha año de biomasa residual, de la cual fue evaluado su PE mediante el uso de un modelo matemático obteniendo un valor aproximado de 183.278,4 MJ/ año. Mediante la caracterización fisicoquímica efectuada se muestra a la BRCE como una fuente de combustible renovable importante, para su aprovechamiento con el uso de tecnologías termoquímicas o bioquímicas, consecuentemente encontrando a la BRCE como un recurso energético que ha estado siendo subvalorado en usos como abonos y pilas de compostaje debido a que ha sido considerado como un simple residuo sin tener en cuenta su elevado PE, además de la contribución que ofrece, a mitigar la contaminación generada por combustibles fósiles, disminuyendo el aporte de gases causantes del efecto invernadero.

Para hacer una oferta energética al país de BRCE fue necesario establecer unos valores estimativos de energía a partir de las variables contenidas en el modelo, en base a esto al no existir registros de áreas cultivadas en Colombia en anuarios estadísticos, se identificaron zonas potencialmente aptas para el desarrollo de los cultivos energéticos a partir de una metodología de identificación de zonas, obteniendo en Colombia los 3 departamentos que generarían el mayor valor de P.E de BR para *Jatropha* son: Casanare, Magdalena, Córdoba con un valor promedio de 21.702,89 TJ/año; para Higuera variedad Negra y Blanca Jaspeada son: Casanare, Arauca, Magdalena con un valor promedio de 51.504,05 TJ/año y 22.099,64 TJ/año respectivamente; Para Yuca Amarga: Casanare, Arauca, Magdalena Con un Valor Promedio de 2.419,41 TJ/año; Para Remolacha Forrajera: Cauca, Nariño, Boyacá, Cundinamarca un valor promedio de 111,99 TJ/año.

Mostrando así que en materia de biocombustibles Colombia tiene condiciones edafoclimáticas aptas y zonas que deben ser tecnificadas, junto con un manejo adecuado de la BRCE abren un enorme campo de oportunidades tecnológicas, económicas y políticas para el mejor aprovechamiento de la biomasa residual en el país.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN DE CULTIVADORES DE CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. *Informe-Proyecto De Oxigenación De Gasolinas A Escala Nacional*. (2003).

Bhattacharya S.C., Abdul Salam P., Runqing Hu, Somashekar H.I. D.A. Racelis, P.G. Rathnasiri, Rungrawee Yingyuad, *An assessment of the potential for non-plantation biomassresources in selected Asian countries for 2010*. Biomass and Bioenergy, vol 29 pag 153-166 (2005).

CONPES- *Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación*, Bogotá- Colombia enero pág. 5-10 -2008

DASAPPA S., SRIDHAR H.V, SRIDHAR G , MUKUNDA H.S. Biomass gasification –a substitute to fossil fuel for heat application. Biomass and Bioenergy, Vol 25 pag 637-649 (2003)

DOMINGUEZ B. J., CIRIA, P., ESTEBAN, L.S., SÁNCHEZ, D. Lasry, P. *Evaluación de la Biomasa Potencial Como Recurso Energético En la Región De Navarra (España)*, congreso GeoFocus (Informes y Comentarios), Nº3, p. 1-10. ISSN: 1578-5157. (2003)

ESCALANTE H, ORDUZ J, LAVERDE D, ZAPATA H, YEPES I. *Oferta energética de la biomasa residual en Colombia*. Ponencia Seminario Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2008)

ESCALANTE H, ORDUZ J, VIÑA F. *Potencial Energético De La Biomasa Residual Vegetal(BRV) Del Sector Arrocerero En Colombia*. 3 Congreso Internacional de Bioenergía, Curitiba, Brasil, (2008.)

GANI A, NARUSEIC. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. *Renewable Energy*. Vol 32 Pag 649-661 .(2006.)

GARY J,RUSELL C,MAXWELL *Gasification Technologies: The Path To Clean, Affordable Energy In The 21th Century* , Fuel Processing Technology. Vol 71, Pag 79-97 (2001).

GARY J,RUSELL C,MAXWELL *Gasification Technologies: The Path To Clean, Affordable Energy In The 21th Century* , Fuel Processing Technology. Vol 71, Pag 79-97 (2001).

McKENDRY P.; *Energy Production from Biomasa (part 1): Overview of biomasa;* Bioresource Technology. Vol 83.pag 55-63. 2001).

