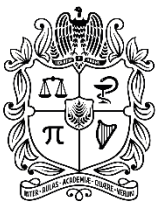


UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Estudio de Sistemas Híbridos De Energía Renovable (solar – gasificación de biomasa) como alternativa para satisfacer necesidades energéticas en Zonas no Interconectadas del Departamento del Chocó

Deybi Brayan Asprilla Mosquera

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2016

Estudio de Sistemas Híbridos De Energía Renovable (solar – gasificación de biomasa) como alternativa para satisfacer necesidades energéticas en Zonas no Interconectadas del Departamento del Chocó

Deybi Brayan Asprilla Mosquera

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Mecánica

Director:
(Ph.D.) Farid Chejne Janna

Grupo de Investigación:
Termodinámica aplicada y energías alternativas (TAYEA)

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2016

*A mi madre **Carmen Mosquera,** que con esfuerzo, dedicación y sacrificio, hizo hasta lo imposible siendo padre y madre y me sacó adelante a pesar de las dificultades.*

El oído que escucha las amonestaciones de la vida, entre los sabios morará. El que tiene en poco la disciplina menosprecia su alma; más el que escucha la corrección tiene entendimiento.

La Biblia (Proverbios 15: 31-32)

Agradecimientos

Gracias primeramente al Dios vivo por su misericordia, bondad, amor y por permitirme llevar este proceso a feliz término.

Agradecimiento muy especial al Ph.D. Farid Chejne Janna, director de esta tesis, por el seguimiento, acompañamiento, amistad, ejemplo y sobre todo por su apoyo incondicional, lo cual ha permitido llevar a cabo este trabajo.

A la Gobernación del Chocó y Colciencias por la financiación de los estudios de posgrado.

A mis padres por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida, especialmente a mi madre, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se puede; a mi hermana que ha sido un apoyo incondicional en este proceso.

A los miembros del grupo de Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas (TAYEA) por el apoyo y la colaboración que me brindaron y al equipo de trabajo asentado en el l Laboratorio Ciencias de la Energía, en especial a Carlos Valdez, Gloria Marrugo, Robert Macías y Javier Ordoñez.

Al Proyecto “Prototipo de generación de energía eléctrica y térmica en núcleos aislados de Iberoamérica mediante hibridación – HIBRELEC”.

A José Humberto Arango quien siempre me brindó su apoyo y me colaboró en la realización de las pruebas experimentales.

Resumen

El uso de las energías renovables nace como alternativa para dar solución a los problemas de interconexión eléctrica que se presenta en el mundo, especialmente en las zonas apartadas debido a su difícil acceso; otra razón importante por la cual implementar este tipo de energías es la disminución de los combustibles fósiles (o fuentes no renovables) que se viene presentando, dentro de los cuales está el petróleo, el carbón y el gas natural; combustibles que por uso son grandes contribuyentes en el incremento progresivo de la temperatura del planeta. La implementación de energías renovables que son amigables con el medio ambiente garantiza un desarrollo sostenible y eficiente.

En Colombia, la cobertura del servicio de energía eléctrica para el año 2011 cubría 11.722.128 usuarios. El 95,8% que equivale a 11.229.000 usuarios tenían acceso al servicio de energía eléctrica; mientras que el 4,2% de la población, equivalente a 493.128 usuarios, los cuales pertenecen a las Zonas No Interconectadas, no tienen acceso al servicio de energía eléctrica (UPME PIEC 2014).

En este trabajo se define un sistema híbrido, constituido por un arreglo de paneles y gasificador de biomasa como fuentes renovables de generación, un motor de combustión interna, un banco de baterías para el almacenamiento de energía e inversores DC/AC. A partir de la propuesta se determinó la disponibilidad del recurso solar y de los recursos de biomasa en el Departamento del Chocó.

Los resultados muestran que la implementación de sistemas híbridos (Solar – Biomasa) constituye un sistema de generación de energía autónomo y complementario, de manera que en ausencia de sol el sistema de gasificación suple la demanda requerida y viceversa, además la disminución en los costos que han venido presentando los equipos de energías renovables son motivantes para proceder con la implementación.

Palabras clave: Energías Renovables, Sistemas híbridos, Energía solar, Gasificación de biomasa, Zonas interconectadas, Zonas No interconectadas.

Abstract

The use of renewable energy is born as an alternative to solve the problems of electrical interconnection that is present in the world, especially in remote areas due to its difficult access; Another important reason why implementing this type of energy is the reduction of fossil fuels (or non-renewable sources) that are being presented, including oil, coal and natural gas; Fuels that by use are great contributors in the progressive increase of the temperature of the planet. The implementation of renewable energies that are friendly to the environment guarantees a sustainable and efficient development.

In Colombia, coverage of the electricity service for 2011 covered 11.722.128 users. 95.8% that equals 11.229.000 users had access to the electric power service; While 4.2% of the population, equivalent to 493.128 users, who belong to Non-Interconnected Zones, do not have access to the electric energy service (UPME PIEC 2014).

This work defines a hybrid system, consisting of a panel arrangement and biomass gasifier as renewable sources of generation, an internal combustion engine, a battery bank for energy storage and DC / AC inverters. From the proposal, the availability of the solar resource and biomass resources in the Department of Chocó was determined.

The results show that the implementation of hybrid systems (Solar - Biomass) constitutes an autonomous and complementary energy generation system, so that in the absence of sun the gasification system supplies the required demand and vice versa, besides the decrease in costs that Have been presenting the renewable energy teams are motivating to proceed with the implementation.

Keywords: Renewable energies, Hybrid systems, solar energy, Biomass gasification, interconnected zones, Non-interconnected zones.

Contenido

Pág.

Resumen IX

Lista de figuras XIII

Lista de tablas XIV

Lista de Símbolos y abreviaturas XV

Introducción 19

1. Generalidades de los Sistemas Híbridos de Energía 24

1.1 Energía solar fotovoltaica……. 25

1.2 Residuos biomásicos..... 26

1.3 Implementacion de un Centro de Investigacion en Energias Renovables en el Departamento del Chocó……29

2. Demanda y oferta Energética en el Departamento del Chocó 31

2.1 Cálculos de energía demandada……. 31

2.2 Evaluación de la Disponibilidad Energética Solar/Biomasa en el Departamento del Chocó……..…32

2.2.1. Evaluación del Recurso Solar…….…….. 32

2.2.2. Evaluación del recurso Biomásico en el Departamento del Chocó……..……..…...3

3. Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica para Zonas No Interconectadas……..……..…...45

3.1 Sistema de limpieza de gases…….....47

3.2 Gasificación de Biomasa……. …..49

3.3 Sincronización del sistema híbrido……...50

3.4 Ensayos Experimentales en planta piloto……...52

4. Conclusiones y recomendaciones.....61

A. Datos de Radiación Solar 67

B. Datos del proceso de gasificación.....77

Bibliografía.....81

Lista de figuras

Pág.

Figura 1 Plantas diesel para la generación de energía eléctrica..... …….21
Figura 2 Fuentes de energía renovables…….……24
Figura 3 Mapa de Radiación Solar Colombia 256
Figura 4 Mapa de Biomasa Colombia.…… ……...……...27
Figura 5 Sistema híbrido de energías renovables……...…….....…....28
Figura 6 Centro de investigación en el Chocó…….…….……...29
Figura 7 Costos y Evolución de las Energías Renovables…….30
Figura 8 Promedios de Radiación Solar en el Departamento del Chocó… ……..…34
Figura 9 Comportamiento Radiación Solar Periodo 2011 -2015……...…..,,.……...35
Figura 10 Temperatura Ambiente Promedio Quibdó-Chocó Periodo 2011 – 2014..…...35
Figura 11 Disponibilidad de Biomasa en el Chocó…….…..…..……38
Figura 12 Biomasa Residual Agrícola en el Chocó y ZNI…….....39
Figura 13 Disponibilidad de biomasa de Cascarilla de Arroz en el Chocó y ZNI…….....40
Figura 14 Disponibilidad de Biomasa de Caña de Azúcar en el Chocó y ZNI…..……....41
Figura 15 Disponibilidad de Biomasa de Maíz en el Chocó y ZNI…...…….……..42
Figura 16 Disponibilidad de Biomasa de Plátano en el Chocó y ZNI…….…....43
Figura 17 Disponibilidad de Biomasa de Palma de aceite en el Chocó y ZNI……..…..44
Figura 18 Sistema híbrido…….…… ……..…….45
Figura 19 Sistema solar fotovoltaico…….…… ……..45
Figura 20 Sistema de gasificación…….…… ……..46
Figura 21 Gasificador Down-Draft…….…… ……..…46
Figura 22 Sistema de limpieza simple……..…... ……..…48
Figura 23 Motor generador para gas pobre …….……...…..……48
Figura 24 Diagrama de conexiones eléctricas..…….……..…..……51
Figura 25 Rendimiento del sistema solar fotovoltaico……..…….……52
Figura 26 Promedio mensual de radiación solar en Medellín……...53
Figura 27 Energía producida por sistema solar fotovoltaico durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre de 2014…….……...53
Figura 28 Etapas del proceso de gasificación…….54
Figura 29 Pruebas de gasificación de cascarilla en lecho fijo Dawn-Draft…….55
Figura 30 Evolución de la temperatura (°C) en las diferentes zonas del reactor Dawn-Draft encendido…….…… 55

Figura 31 Composición de gases producto de la gasificación…..…….……56
Figura 32 Evolución del poder calorífico……..…….…....57
Figura 33. Implementación de sistemas de acuerdo a sus potenciales……...58

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 Municipios con cobertura deficiente de SIN en el Chocó…..... ……20
Tabla 2 Trabajos realizados sobre Hibridación……22
Tabla 3 Análisis de Radiación Solar Global en el Departamento del Chocó.....33
Tabla 4 Resumen del Potencial Energético de Residuos Agrícolas en el Chocó……..37
Tabla 5 Parámetros de diseño del reactor Down-Draft ..... ……..47
Tabla 6 Composición fisicoquímica de la cascarilla de arroz ..... ……..50
Tabla 7 Demanda Energética Corregimiento de Torrá -Nóvita-Chocó……63

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
COLCIENCIAS	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
GREG	Comisión Reguladora de Energía y Gas
ERNC	Energía Renovable no Convencional
ESF	Energía Solar Fotovoltáica
FERN	Fuentes de Energía no Renovables
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
FNCER	Fuentes no Convencionales de Energía Renovable
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Eléctricas para las Zonas no Interconectadas
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PERS	Plan de energización Rural sostenible
SHGEE	Sistemas Híbridos de Generación de Energía Eléctrica
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SPD	Servicios Públicos Domiciliarios
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UIS	Universidad Industrial de Santander
UNAL	Universidad Nacional de Colombia
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
URE	Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
UTCH	Universidad Tecnológica del Chocó
ZI	Zonas Interconectadas
ZNI	Zonas No Interconectadas

Introducción

En el contexto actual, caracterizado por la presencia de importantes avances técnicos, industriales y tecnológicos que se convierten en el marco adecuado para que la sociedad de la información y la comunicación desarrolle sus actividades cotidianas, suelen presentarse complejas dicotomías, dentro de las cuales se destaca especialmente la rivalidad entre la sostenibilidad y el alcance de niveles de desarrollo e implementación de infraestructura tecnológica encaminada a satisfacer las necesidades de las personas que habitan en diferentes lugares del globo terráqueo.

Con el fin de dar respuesta a la rivalidad señalada, surge a mediados de la década del sesenta la teoría de la sostenibilidad, cuyo principal aporte se resume en la necesidad de hacer que todas las actividades humanas presenten el respeto por el medio ambiente, asegurando que las generaciones futuras tengan la oportunidad de disfrutar de los recursos necesarios para su existencia (ONU, 1987). Pese a que a primera vista, esta pareciese ser una tarea sencilla de llevar a cabo, la misma reviste un alto grado de complejidad, especialmente en lo que a la producción energética se refiere.

Vale la pena anotar que, dadas las condiciones en que la sociedad actual desarrolla sus actividades cotidianas, la producción energética se ha convertido en una necesidad fundamental para que los territorios y sus habitantes puedan alcanzar condiciones de calidad de vida dignas. En este escenario, la producción energética se convierte en un factor de desarrollo transversal que determina las posibilidades de acceso a bienes y servicios como la salud, la conectividad, e incluso la disponibilidad segura y permanente de alimentos entre otros, que hoy se consideran indispensables.

Desde el punto de vista energético, el territorio colombiano se encuentra clasificado en Zonas Interconectadas -ZI- y no interconectadas -ZNI-, dependiendo si se tiene o no acceso directo al Sistema Interconectado Nacional -SIN-, el cual consiste en una serie de centrales generadoras, sistemas y redes de distribución conectados entre sí, con el propósito de abastecer de energía a la población ubicada en el territorio nacional. Sin embargo, debido a factores económicos, geográficos y topográficos, entre otros, el SIN no logra dar cobertura a la demanda total del país.