McKENDRY,P. *Energy Production from Biomass (Part 2): Conversion Technologies.* Bioresource Technology, N<sup>o</sup>. 83, p. 47-54, (2002.)

NING YAN, CHEN ZAO, DYSON P., WANG CHEN, LING-TAO LIU, YUAN KUO, *Selective degradation of wood lignin over noble-metal catalysts in a two step process,* ChemSusChem, vol 1 pag 626-629 (2008).

PERERA, K.K.C.K; RATHNASIRI, P.G; SENARATH, S.A.S; SUGATHAPALA, A.G.T; BHATTACHARYA, S.C; ABDUL SALAM, P. *Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka.* Biomass and Bioenergy, vol 29 pag 199–213. (2005)

PHYLLIS, Energy research Centre of the Netherlands.(2008), Database For Biomass And Waste. <http://www.ecn.nl/phyllis>

RAVINDRANATH, N.H; SOMASHEKAR, H.I; NAGARAJA, M.S; SUDHA, P; SANGEETHA, G; BHATTACHARYAB, S.C; ABDUL SALAM, P. Assessment of sustainable non-plantation biomass resources potential for energy in India. *Biomass and Bioenergy* vol 29 pag 622-625 (2005)

ROMAN QUINTERO Q, *La Remolacha Forrajera (beta vulgaris l.) Como Cultivo Energético Y Viable Para La Producción De Bioetanol Carburante En La Sabana De Bogotá - COLOMBIA*, Clepsidra, Vol. 3. ISSN 1900-1355-2

ROJAS A, BARRAZA J *Char morphology characterization from pulverized coals: experimental determination* .Rev.Fac.Ing.Univ.Antioquia Vol. 43 Pag 42-58(2008).

Reyes A. , universidad de Berkeley.USA. *Ponencia: Desigualdad Social y Conflicto: Perspectiva Colombiana*. Seminario de la Serie Houston. Cartagena Pag 221-224(2007).

SECRETARIA DE ENERGÍA, REPÚBLICA DE ARGENTINA; Energías Renovables –Biomasa; Argentina; [http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_biomasa.pdf](http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf) (2004).

SKOULOU, V and ZABANIOTOU, A. *Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production Renewable and Sustainable* .Energy Reviews. vol 11. pag 1698–1719. (2007)

SOUZA Samuel N. SORDI A, *Potencial de Energia Primaria de Resíduos Vegetais no Paraná*. Campinas, CONGRESO Agrener- 4 ° Encontro de Energia no Meio Rural, (2002)

Sotolongo Pérez J, Delgado Beatón P, Díaz García A, Montes S, Valle Y, García Pavón S - *Potencialidades Energéticas y Medioambientales Del Árbol Jatropha curcas en las Condiciones Edafoclimáticas de La Región Semiárida de La Provincia De Guantánamo. Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (CATEDES), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Guantánamo, Cuba- (2008).*

SAVITRI G,\* , UBONWAN C, SUTHUM P ;JITTAWADEE *Physical and Chemical Properties of Thai Biomass Fuels from Agricultural Residues* The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand- Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand Bioresource Technology. Vol 83.pag 79-82. 2001). (2008)

KIRUBAKARAN V, SIVARAMAKRISHNAN V,R. NALINI, SEKAR T., M PREMALATHA, SURAMANIAP *A REVIEW ON GASIFICATION OF BIOMASS.* Renewable y Sustainable Energy Reviews vol 28 pag 612-616 (2007).

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1.CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS APTAS PARA CADA CULTIVO ENERGETICO.

#### **CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS APTAS PARA HIGUERILLA.** **CORPOICA (Institución Estatal De Investigación, Certificación y** **Acompañamiento Al Sector Agropecuario. Nacional).**

##### Temperatura:

| GRID_CODE | CODE_UIS | PISO TÉRMICO | RANGOS DE TEMPERATURA °C | I.F. |
|-----------|----------|--------------|--------------------------|------|
| 1         | 6        | Cálido       | > 24                     | 0.8  |
| 2         | 5        | Templado     | 18 - 24                  | 1    |

Fuente: Mapa de Temperatura. IDEAM. 2006

##### Elevación (Altitud):

| GRID_CODE | ALTITUD MSNM | PISO TÉRMICO RELACIONADO | I.F. |
|-----------|--------------|--------------------------|------|
| 1         | 0 - 800      | Cálido                   | 0.8  |
| 2         | 800 - 1800   | Templado                 | 1    |