Según lo indica el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas -IPSE-, actualmente en el país existe una considerable porción del territorio que no cuenta con conexión a este sistema; las Zonas No Interconectadas -ZNI- comprenden aproximadamente el 52% del territorio nacional incluyendo 17 departamentos, 5 capitales departamentales, 39 cabeceras municipales y 1.448 localidades; sin embargo, debido a que la porción interconectada corresponde a las zonas de mayor densidad poblacional, el 94% de la población cuenta con una conexión directa al SIN. (Esteve Gómez, 2011).

Pese a contar con invaluables riquezas naturales, el Departamento del Chocó registra hoy indicadores de calidad de vida que se cuentan entre los más precarios del país (Mosquera Murillo, 2012); en alguna medida podría afirmarse que las dificultades de acceso a la energía y la electricidad juegan un rol determinante en esta situación, por cuanto de las mismas dependen directamente asuntos de vital importancia para el desarrollo. En esta región del país, actualmente las ZNI llegan a ser el 35% aproximadamente, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Municipios con cobertura deficiente de SIN en el Chocó

Municipios en el Departamento del Chocó que pertenecen entre el 5% y 95% a las ZNI		
Municipio	**Código**	**%ZNI**
Bagadó	27073	30%
Bajo Baudó (Pizarro)	27077	90%
Cantón De San Pablo	27135	65%
El Carmen	27245	10%
Istmina	27361	9%
Lloró	27413	30%
Condoto	27205	10%
Medio San Juan	27450	20%
Rio Iró	27580	55%
Rio Quito	27600	10%
Unión Panamericana	27810	10%

Fuente: elaboración propia basada en (UPME, 2006)

Los municipios Acandí, Alto Baudó, Bahía Solano, Bojayá, Carmen del Darien, Litoral del San Juan, Medio Atrato, Nuquí, Riosucio, Sipí y Unguía para el año 2005 pertenecían 100% a las zonas no interconectadas (UPME C. D., 2006), sin embargo en la actualidad no se evidencian avances significativos en la interconexión de estas zonas, se muestran que el Departamento del Chocó tiene 12 municipios que pertenecen 100% a las ZNI, y en la mayoría de los municipios se tienen una gran cantidad de zonas que no poseen conexión eléctrica, registrándose el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas y plantas diésel en algunas de estas zonas para tener acceso al servicio eléctrico. Actualmente el Chocó, en cobertura SIN y ZNI según el IPSE para el año 2014, tiene 38 plantas diésel que funcionan en la ZNI (ver figura 1), las cuales subministran energía eléctrica a las comunidades en un periodo de tiempo que oscila entre 2 y 6 horas al día, aunque por la falta de combustible y mantenimiento para dichas plantas diésel pasan hasta más de un año sin el servicio eléctrico. En el sistema interconectado para el año 2010 se tiene una cobertura incipiente no mayor a un 35%.

Figura 1: Plantas diesel para la generación de energía eléctrica

Después de evaluar las anteriores consideraciones, y tomar en cuenta el potencial de recursos con que cuenta el Departamento del Chocó, se decidió realizar una cuantificación del recurso solar y de biomasa con que cuenta el Departamento del chocó, a fin de determinar si el mismo es suficiente para satisfacer suficientemente la necesidad de todos sus pobladores, mediante la implementación de un sistema híbrido que haga uso de la biomasa y la radiación solar como fuentes de energía, para lo cual se realizó una revisión bibliográfica donde se hallaron trabajos muy interesantes (ver tabla 2). De esta manera, el objetivo general de la tesis fue determinar a partir de las cantidades de energía solar y biomasa disponible, así como a los requerimientos técnicos necesarios para el montaje de un sistema de energía híbrido, adicionalmente se determinara el grado de

viabilidad del sistema de energía híbrido que permita dar solución a las necesidades y demandas energéticas evidenciadas actualmente en el Deparamento del Chocó.

Tabla 2. Trabajos realizados sobre Hibridación

Autor(es)	Trabajo	Conclusión
Nathalia Esteve Gómez (2011, UJ)	Energización de las ZNI a partir de las energías renovables solar y eólica	Implementar sistemas híbridos contribuye a alcanzar los objetivos de la política energética nacional presentando alternativas locales de energización.
Jorge Serván Sócola (2014, Perú)	Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red	El sistema híbrido, permitió obtener un resultado de 14.07% para el sistema eólico y de 18.91% para el sistema solar.
Carlos Andrés Sarria(2012, UV)	Simulación de sistemas híbridos fotovoltaico / biogás / propano para generación de energía eléctrica.	Utilizar sistemas híbridos puede ser la mejor opción en el momento de pensar en la implementación de sistemas energéticos.

Para la presentación de los datos y argumentos que son relevantes al objeto de estudio, se ha tomado la decisión de agrupar la información en cuatro capítulos, que de forma ordenada y sistemática permiten dar cuenta de los objetivos planteados, así:

- **Capítulo introductorio:** contiene los aspectos generales para el acercamiento al problema abordado; permite tener un conocimiento aproximado del contexto territorial de referencia, los objetivos y el contenido total del trabajo realizado.

- **Generalidades de los sistemas híbridos de energía:** en esta sección están contenidos los componentes teóricos generales necesarios para la comprensión del trabajo realizado; aspectos como la clasificación y definición de las fuentes de energía el funcionamiento de la energía solar y la biomasa y, las utilizaciones de las mismas para dar abastecimiento energético a una población se encuentran en este segmento.

- **Cálculos de demanda; pruebas de gasificación y radiación solar:** este apartado presenta de manera ordenada y con arreglo a un orden cronológico los cálculos de demanda energética en las ZNI del Departamento del Chocó y resultados obtenidos de las mediciones de radiación solar, disponibilidad y biomasa en el Departamento del Chocó. Para efectos de dichos recursos fueron consultadas las últimas versiones de los atlas de biomasa y radiación solar elaborados por la UPME; adicionalmente se recolectó información disponible en la Estación Meteorológica del Departamento del Chocó.
- **Sistematización y análisis de información:** haciendo uso de un método para la evaluación y análisis del recurso renovable, en este acápite se agrupan los cálculos tendentes a determinar la suficiencia de los recursos solar y de biomasa para implementar un sistema de energía híbrido que permita dar respuesta a la demanda energética de la población chocoana. Para determinar la demanda energética fue tomada en cuenta la información suministrada por la Gran Encuesta Integrada de Hogares, donde puede observarse con qué número y tipo de electrodomésticos cuentan en promedio las viviendas del Departamento.

- **Conclusiones y recomendaciones:** a manera de cierre, esta parte del trabajo plantea las principales conclusiones a las que se llegó después de realizar las pruebas y cálculos necesarios para determinar si los recursos de biomasa y solar con que cuenta el Departamento del Chocó son suficientes para implementar un sistema de energía híbrido que abastezca a toda su población. Como valor agregado al trabajo, se presentan una serie de recomendaciones técnicas a ser tenidas en cuenta para el montaje de plantas generadoras de Energía Renovable No Convencional -ERNC-

1 Generalidades de los Sistemas Híbridos de Energía

La producción energética es, como se ha venido afirmando, una actividad indispensable para la atención de necesidades básicas de las personas y comunidades, así como para la generación de condiciones de desarrollo y calidad de vida en los territorios; pero dependiendo de las fuentes y procesos de generación de energía, esta actividad puede llegar a ser altamente contaminante o hacer uso irracional y dañino de los recursos naturales.

Las fuentes de producción de energía se clasifican en dos tipos: renovables y no renovables (ver figura 1). En cuanto a las primeras, puede afirmarse que son producidas de forma continua, y bien sea por la acción espontánea de la naturaleza o por la intervención del hombre pueden ser renovadas en el corto plazo; la biomasa, la energía eólica y la radiación solar, son entre otras fuentes de energía renovables. Las segundas o no renovables, son aquellas que dadas sus características requieren de un largo tiempo para ser producidas; no obstante, son consumidas con prontitud; un ejemplo de ello son los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural, que actualmente se constituyen en la fuente de energía más utilizada en el planeta.

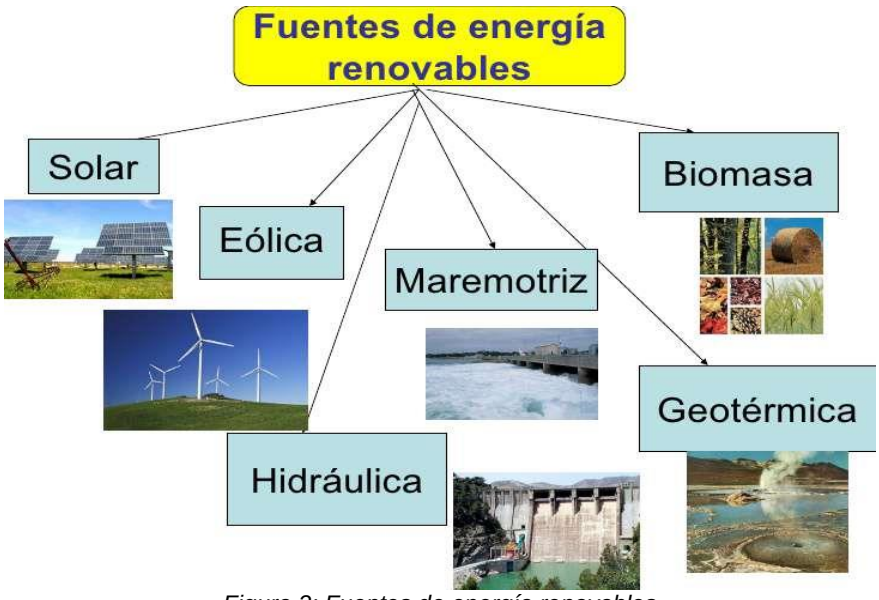


Figura 2: Fuentes de energía renovables

1.1 Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos, en los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los 50, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable.

Aunque la generación de energía fotovoltáica se constituye en una de las principales y mas llamativas alternativas de solución frente al suministro energético en las ZNI, en regiones húmedas como el Chocó, esta ve afectada porque la alta nubosidad no permite que los rayos solares penetren de forma directa, por tanto, no se da un satisfactorio aprovechamiento de la energía contenida en los mismos. En situaciones como esta, para lograr una producción energética estable y confiable, se recomienda que simultáneamente a la luz solar sean implementadas otras formas de generación energética, creando un sistema híbrido capaz de responder eficientemente a la demanda.

De acuerdo con las mediciones realizadas por la Unidad de Planeación Minero Energética, en Colombia el promedio de radiación se encuentra en 5,3 Kw/día (ver figura 3). Por su parte se anota que en algunas zonas como la guajira, se llegan a obtener cifras de 6.0 Kw/día, siendo este el pico más alto de radiación a nivel nacional; por su parte, zonas como el Departamento del Chocó y el Nariño presentan la menor disponibilidad de radiación, la cual en promedio es de 3,5 Kw/día; (UPME & IDEAM, 2015). No obstante, considerando que para dar abastecimiento energético a una población con las características de la chocoana, se demandan en promedio 1000W, calculados con base al consumo promedio de las viviendas, esta radiación se considera suficiente.