Fuente:Modelo Digital de Elevación. IDEAM.2006

##### Precipitación:

| GRID_CODE | PROVINCIA DE HUMEDAD | PRECIPITACIÓN MM ANUALES | I.F. |
|-----------|----------------------|--------------------------|------|
| 2         | Muy Seco             | 500 - 1000               | 0.9  |
| 3         | Seco                 | 1000 - 2000              | 1    |

Fuente: Mapa de precipitación. IDEAM.2006

##### Radiación:

| GRID_CODE | Rango KWh /m <sup>2</sup> | I.F. |
|-----------|---------------------------|------|
| 4         | 4.0 - 4.5                 | 0.92 |
| 5         | 4.5 - 5.0                 | 1    |

Fuente:Mapa de Radiación, IDEAM.2006

##### Textura:

| COD_UIS | TEXTURA | I.F. |
|---------|---------|------|
| 1       | Media   | 0.95 |

Fuente: Adaptación Mapa de Suelos,IGAC. 2006

### Pendiente:

| COD-UIS | CLASE   | PENDIENTE (%) | I.F. |
|---------|---|---------------|------|
| 3       | Moderadamente ondulada a fuertemente ondulada o Ligeramente quebrada a moderadamente quebrada | 7 - 12        | 0.9  |
| 4       | Moderadamente ondulada a fuertemente ondulada o Ligeramente quebrada a moderadamente quebrada | 12 - 25       | 0.90 |

Fuente: Mapa de Unidades Agroecologicas, IGAC. 2006

### Profundidad:

| CLASE DE PROFUNDIDAD DE SUELO | PROFUNDIDAD cm | COD-NUEVO-UIS | I.F. |
|-------------------------------|----------------|---------------|------|
| Moderadamente Profunda        | < 25 -100      | 3             | 0.8  |

Fuente: UIS. Adaptacion del Mapa de Unidades Agroecologicas, IGAC. 2006

### Fertilidad:

| Nuevo-Cód.-UIS | Nueva Clase                | Descripción   | Rango    | I.F  |
|----------------|----------------------------|---|----------|------|
| 3              | Moderada                   | Acidez moderada y contenidos medios nutrientes.   | 5,2-,6,7 | 0    |
| 4              | Alta y Muy Alta            | Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas.  | >6,8     | 0.92 |
| 10             | Moderada a Alta y Muy Alta | Acidez moderada y contenidos medios nutrientes.<br>Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas. | 5,2->6,8 | 1    |

Fuente: UIS-Adaptación del Mapa de Unidades Agroecologicas,2006

**CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS APTAS JATRPFA CURCAS.**  
**CORPOICA (Institución Estatal De Investigación, Certificación y**  
**Acompañamiento Al Sector Agropecuario. Nacional).**

**Temperatura:**

| GRID_CODE | CODE_UIS | PISO TÉRMICO | RANGOS DE TEMPERATURA °C | I.F. |
|-----------|----------|--------------|--------------------------|------|
| 1         | 6        | Cálido       | > 24                     | 0.8  |
| 2         | 5        | Templado     | 18 - 24                  | 1    |

Fuente: Mapa de Temperatura. IDEAM. 2006

**Elevación (Altitud):**

| GRID_CODE | ALTITUD MSNM | PISO TÉRMICO RELACIONADO | I.F. |
|-----------|--------------|--------------------------|------|
| 1         | 0 - 800      | Cálido                   | 0.8  |
| 2         | 800 - 1800   | Templado                 | 1    |

Fuente:Modelo Digital de Elevación. IDEAM.2006

**Precipitación:**

| GRID_CODE | PROVINCIA DE HUMEDAD | PRECIPITACIÓN MM ANUALES | I.F. |
|-----------|----------------------|--------------------------|------|
| 2         | Muy Seco             | 500 - 1000               | 0.9  |
| 3         | Seco                 | 1000 - 2000              | 1    |

Fuente: Mapa de precipitación. IDEAM.2006

**Radiación:**

| GRID_CODE | Rango KWh /m <sup>2</sup> | I.F. |
|-----------|---------------------------|------|
| 4         | 4.0 - 4.5                 | 0.92 |
| 5         | 4.5 - 5.0                 | 1    |

Fuente:Mapa de Radiación, IDEAM.2006

**Textura:**

| COD_UIS | TEXTURA | I.F. |
|---------|---------|------|
| 1       | Media   | 0.95 |
| 2       | Gruesa  | 0.5  |

Fuente: Adaptación Mapa de Suelos,IGAC. 2006

### Pendiente:

| COD-UIS | CLASE   | PENDIENTE (%) | I.F. |
|---------|---|---------------|------|
| 3       | Moderadamente ondulada a fuertemente ondulada o Ligeramente quebrada a moderadamente quebrada | 7 - 12        | 0.9  |
| 4       | Moderadamente ondulada a fuertemente ondulada o Ligeramente quebrada a moderadamente quebrada | 12 - 25       | 0.90 |

Fuente: Mapa de Unidades Agroecológicas, IGAC. 2006

### Profundidad

| CLASE DE PROFUNDIDAD DE SUELO | PROFUNDIDAD cm | COD-NUEVO-UIS | I.F. |
|-------------------------------|----------------|---------------|------|
| Moderadamente Profunda        | < 25 -100      | 3             | 0.8  |

Fuente: UIS. Adaptacion del Mapa de Unidades Agroecológicas, IGAC. 2006

### Fertilidad:

| Nuevo-Cód.-UIS | Nueva Clase                | Descripción   | Rango     | I.F. |
|----------------|----------------------------|---|-----------|------|
| 3              | Moderada                   | Acidez moderada y contenidos medios nutrientes.   | 5,2-,6,7  | 0    |
| 4              | Alta y Muy Alta            | Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas.  | >6,8      | 0.92 |
| 7              | Muy Baja a Alta y Muy Alta | Deficiencia de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fosfatos. Acidez moderada y contenidos medios nutrientes. Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas. | <3,6->6,8 | 0.9  |
| 10             | Moderada a Alta y Muy Alta | Acidez moderada y contenidos medios nutrientes. Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas.  | 5,2->6,8  | 1    |

Fuente: UIS-Adaptación del Mapa de Unidades Agroecológicas, 2006

## **CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS APTAS REMOLACHA FORRAJERA-**

### **VARIEDAD BRIGADIER.**

QUELBIS ROMAN QUINTERO BERTEL C.M.Sc . INGENIERIA AGRICOLA.

Esp. Ciencias Ambientales

#### **Temperatura:**

| GRID_CODE | CODE_UIS | PISO TÉRMICO | RANGOS DE TEMPERATURA °C | I.F. |
|-----------|----------|--------------|--------------------------|------|
| 3         | 4        | Frío         | 12 - 18                  | 0    |
| 4         | 3        | Muy Frío     | 6 - 12                   | 0    |

Fuente: Mapa de Temperatura. IDEAM. 2006

#### **Elevación (Altitud):**

| GRID_CODE | ALTITUD MSNM | PISO TÉRMICO RELACIONADO | I.F. |
|-----------|--------------|--------------------------|------|
| 3         | 1800 - 2800  | Frío                     | 0    |
| 4         | 2800 - 3700  | Muy Frío                 | 0    |

Fuente: Modelo Digital de Elevación. IDEAM.2006

#### **Precipitación:**

| GRID_CODE | PROVINCIA DE HUMEDAD | PRECIPITACIÓN MM ANUALES | I.F. |
|-----------|----------------------|--------------------------|------|
| 3         | Seco                 | 1000 - 2000              | 1    |
| 4         | Húmedo               | 2000 - 3000              | 0.8  |

Fuente: Mapa de precipitación. IDEAM.2006

#### **Radiación:**

| GRID_CODE | Rango KWh /m <sup>2</sup> | I.F. |
|-----------|---------------------------|------|
| 4         | 4.0 - 4.5                 | 0.92 |
| 5         | 4.5 - 5.0                 | 1    |

Fuente:Mapa de Radiación, IDEAM.2006

#### **Textura:**

| COD_UIS | TEXTURA | I.F. |
|---------|---------|------|
| 1       | Media   | 0.95 |