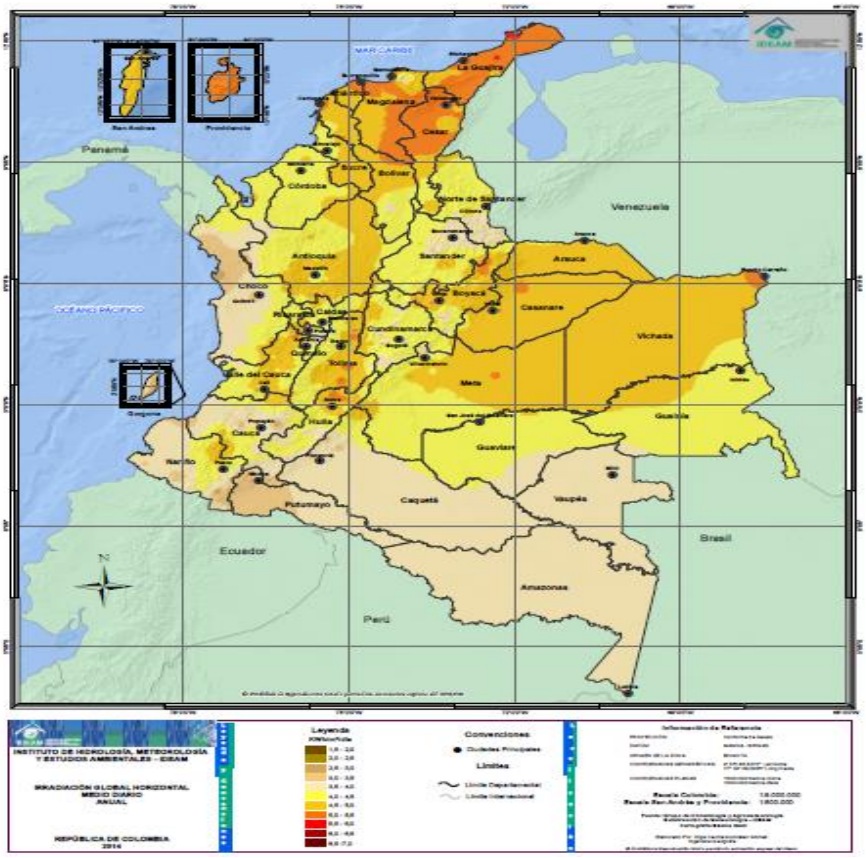


Figura 3: Mapa de Radiación Solar Colombia (IDEAM, 2014)

La figura 3 brinda información que cuantifica la energía solar que incide sobre la superficie del país (UPME, Atlas de Radiación Solar en Colombia, 2014). Para el caso de las zonas aisladas del sistema interconectado nacional, esta información es de gran importancia para el dimensionamiento de sistemas que a partir de la energía solar permiten el abastecimiento de energía eléctrica en la ZNI, con el fin de satisfacer las necesidades básicas que se presentan en estas zonas.

1.2 Residuos biomásicos

En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Los recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos con contenido orgánico, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y otros residuos derivados de las industrias.

La valoración de la biomasa puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que esta puede ser transformada en calor y electricidad: combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirólisis. Dependiendo de cada tipo de biomasa utilizada, la composición química del gas puede variar. Colombia posee un gran potencial de biomasa (ver figura 4), que puede ser aprovechado como fuente energética para abastecer ZNI.

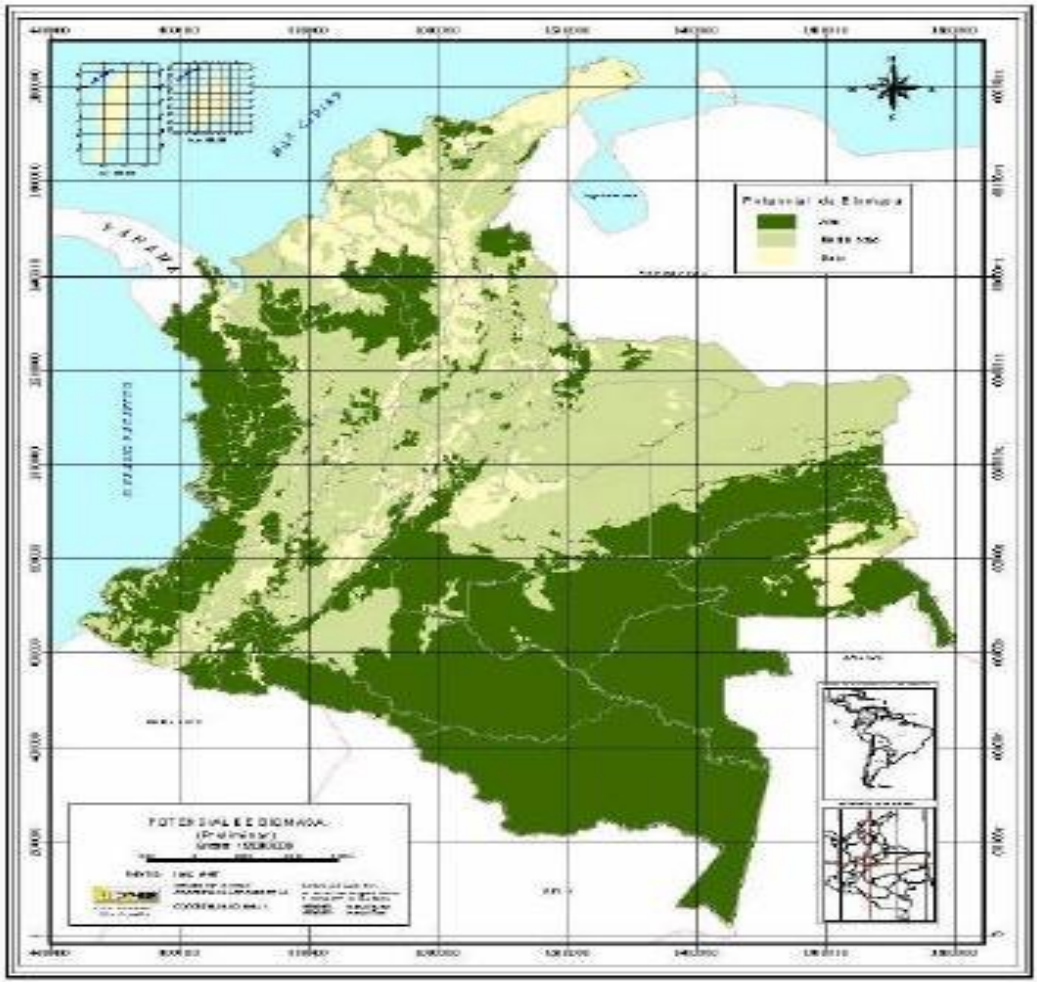


Figura 4: Mapa de Biomasa Colombia (UPME U., 2015)

En la figura 4 se evidencia un potencial de biomasa significativo a lo largo y ancho del Departamento del Chocó, que puede ser utilizado como fuente alternativa de energía para suplir la demanda que esta región presenta. El Chocó cuenta con recursos biomásicos que pueden ser utilizados energéticamente, tales como residuos de la producción de: madera, arroz, maíz, caña, plátano, palma de aceite, etc.

Un sistema híbrido para la producción energética es aquel que combina dos o más fuentes de energía las cuales pueden ser renovables, no renovables o de ambos tipos. Actualmente, los sistemas híbridos pueden ser alimentados por medio de diferentes combinaciones, dentro de las que se cuentan: Eólica/Solar, Solar/Diésel, Eólica/Diésel, Eólica/Red Eléctrica convencional, Solar/Red Eléctrica convencional, Biomasa/Eólica, Hidrógeno/Solar, Biomasa/Red Eléctrica convencional, Solar/Biomasa, etc.

En cuanto a la hibridación energética solar/biomasa (ver figura 4), se anota que la misma cuenta con una gran viabilidad para ser implementada, puesto que estos recursos se encuentran abundantemente en la naturaleza, teniendo además condiciones especialmente favorables de renovación y estabilidad dando por tanto la posibilidad de montar sistemas autónomos que permitan dar respuesta satisfactoria a las demandas energéticas de las comunidades. (Avila Prats, Alesanco García , & Veliz Alonso , 2011)

Figura 5: Sistema híbrido de energías renovables

En la figura 5 se presenta un sistema híbrido implementado en el Departamento del Chocó, con el objetivo de realizar investigación que permita de identificar los potenciales energéticos en la región para presentar propuestas que den solución al problema de interconexión en las ZNI.

1.3 Implementación de un Centro de Investigación en Energías Renovables en el Departamento del Chocó

El 9 de mayo del presente año se realizó la inauguración del Centro de Investigación En Energías Renovables en El Municipio de Medio San Juan en el Departamento del Chocó (ver figura 6), el cual ha sido considerado como uno de los más modernos del país, éste centro está conformado por cuatro líneas con miras a de investigación inicialmente, con el objetivo de conocer las potencialidades energéticas existentes en la región para con ello plantear soluciones concretas y eficaces para las ZNI en el Chocó.

Figura 6: Centro de investigación en el Chocó

Las líneas de investigación por las cuales está conformado el moderno centro son: Producción de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos, producción de energía eléctrica a través de un aerogenerador, producción de energía eléctrica a través de un sistema de biomasa y almacenamiento de energía a través de pilas de Hidrógeno, el centro cuenta con equipos de última tecnología, los cuales en conjunto producen una potencia de 100 kWp. Además, se instaló en el corregimiento de Cabo Marzo

perteneciente al municipio de Juradó - Chocó, una Pequeña Central Hidroeléctrica, para atender las necesidades eléctricas en esta zona de manera que puedan almacenar el pescado obtenido en sus actividades diarias. Igualmente, en el corregimiento de Playa Potes en el municipio de Bahía Solano, se instaló un sistema híbrido eólico – fotovoltaico, el cual estará acompañado de una estación meteorológica, con el fin de estudiar las diferentes variables que allí se generan. A esto se le suma la instalación de cuatro kits solares en corregimientos que pertenecen al municipio de Medio San Juan para el suministro energía eléctrica a una institución educativa, centro de salud o casa comunal en dichos corregimientos.

Según (IPSE, 2014), el Departamento del Chocó tiene 307 comunidades que no poseen el servicio de energía eléctrica. Es de notar que las ZNI se encuentran aisladas energéticamente del resto del territorio nacional debido a su ubicación y difícil acceso, por lo tanto, el servicio eléctrico debe generarse en cada ZNI, en conclusión, existe la necesidad de adquirir energéticos como combustibles para la generación de energía eléctrica local. Si se hace una revisión de los costos asociados a las energías renovables se puede identificar que los precios de estos sistemas han venido disminuyendo significativamente.

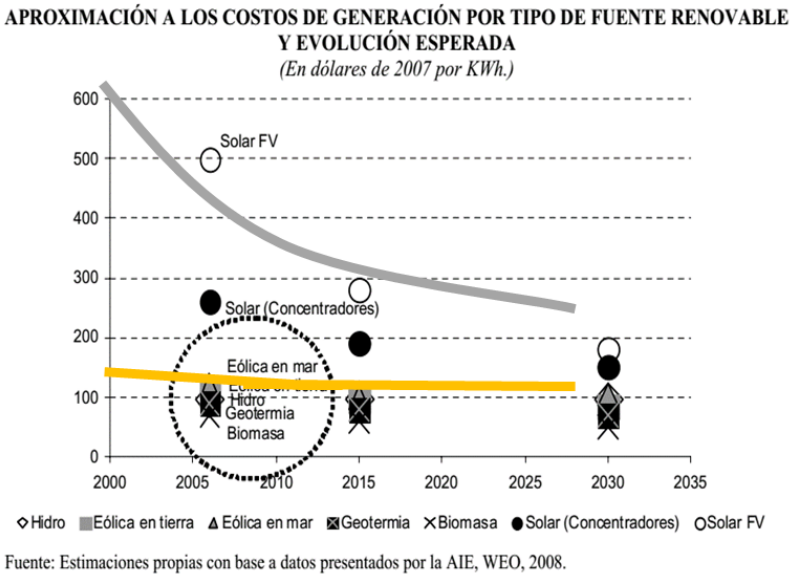


Figura 7: Costos y Evolución de las Energías Renovables. (AIE, WEO; 2008)

Los costos de los sistemas de energías renovables están decreciendo rápidamente, mientras que su uso está creciendo significativamente, lo cual hace de estos sistemas una alternativa viable para la problemática energética que se presenta a nivel mundial.

2 Demanda y Oferta Energética en el Departamento del Chocó

Para determinar la cantidad de energía necesaria para dar respuesta a la necesidad de la población chocoana, se han aplicado cálculos de demanda basados en la cantidad de electrodomésticos con que según la GEIH cuentan en promedio los hogares de esta entidad territorial.

2.1 Cálculos de energía demandada

Para calcular la demanda energética total de una población, se debe tener en cuenta la cantidad de dispositivos eléctricos con que cuentan los hogares promedio de la misma así la potencia consumida por dichos dispositivos, de este modo se obtiene una aproximación a los KW/día necesarios para abastecer la necesidad de cada vivienda. Posteriormente, este cálculo se multiplica por la cantidad de viviendas con que cuenta la población a abastecer, teniendo como resultado la demanda total de las viviendas.

Teniendo en cuenta que no todas las viviendas cuentan con la misma cantidad y tipo de dispositivos eléctricos y que, además de las viviendas, las comunidades cuentan con sistemas de alumbrado e infraestructura pública que generan consumos adicionales, se toma la precaución de calcular la necesidad de generación sobre la base del peor mes; es decir, que se tiene en cuenta la capacidad generadora de las plantas en las temporadas de menor disponibilidad de recursos, sumado a lo cual se programa un incremento de generación energética del 30% adicional sobre el total demandado, para cubrir la necesidad a satisfacción.

Con el propósito de obtener mediciones de demanda que sirvan como base para el cálculo total, se han tomado los datos registrados en la GEIH, a partir de los cuales se definió la cantidad y tipo de electrodomésticos con que cuentan las viviendas en el Departamento del Chocó; con base a lo cual se permitió determinar su potencia promedio, la potencia total demandada por el sistema y el consumo eléctrico diario aproximado calculado en base a una estimación de las horas de uso promedio de cada una de los aparatos.