Fuente: Adaptación Mapa de Suelos,IGAC. 2006

### Pendiente:

| COD-UIS | CLASE   | PENDIENTE (%) | I.F. |
|---------|---|---------------|------|
| 1       | A nivel, ligeramente plana a ligeramente ondulada   | 0 - 3         | 1    |
| 2       | A nivel, ligeramente plana a ligeramente ondulada   | 3 - 7         | 0.95 |
| 3       | Moderadamente ondulada a fuertemente ondulada o Ligeramente quebrada a moderadamente quebrada | 7 - 12        | 0.9  |

Fuente: Mapa de Unidades Agroecológicas, IGAC. 2006

### Profundidad

| CLASE DE PROFUNDIDAD DE SUELO | PROFUNDIDAD cm | COD-NUEVO-UIS | I.F. |
|-------------------------------|----------------|---------------|------|
| Moderadamente Profunda        | < 25 -100      | 3             | 0.8  |

Fuente: UIS. Adaptación del Mapa de Unidades Agroecológicas, IGAC. 2006

### Fertilidad:

| Nuevo-Cód.-UIS | Nueva Clase                | Descripción   | Rango     | I.F  |
|----------------|----------------------------|---|-----------|------|
| 4              | Alta y Muy Alta            | Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas.  | >6,8      | 0.92 |
| 7              | Muy Baja a Alta y Muy Alta | Deficiencia de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fosfatos. Acidez moderada y contenidos medios nutrientes. Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas. | <3,6->6,8 | 0.9  |
| 10             | Moderada a Alta y Muy Alta | Acidez moderada y contenidos medios nutrientes. Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas.  | 5,2->6,8  | 1    |

Fuente: UIS-Adaptación del Mapa de Unidades Agroecológicas,2006

## **CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS APTAS YUCA AMARGA.**

### **CIAT (Centro Internacional De Agricultura Tropical)-Clayuca.**

#### **Temperatura:**

| GRID_CODE | CODE_UIS | PISO TÉRMICO | RANGOS DE TEMPERATURA °C | I.F. |
|-----------|----------|--------------|--------------------------|------|
| 2         | 5        | Templado     | 18 - 24                  | 1    |
| 3         | 4        | Frío         | 12 - 18                  | 0    |

Fuente: Mapa de Temperatura. IDEAM. 2006

#### **Elevación (Altitud):**

| GRID_CODE | ALTITUD MSNM | PISO TÉRMICO RELACIONADO | I.F. |
|-----------|--------------|--------------------------|------|
| 2         | 800 - 1800   | Templado                 | 1    |
| 3         | 1800 - 2800  | Frío                     | 0    |

Fuente:Modelo Digital de Elevación. IDEAM.2006

#### **Precipitación:**

| GRID_CODE | PROVINCIA DE HUMEDAD | PRECIPITACIÓN MM ANUALES | I.F. |
|-----------|----------------------|--------------------------|------|
| 2         | Muy Seco             | 500 - 1000               | 0.9  |
| 3         | Seco                 | 1000 - 2000              | 1    |

Fuente: Mapa de precipitación. IDEAM.2006

#### **Radiación:**

| GRID_CODE | Rango KWh /m <sup>2</sup> | I.F. |
|-----------|---------------------------|------|
| 4         | 4.0 - 4.5                 | 0.92 |
| 5         | 4.5 - 5.0                 | 1    |

Fuente:Mapa de Radiación, IDEAM.2006

#### **Textura:**

| COD_UIS | TEXTURA | I.F. |
|---------|---------|------|
| 1       | Media   | 0.95 |
| 3       | Fina    | 1    |

Fuente: Adaptación Mapa de Suelos,IGAC. 2006

### Pendiente:

| COD-UIS | CLASE   | PENDIENTE (%) | I.F. |
|---------|---|---------------|------|
| 1       | A nivel, ligeramente plana a ligeramente ondulada   | 0 - 3         | 1    |
| 2       | A nivel, ligeramente plana a ligeramente ondulada   | 3 - 7         | 0.95 |
| 3       | Moderadamente ondulada a fuertemente ondulada o Ligeramente quebrada a moderadamente quebrada | 7 - 12        | 0.9  |

Fuente: Mapa de Unidades Agroecológicas, IGAC. 2006

### Profundidad

| CLASE DE PROFUNDIDAD DE SUELO | PROFUNDIDAD cm | COD-NUEVO-UIS | I.F. |
|-------------------------------|----------------|---------------|------|
| Superficial                   | < 25 - 50      | 2             | 0.7  |

Fuente: UIS. Adaptación del Mapa de Unidades Agroecológicas, IGAC. 2006

### Fertilidad:

| Nuevo-Cód.-UIS | Nueva Clase                | Descripción   | Rango    | I.F  |
|----------------|----------------------------|---|----------|------|
| 4              | Alta y Muy Alta            | Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas.  | >6,8     | 0.92 |
| 10             | Moderada a Alta y Muy Alta | Acidez moderada y contenidos medios nutrientes.<br>Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas. | 5,2->6,8 | 1    |

Fuente: UIS-Adaptación del Mapa de Unidades Agroecológicas, 2006

**ANEXO 2. PORCENTAJE DE P.C.I.(Kj/Kg) DE BIOMASA RESIDUAL  
RESPECTO A FUENTES DE CARBÓN.**

| Cultivo                      | Residuo                               | % antracita. | % coque petrolero. | %carbón de madera. | % hulla. | %lignito. | %carbón cerrejón. | % tuba. |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------|-----------|-------------------|---------|
| <b>JATROPHA<sup>1</sup></b>  | cascarilla de semilla                 | 64,00        | 64,37              | 69,91              | 71,74    | 77,29     | 81,89             | 103,06  |
|                              | hojas                                 | 54,88        | 55,20              | 59,95              | 61,52    | 66,28     | 70,22             | 88,38   |
|                              | tallos de podas                       | 23,15        | 23,29              | 25,29              | 25,95    | 27,96     | 29,63             | 37,29   |
|                              | torta de prensado                     | 15,58        | 15,67              | 17,02              | 17,46    | 18,81     | 19,93             | 25,09   |
| <b>HIGUERILLA</b>            | cascarilla (variedad negra jaspeada)  | 53,24        | 53,56              | 58,16              | 59,68    | 64,31     | 68,13             | 85,74   |
|                              | cascarilla (variedad blanca jaspeada) | 54,62        | 54,94              | 59,66              | 61,22    | 65,97     | 69,89             | 87,96   |
| <b>YUCA<sup>2</sup></b>      | ripios                                | 53,05        | 53,36              | 57,95              | 59,46    | 64,07     | 67,88             | 85,43   |
|                              | tallos                                | 5,07         | 5,10               | 5,54               | 5,69     | 6,13      | 6,49              | 8,18    |
| <b>REMOLACHA<sup>3</sup></b> | pasta de proceso                      | 28,70        | 28,87              | 31,35              | 32,17    | 34,66     | 36,72             | 46,22   |
|                              | tallos ,<br>hojas                     | 27,53        | 27,69              | 30,07              | 30,85    | 33,24     | 35,22             | 44,33   |

1. Variedad cabo verde.; <sup>2</sup>.variedad amarga.; <sup>3</sup>.Remolacha forrajera brigadier.

**ANEXO 3. DIFERENTES FUENTES DE CARBONO, CON SU PODER CALORÍFICO. [Andrés Felipe Rojas G,\*, Juan Manuel Barraza Burgos].**

| Fuente de Carbono | Poder Calorífico Inferior<br>KJ/kg. |
|-------------------|-------------------------------------|
| Antracita         | 34300                               |
| coque petrolero   | 34100                               |
| carbón de madera  | 31400                               |
| Hulla             | 30600                               |
| Lignito           | 28400                               |
| Cerrejón          | 26805,888                           |
| Tuba              | 21300                               |

| Fuente de Biomasa |                     | Residuo                | Poder Calorífico.[KJ/Kg] |
|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| Cultivo           | Variedad            |                        |                          |
| Jatropha          | Curcas.             | Cascarilla de semilla. | 21.953                   |
|                   |                     | Torta de Prensado.     | 5.344,80                 |
|                   |                     | Tallos de podas.       | 7.943,40                 |
|                   |                     | Hojas.                 | 18.825,39                |
| Higuerilla        | Negra<br>Jaspeada.  | Cascarilla Semillas.   | 18.264,44                |
| Higuerilla        | Blanca<br>Jaspeada. | Cascarilla Semillas.   | 18.735,68                |
| Yuca.             | Amarga.             | Ripios.                | 18.197                   |
| Yuca.             | Amarga.             | Tallos.                | 1.742,34                 |
| Remolacha         | Forrajera.          | Hojas.                 | 9.442,95                 |
| Remolacha.        | Forrajera.          | Pasta.                 | 9845,16                  |