2.2 Evaluación de la Disponibilidad Energética Solar/Biomasa en el Departamento del Chocó.

Realizar la evaluación de los recursos energéticos solar y biomasa en el Departamento del Chocó permite obtener información importante relacionada con la capacidad de generación energética de la cual se podría disponer con un sistema híbrido solar fotovoltaico / gasificación de biomasa en las ZNI de esta entidad territorial.

La información necesaria para la evaluación del potencial solar y temperatura ambiental, se ha obtenido directamente de datos que proporcionados por la Estación Meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó -UTCH-, ubicada en la capital del Departamento. Por su parte, la información correspondiente a la disponibilidad de biomasa, se ha recolectado de fuentes secundarias de información elaboradas por la UPME y el Instituto de Planeación Minero Energética -IPSE- Es de anotar que, dado al carácter general de esta información, la misma ha sido procesada y sistematizada por el investigador a fin de proporcionar datos específicos del complejo territorial de interés.

2.2.1 Evaluación del Recurso Solar

Tabla 3: Análisis de Radiación Solar en el Departamento del Chocó

Radiación solar (kWh/m-día)	**3.0 - 3.5**	**3.5 - 4.0**	**4.0 - 4.5**
Municipios	Bojayá	Quibdó	Carmen De Atrato
	Bahía Solano	Medio Atrato	Bagadó
		Río Quito	Acandí
		Atrato	Unguía
		Lloró	Río Sucio
		Carmen Del Darién	Litoral Del San Juan
		Nuquí	Sipí
		Juradó	Medio San Juan
		Alto Baudó	Nóvita
		Medio Baudó	San José Del Palmar
		Bajo Baudó	Río Iró
		Condoto	Tadó
		Istmina	
		Unión Panamericana	
		Cantón De San Pablo	
		Cértegui	
Promedios	3.25	3.75	4.25

Fuente: Elaboración Propia basada en: (UPME & IDEAM, 2015)

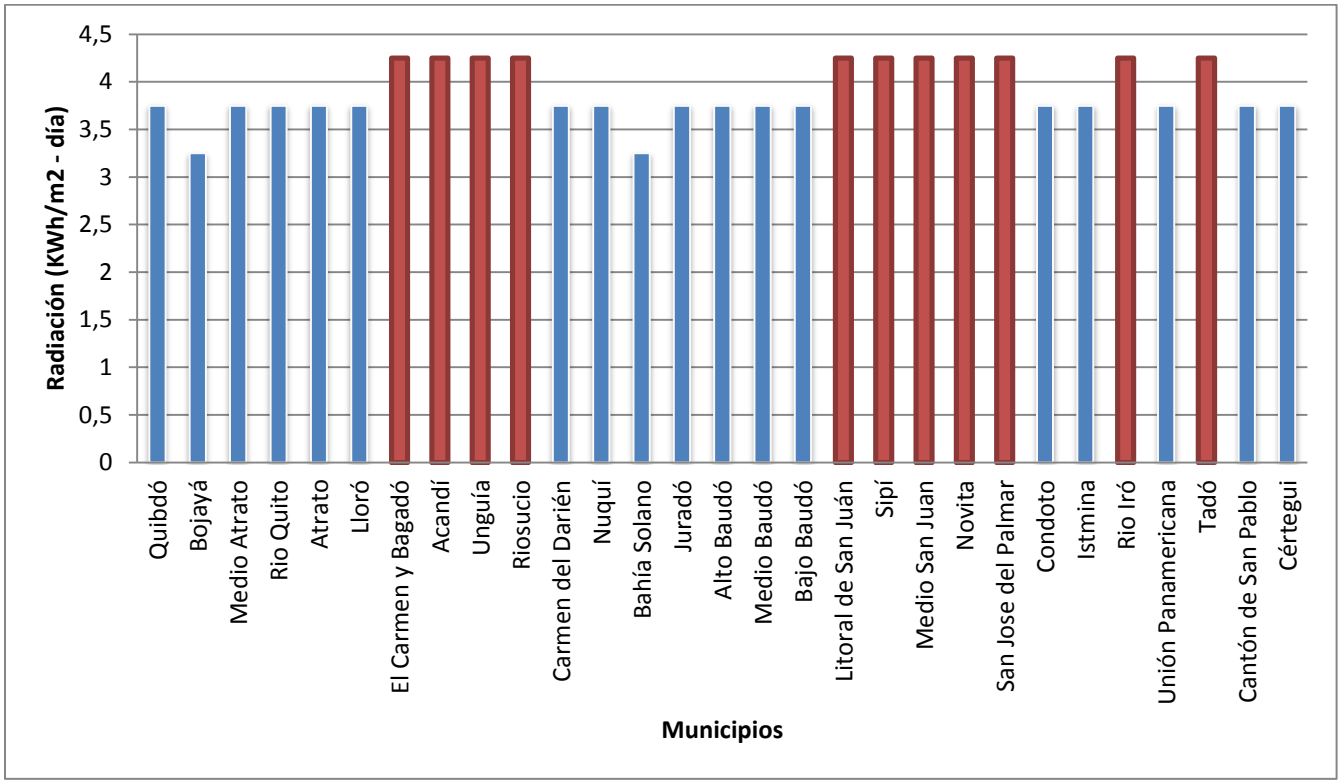
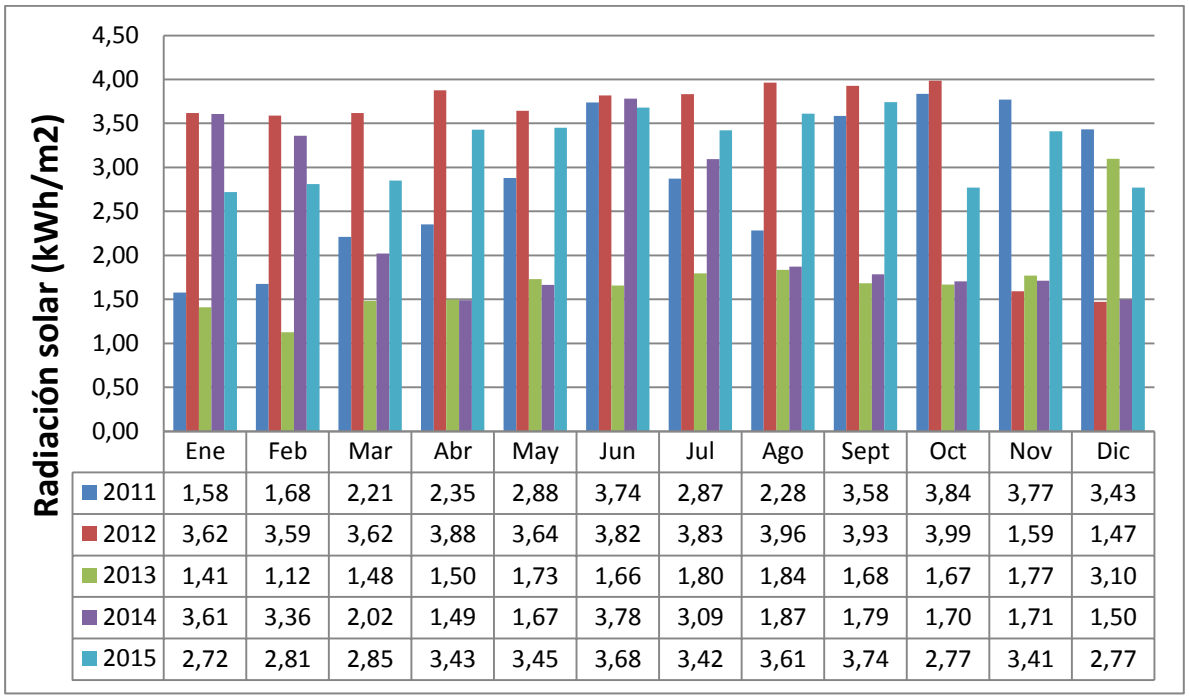


Figura 8: Promedios de Radiación Solar en el Departamento del Chocó

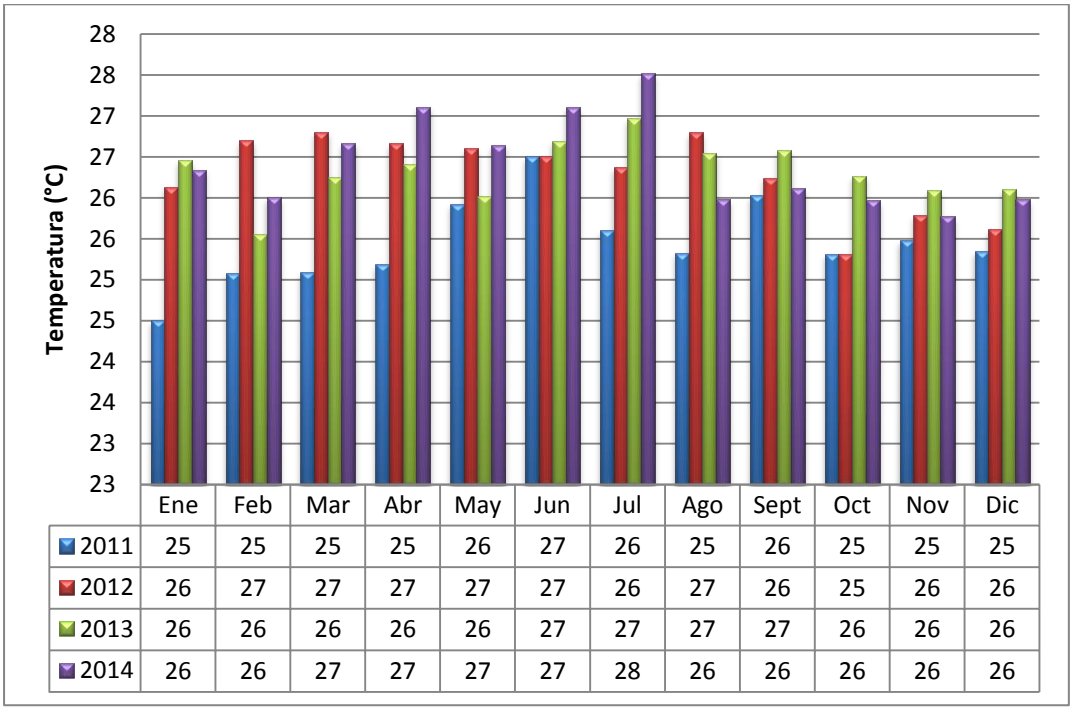
En la tabla 3 y figura 8, se observa que las zonas con mayor potencial del recurso solar en el Departamento son los municipios de Carmen de Atrato, Bagadó, Acandí, Riosucio, Litoral del San Juan, Sipí, Medio San Juan, Nóvita, San José del Palmar, Rio Iró, Unguía y Tadó con una radiación promedio de 4,25 kWh/m^2-día; por lo cual es viable pensar en la generación de energía eléctrica y térmica usando sistemas de energía solar; mientras que en el resto de las zonas se tiene una radiación por debajo del mínimo sugerido para la generación de energía solar fotovoltaica que corresponde a los 4.0 kwh/m^2-día, razón por la cual se propone la implementación de sistemas híbridos en las ZNI del Departamento del chocó.

A manera de resumen, en la figura 9, se presentan los promedios de radiación solar y temperatura ambiente en la capital del departamento del Chocó, para el periodo 2011 – 2015, a partir de los cuales se dará cuenta del potencial de producción energética que podría alcanzar mediante un sistema de generación fotovoltaica en las comunidades pertenecientes a las ZNI de este complejo territorial.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2011	1,58	1,68	2,21	2,35	2,88	3,74	2,87	2,28	3,58	3,84	3,77	3,43
2012	3,62	3,59	3,62	3,88	3,64	3,82	3,83	3,96	3,93	3,99	1,59	1,47
2013	1,41	1,12	1,48	1,50	1,73	1,66	1,80	1,84	1,68	1,67	1,77	3,10
2014	3,61	3,36	2,02	1,49	1,67	3,78	3,09	1,87	1,79	1,70	1,71	1,50
2015	2,72	2,81	2,85	3,43	3,45	3,68	3,42	3,61	3,74	2,77	3,41	2,77

Figura 9: Comportamiento Radiación Solar Periodo 2011 -2015 (ver Anexo A)



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2011	25	25	25	25	26	27	26	25	26	25	25	25
2012	26	27	27	27	27	27	26	27	26	25	26	26
2013	26	26	26	26	26	27	27	27	27	26	26	26
2014	26	26	27	27	27	27	28	26	26	26	26	26

Figura 10 Temperatura Ambiente Promedio Quibdó-Chocó Periodo 2011 – 2014 (ver Anexo A)

En las figuras 9 y 10 se presenta el comportamiento del recurso solar y la temperatura ambiental en la capital del departamento del Chocó durante el periodo 2011 - 2014,

dichas gráficas dejan en evidencia importantes variaciones entre los promedios de radiación para el periodo mencionado.

Durante el año 2013 se obtuvieron los promedios más bajos; sin embargo aun con estos datos es posible pensar en sistemas de generación de energía eléctrica. Cabe resaltar que por la variación constante de la radiación, implementar un sistema de generación fotovoltaica autónomo no sería una opción viable, por lo cual se hace necesario un acompañamiento a éste.

Después de revisar la disponibilidad de fuentes energéticas en las ZNI del departamento del Chocó se plantea que la gasificación de biomasa sería la opción más viable para complementar la generación fotovoltaica; es por ello que se plantea optar por un sistema híbrido Solar/Biomasa.

2.2.2 Evaluación del recurso Biomásico en el Departamento del Chocó

Gracias a su gran biodiversidad, Colombia cuenta con importantes cantidades de biomasa, que pueden ser utilizadas para el montaje de sistemas de generación eléctrica y energética, mediante los cuales sea suplida la necesidad en las ZNI del país. El Departamento del Chocó por su parte, es una de las zonas con mayor riqueza natural en el territorio colombiano; por esta razón se considera que con arreglo a su disponibilidad, la opción más viable para complementar el sistema de generación fotovoltaica es el aprovechamiento de los recursos Biomásicos.

El investigador se ha dado a la tarea de identificar la disponibilidad de este tipo de recursos en el Departamento del Chocó; en este sentido, haciendo triangulación de fuentes secundarias de información como el Atlas de biomasa Residual de Colombia 2015, e información primaria recolectada durante las visitas al territorio y sesiones de trabajo de campo se ha determinado que en el Departamento se cuenta con diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados para la generación energética en este territorio. En la tabla 4 se presenta la disponibilidad de recursos biomásicos para el Departamento del Chocó.

Tabla 4 Resumen del Potencial Energético de Residuos Agrícolas en el Chocó

Producto	Cantidad toneladas/año	Toneladas de Residuo disponible	Potencial energético [TJ/año]
Agricola	Š188627	930695	2795,97
Arroz	35370	54991	243,65
Café	209	1122	10,91
Caña de panela	29605	185919	1.584,04
Maíz	16548	19766	212,27
Palma de aceite	21021	40013	385,98
Plátano	126380	628882	359,11
Energía total producida			3242,11

Fuente: Elaboración propia, basada en (UPME U., 2015)

El departamento del Chocó está dentro de los que se dedican a la producción de arroz en el país, (Sierra, 2009), para el año 2013 en el Departamento se registró una producción de 35.370 Ton/año de arroz. En el proceso de trillado y/o pilado del arroz, la cascarilla que éste produce es desechada, la cual constituye el 25% del peso del grano aproximadamente. La cascarilla de arroz se puede utilizar como combustible que genere calor, debido a que su poder calorífico es similar al de la madera y al de otros residuos agrícolas (Assureira, 2002), (Assureira, Combustible alternativo: La cascarilla de arroz, 2004). Partiendo de que no se le da uso alguno a la cascarilla de arroz, se puede decir que se están desperdiciando aproximadamente 8.843 Ton/año de cascarilla de arroz, las cuales pueden ser utilizadas como fuente energética a través de un proceso de gasificación. Es importante resaltar que además de la producción de arroz, el departamento tiene una alta producción de maíz, plátano, caña, etc; donde los residuos resultantes de cada actividad pueden ser utilizados energéticamente para satisfacer necesidades en las ZNI que tiene el Departamento.

Con el propósito de aportar un conocimiento más exacto de la disponibilidad de recursos biomásicos a ser utilizada en el montaje de un sistema de generación energética en el Departamento del chocó. En la figura 11 se presenta la disponibilidad general de dichos recursos en este complejo territorial.

Figura 11 Disponibilidad de Biomasa en el Chocó
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

El Chocó es un departamento rico en biomasa y una de las principales fuentes de biomasa son los residuos forestales que resultan de la extracción de madera y de la intervención de los bosques con fines mineros, estos recursos están presentes casi a lo largo de todo el departamento y podrían ser aprovechados en la generación de energía por combustión directa, pero, alternativamente se puede realizar pirolisis (en ausencia de oxígeno) o gasificación (oxigeno limitado) con el fin de producir un combustible líquido o un gas combustible. En la figura 12 se presenta la disponibilidad biomasa agrícola, al igual que las ZNI en las que en la que se puede aprovechar este potencial.

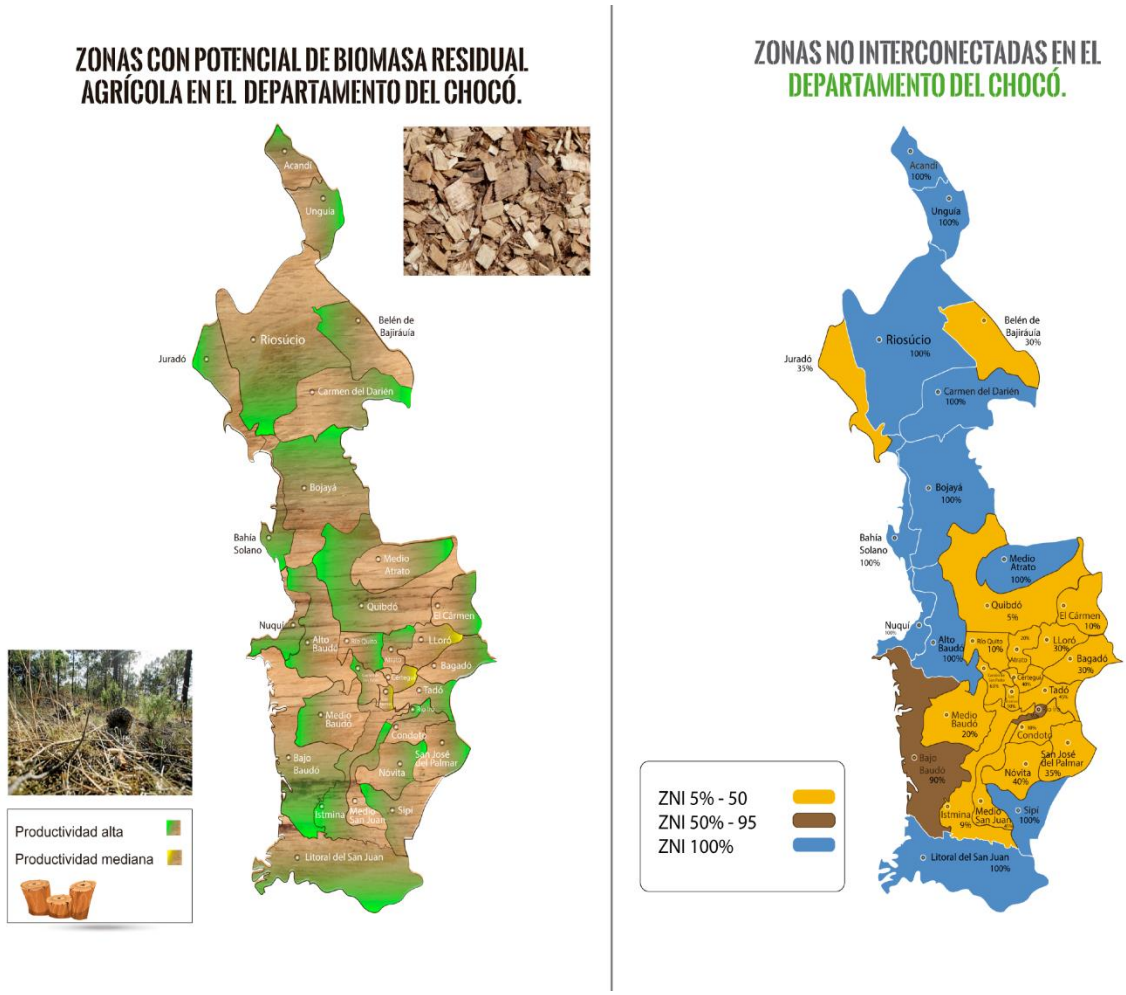


Figura 12 Biomasa Residual Agrícola en el Chocó y ZNI
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

En la figura 12 se puede observar que el Departamento del Chocó posee gran riqueza agroforestal a lo largo y ancho de su territorio, y debido a las diferentes actividades que en ésta región se realizan (la minería, tala de árboles con fines artesanales y la madera para usos de carpintería y construcción de viviendas, entre otros) se producen residuos que pueden ser utilizados con fines energéticos para dar solución al problema de interconexión que se presenta en algunas zonas del Departamento. En la figura 13 se presentan las zonas en las cuales se produce arroz, al igual que las ZNI en las que en la que se puede aprovechar este potencial.

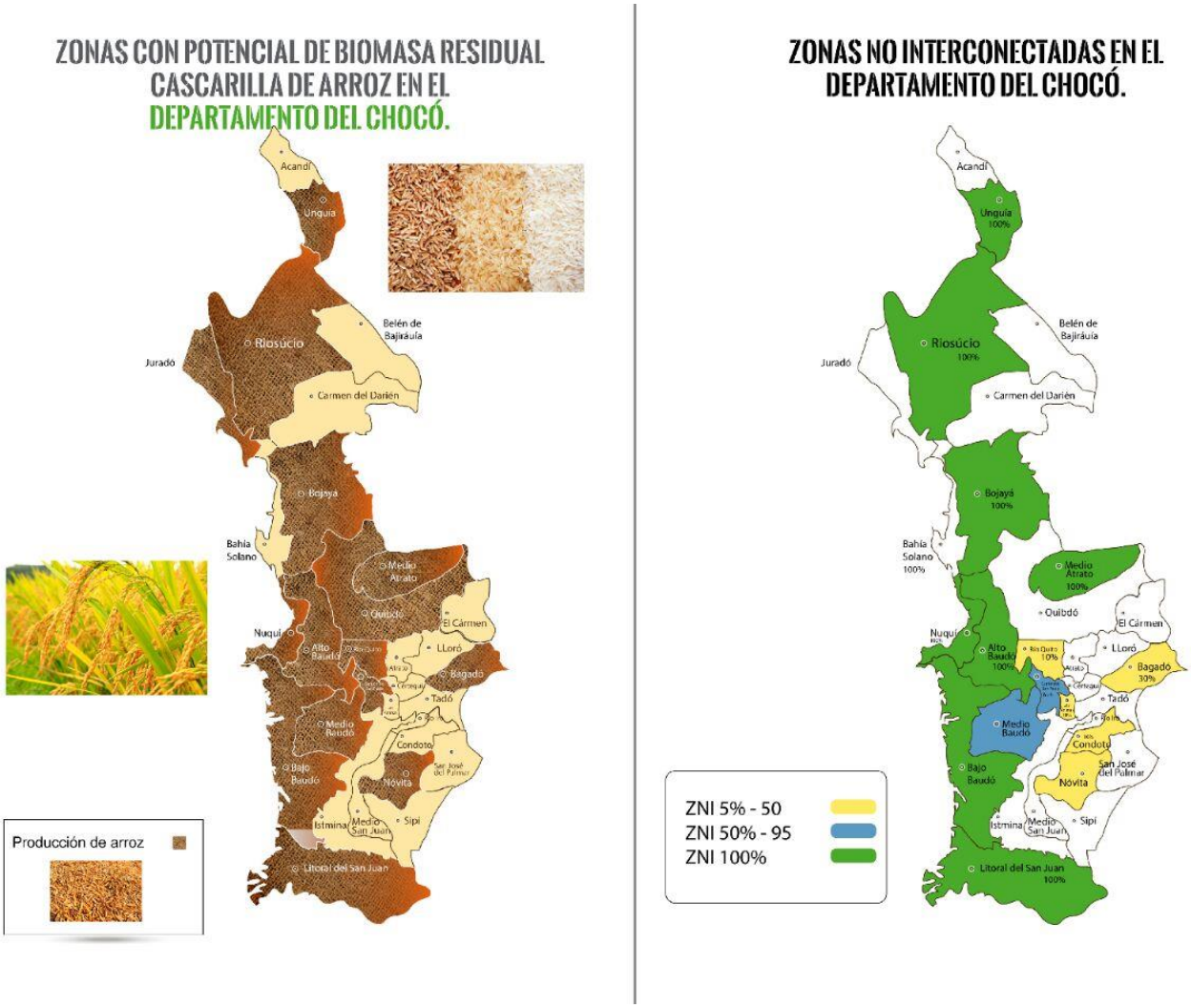


Figura 13 Disponibilidad de biomasa de Cascarilla de Arroz en el Chocó y ZNI
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

En la figura 13 se presentan los municipios del Departamento del Chocó en los cuales se produce arroz, actividad que se desarrolla con el objetivo de obtener el sustento diario de las familias asentadas en estas zonas y luego del proceso de trillado no se le da un uso adecuado al residuo que resulta de esta actividad y que puede ser utilizado para fines energéticos. Para el año 2013 el Departamento contaba con un potencial energético de 243,65 TJ/año, (ver tabla 4), siendo Quibdó, el Carmen del Darien, Riosucio, Bajo Baudó, Medio Baudó, Atrato los mayores contribuyentes con este potencial energético, (Evaluaciones Agropecuarias Municipales – Sistema de Información de Oferta Agropecuaria., 2013). En la figura 14 se presentan las zonas en las cuales se produce caña, al igual que las ZNI en las que en la que se puede aprovechar este potencial.

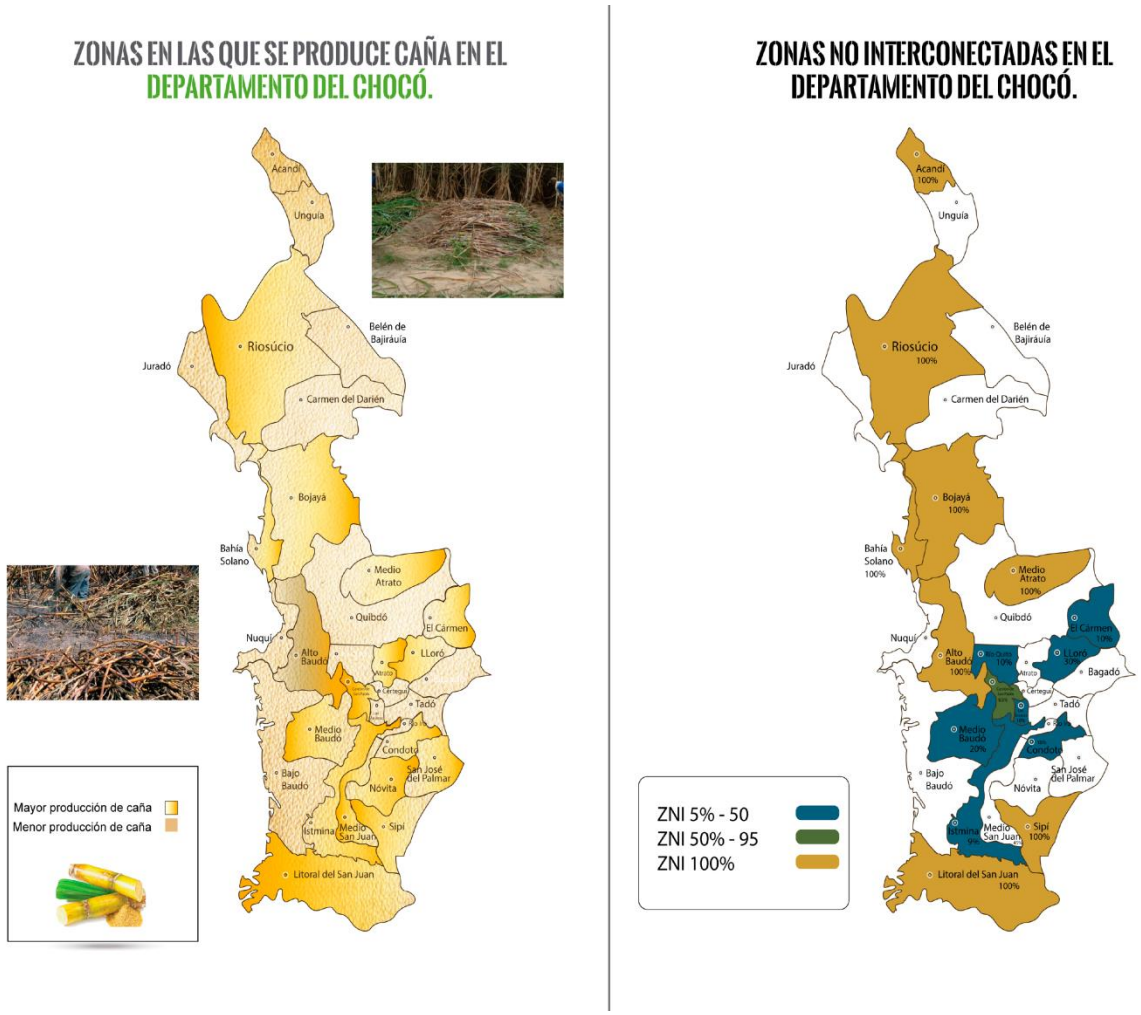


Figura 14 Disponibilidad de Biomasa de Caña de Azúcar en el Chocó y ZNI
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

En los municipios de Litoral del San Juan, Istmina, Nóvita, Medio Baudó, Quibdó, Medio San Juan, Riosucio, Bojaya, Atrato (ver figura 14), se tiene una buena producción de caña con el fin de producir miel, panela y el consumo directo este producto, el bagazo de la caña es desechado porque en estas zonas no se tiene un conocimiento claro de su uso con fines energéticos; por otro lado a parte del bagazo de caña, los residuos de cosecha generados de ésta, pueden ser aprovechados como recurso energético, siendo estos más eficientes que los generados a partir del bagazo, quedando un potencial energético bruto de 1.584,04TJ/año (ver tabla 4). En la figura 15 se presentan las zonas en las cuales se produce maíz, al igual que las ZNI en las que en la que se puede aprovechar este potencial.

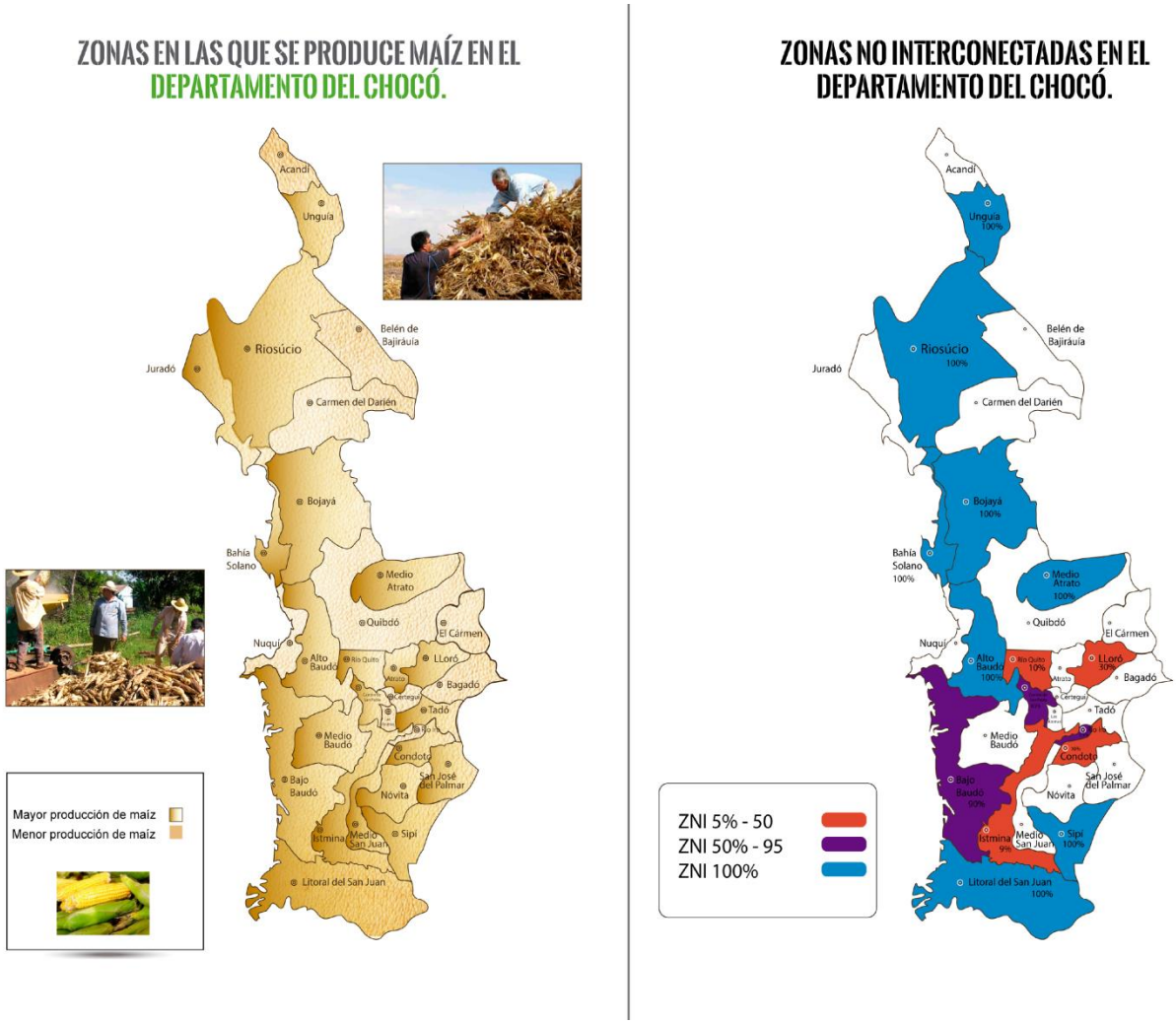


Figura 15 Disponibilidad de Biomasa de Maíz en el Chocó y ZNI
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

En la figura 15, los municipios de Quibdó, Riosucio, Unguía, Carmen del Darién, Medio Baudó, Bajo Baudó, Litoral del San Juan y Acandí son las zonas en las que más se produce maíz en este departamento. Para el año 2013 el Departamento registra una producción de 16548ton/año y un potencial energético de 212,27 TJ/año (ver tabla 4); el porcentaje energético, que se puede ser aprovechar del maíz es de un 37 % y su poder calorífico es de 26.700 KJ/Kg (UPME, Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia, 2003), que además se puede usar para producción de alcohol como combustible. En la figura 16 se presentan las zonas en las cuales se produce plátano, al igual que las ZNI en las que en la que se puede aprovechar este potencial.

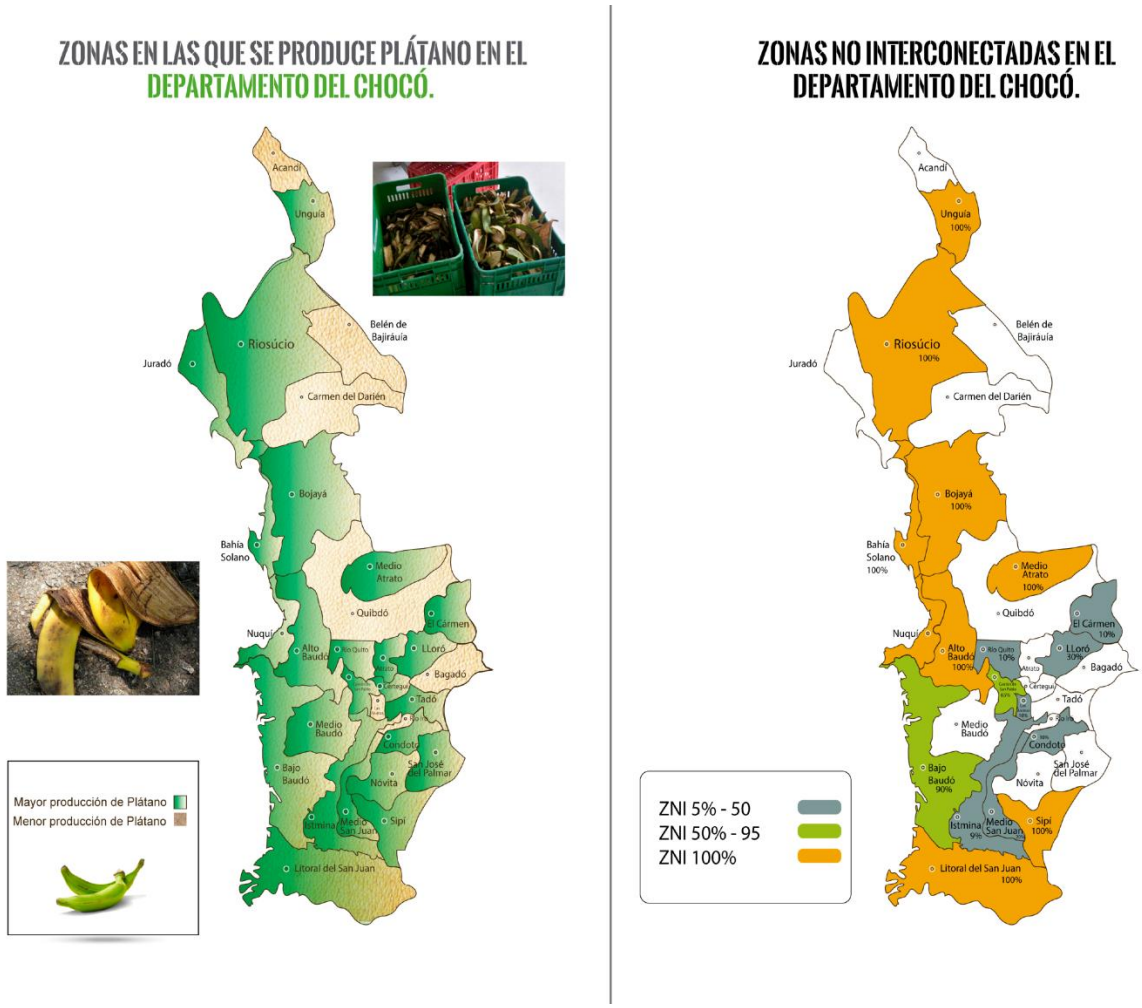


Figura 16 Disponibilidad de Biomasa de Plátano en el Chocó y ZNI
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

A lo largo y ancho del departamento del Chocó se tiene una muy buena producción de plátano, en unos municipios más que otros, no se tiene un registro preciso de su comercialización ya que no hay empresas conformadas y organizadas para este tipo de actividades, los productores comercializan este producto independiente e individualmente para el sustento de sus familias. La figura 16 muestra que en municipios como Riosucio, Litoral del San Juan, San Juan, Novita, Bojaya, Bajo Baudó, Alto Baudo, Medio atrato, etc, se tiene alta producción de plátano. Los residuos que resultan de esta actividad además de ser usado como abono para las plantas puede ser utilizados energéticamente, la tabla 4 muestra que anualmente se tiene una producción de 126380 toneladas y que los residuos resultantes alcanzan un potencial energético de 359,11TJ/año, que puede ser bien aprovechado si se le da el uso adecuado.

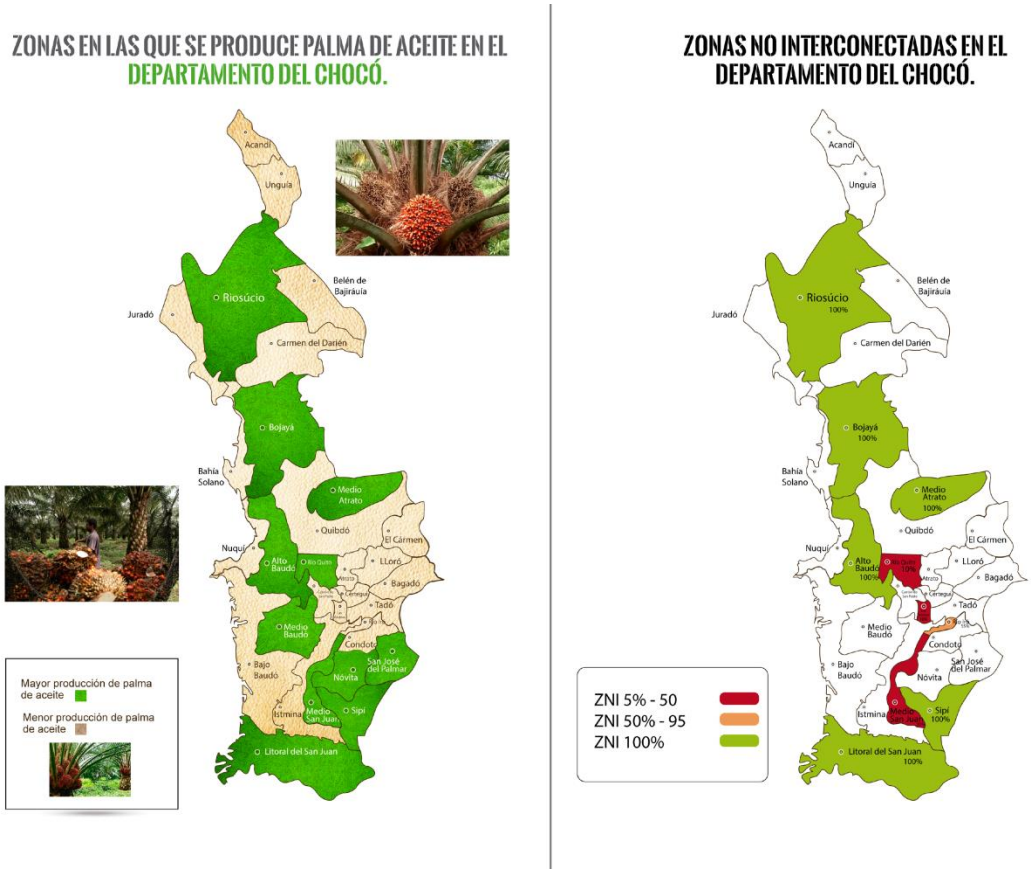


Figura 17 Disponibilidad de Biomasa de Palma de aceite en el Chocó y ZNI
Fuente: elaboración propia con base en (UPME U., 2015) y trabajo de campo.

En la figura 17 se deja ver que en los municipios de Riosucio, Bojayá, Alto Baudó, Medio Baudó, Medio Atrato, Rio Quito, Nóvita, San José del Palmar, Medio San Juan, Sipí y Litoral de San Juan presentan una importante producción de palma de aceite, y al mismo tiempo estas zonas tienen una gran cantidad de comunidades pertenecientes a las ZNI. Recursos que se pueden utilizar para producir energía eléctrica que pueda satisfacer la demanda en la ZNI de los municipios mencionados anteriormente.

3 Experimentación en planta piloto

En la Facultad de minas, durante la ejecución del proyecto HIBRELEC se implementó un sistema híbrido de energías renovables que cuenta con una línea solar fotovoltaica y un sistema de gasificación de biomasa. (Ver Figura 18).

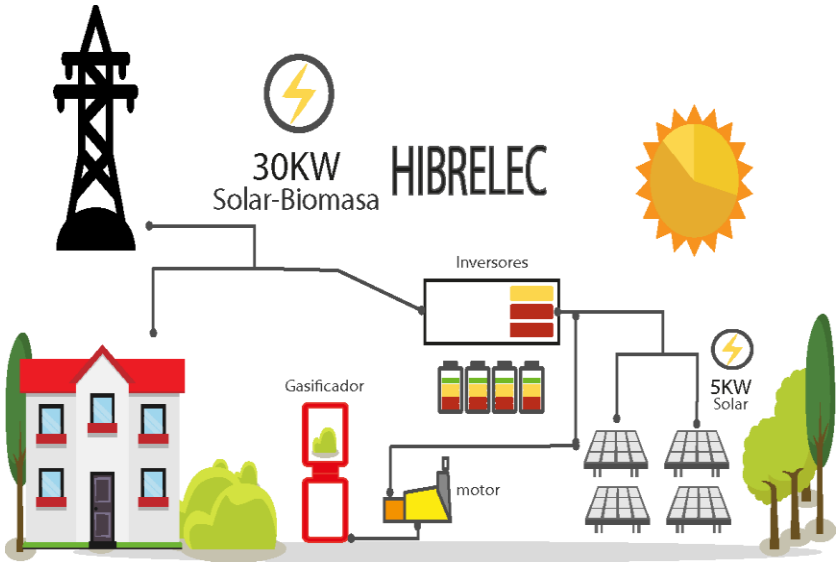


Figura 18. Sistema Híbrido. (Generación de energía eléctrica mediante sistema híbrido Solar/Gasificación de residuos agroindustriales, 2016)

La línea solar fotovoltaica está constituida por un arreglo de 22 paneles policristalino de 245 W cada uno, un banco de baterías, Inversores, cargadores y un sistema de control inteligente, (Ver figura 19). El sistema genera una potencia de 5,39 kW.

Figura 19 Sistema solar fotovoltaico.

Dentro de los tipos de reactor que se utilizan frecuentemente para esta serie de procesos varían, y su elección depende de varios factores como lo son la limpieza del gas que se requiera, la granulometría del residuo, la humedad de este, etc. El sistema de gasificación está constituido por un gasificador de lecho fijo, ciclón, lavador húmedo, tren de limpieza y motor generador. (Ver figura 20).

Figura 20. Sistema de gasificación

Las pruebas experimentales se desarrollaron en un reactor de lecho fijo Down-Draft (Ver figura 21), diseñado en el Grupo de Investigación en termodinámica aplicada y Energías Alternativas durante la ejecución del proyecto HIBRELEC.

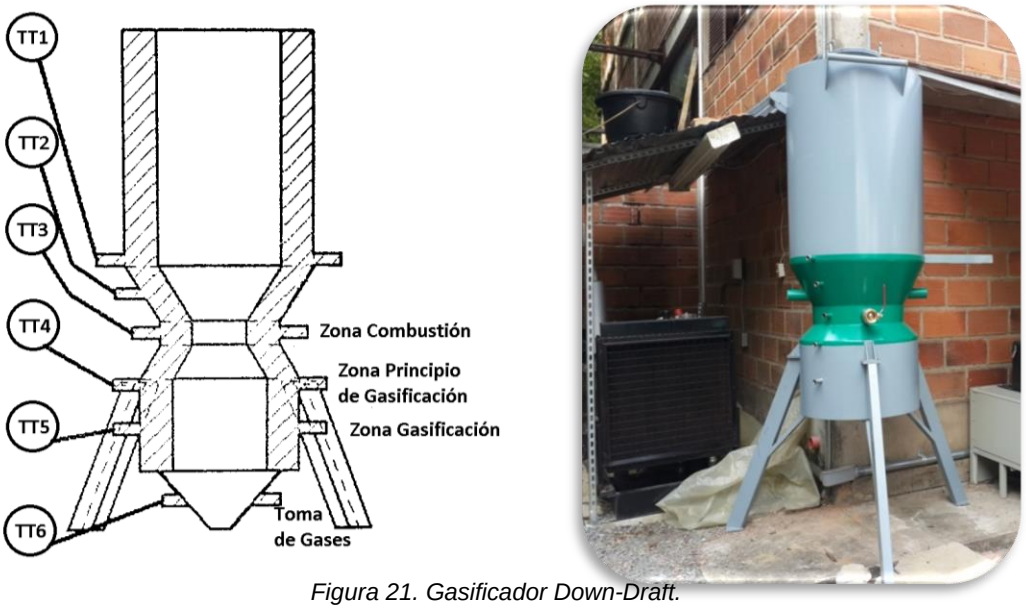


Figura 21. Gasificador Down-Draft.

El reactor se diseñó teniendo en cuenta los parámetros que se muestran en la Tabla 5; este tipo de reactores son muy importante por su poco contenido de alquitrán en el gas. En este reactor se genera un gas combustible que es aprovechado en un motor de combustión que posee una potencia de 25 kW.

Tabla 5. Parámetros de diseño del reactor Down-Draft

Parámetro	Valor
Capacidad	50 kg/h
Capacidad de la tolva	25 kg
Diámetro del reactor	52 cm
Diámetro de la garganta	25 cm
Ángulo de la garganta	60°
Longitud de la zona de reducción	35 cm
Entrada de aire	29 cm
Velocidad del aire	30-35 m/s

El reactor presentado en la Figura 21 tiene capacidad para procesar 12 kg/h de cascarilla de arroz cruda o 50 kg/h en forma de pellets, en la tolva es posible almacenar hasta 60 kg de cascarilla cruda o 200 kg de pellets, el diámetro total es de 52 cm, 25 cm en la garganta y 35 cm de longitud en la zona de reducción con una velocidad del aire de 30-35 m/s. (Generación de energía eléctrica mediante sistema híbrido Solar/Gasificación de residuos agroindustriales, 2016).

3.1 Sistema de limpieza de gases adecuado para el motor de combustión interna

Teniendo en cuenta que una vez iniciado el proceso de gasificación, el gas de síntesis que se obtiene, contiene algunos contaminantes sólidos se hace necesario un sistema de limpieza para adquirir un gas con las condiciones adecuadas para el motor. Con el propósito de obtener buena eficiencia en la limpieza del gas, esta se hace a altas temperaturas. Para zonas aisladas se puede implementar un sistema de limpieza sencillo como el que se utilizó en la realización de estas pruebas, que está conformado por tanques de filtración en los que se puede utilizar partículas de madera para retener los

alquitranes, además se puede usar soluciones liquidas básicas para retener el contenido de ácidos formados en el proceso de gasificación, esta aplicación no genera residuos sólidos contaminantes, ya que cuando la madera está saturada de contaminantes, esta se puede transformar energéticamente en el gasificador, evitando daños ambientales a la zona de aplicación. (Ver Figura 22).

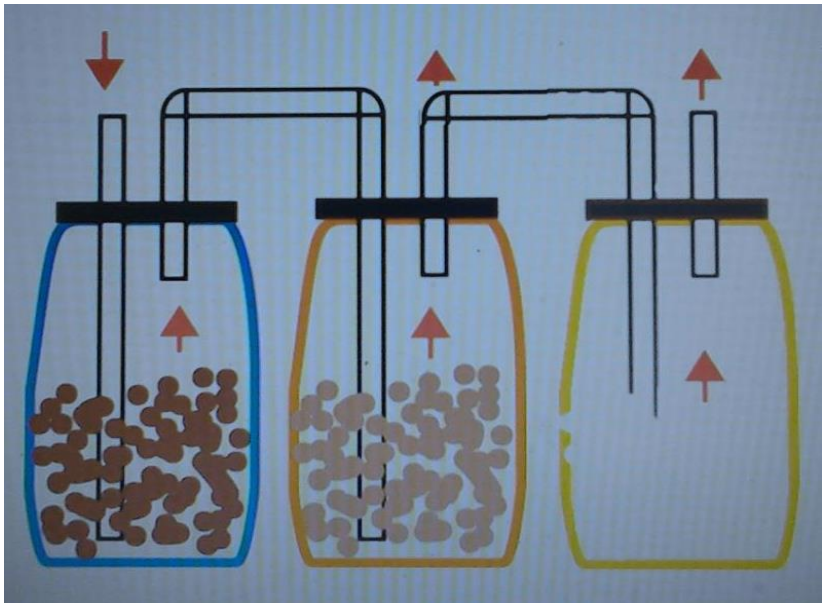


Figura 22 Sistema de limpieza simple

Este tipo de sistema de limpieza es más fácil de implementar en zonas aisladas ya que su construcción es en poco sencillo. El motor-generador de combustión interna es de modelo LHBMG30 de LVHUAN POWER EQUIPMENT CO, el cual está adaptado para funcionar con gas de síntesis producto de gasificación y que tiene una capacidad de generación eléctrica de 30 kW. El equipo posee conexiones adecuadas entre el motor y el sistema de limpieza de gas (ver figura 23).

Figura 23. Motor generador para gas pobre.

El adecuado funcionamiento del motor se asegura con refrigerante AC pre-diluido 50/50, aceite lubricante 15W40 para motores a gas, manómetro para presión de aceite y termocuplas para monitorear la temperatura del refrigerante aguas arriba y aguas abajo del radiador; existen motores que incluyen el manómetro y las termocuplas. Adicionalmente, se debe realizar la conexión de entrada de gases al motor. Para esto fue necesaria la selección y adquisición de un ventilador que permita llevar los gases desde el sistema de limpieza hasta el motor-generador.

3.2 Gasificación de biomasa

Este es un proceso termoquímico por el cual que la materia prima se transforma en un gas combustible; una vez la biomasa en estado sólido se somete a la acción del calor en condiciones de defecto de aire o combustión incompleta, se producen una serie de reacciones que dan lugar a un gas de gran interés energético. Cuando se realiza la gasificación con aire, el gas que se obtiene es denominado gas pobre y está formado principalmente por monóxido e hidrógeno, además de dióxido de carbono, y metano. Las aplicaciones de la gasificación de biomasa se basan principalmente en la utilización de la energía térmica que genera el propio proceso de gasificación y el aprovechamiento del gas producido.

Materia prima.

Actualmente Colombia cuenta con 455.444 hectáreas en las cuales se desarrollan actividades de producción de arroz **(UPME U., 2015)**. En el departamento del Chocó se tienen 11.946 hectáreas dispuestas para esta actividad, lo cual representa el 2,62% de la nacional, alcanzando una producción de 21.565 toneladas al año, las cuales pasan por un proceso de trillado con el fin de hacer la separación del grano y la cascarilla de arroz o parte residual, obteniendo 55.991 toneladas al año de materia residual. La cascarilla es la cubierta exterior del arroz; la cual está compuesto principalmente por celulosa y sílice, característica que genera un buen rendimiento en la combustión **(valverde, 2007)**. La composición química de la cascarilla de arroz se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Composición fisicoquímica de la cascarilla de arroz

Análisis último, % w/w		Norma	Análisis próximo, % w/w		Norma
C	33,8	ASTM D 4239	Cenizas	20,02	ASTM D 3172
H	4,9	ASTM D 4239	Humedad	8,41	ASTM D 3173
N	1,4	ASTM D 4239	Carbono fijo	13,27	ASTM D 3175
S	0,01	ASTM D 4239	Volátiles	58,3	ASTM D 3174
O	40,02	Por diferencia	Poder calorífico, cal/g	3491	ASTM D 5865

El contenido de agua de la cascarilla de arroz es alrededor del 8,4% la cual varia muy poco a lo largo del año, su contenido de ceniza es alto y está compuesto principalmente por sílice; sin embargo, tanto el contenido de volátiles como el de carbono fijo, además del alto poder calorífico con respecto a otros energéticos, hacen de la cascarilla una buena alternativa como materia prima para el proceso de gasificación.

3.3 Sincronización del sistema híbrido

El sistema híbrido piloto fotovoltaico-biomasa, resultado de la ejecución del proyecto HIBRELEC, ubicado en el laboratorio Ciencias de la Energía de la Facultad de Minas cuenta con un diseño de control, el cual permite la integración de todos los sistemas, re-direccionando la energía donde sea requerida (ver figura 24). Una vez el sistema solar está generando, el inversor principal se sincroniza con los inversores cargadores secundarios para enviar energía al banco de baterías, a la red, o al consumo inmediato del usuario final; pero cuando el motor generador ingresa al sistema, los inversores cargadores secundarios sincronizan las fases para cargar las baterías o para suplir la demanda energética instantánea. Se tiene un contactor de seguridad que aísla el inversor de conexión, para evitar que se encuentren las corrientes de los paneles solares y del motor, evitando así que se presente un cortocircuito; Es decir que cuando entra en funcionamiento el generador por combustión del gas de gasificación, los paneles solares se aíslan del suministro de energía. (Generación de energía eléctrica mediante sistema híbrido Solar/Gasificación de residuos agroindustriales, 2016)

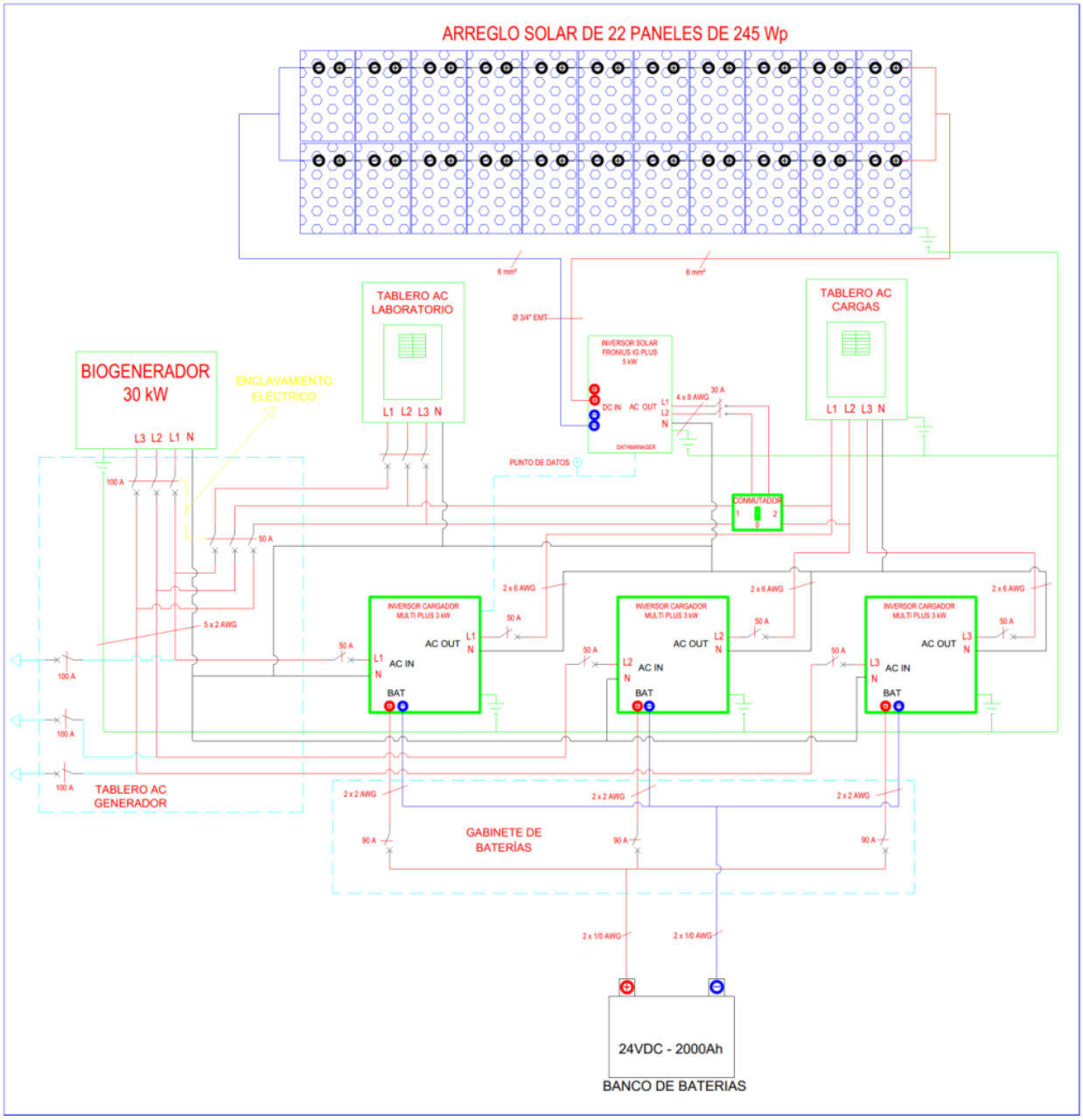
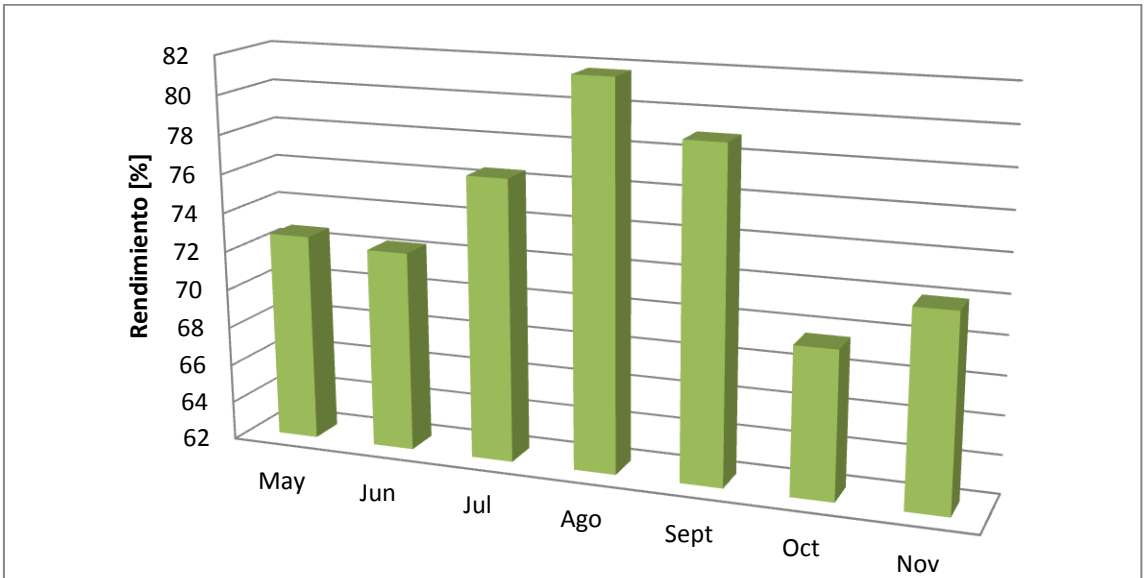


Figura 24 Diagrama de conexiones eléctricas

3.4 Ensayos Experimentales en planta piloto

En la figura 25 se muestra el rendimiento de la instalación del sistema solar fotovoltaico, el cual cuenta con una capacidad de 5.39 kWp. Este sistema es monitoreado a través de la plataforma solar web, y ha venido funcionando desde el mes de mayo del año 2014.



	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov
Rendimiento	72,71917	72,32728	76,52288	81,76848	79,01552	69,63021	72,02644

Figura 25. Rendimiento del sistema solar fotovoltaico (ver Anexo A)

En la figura 25 se deja ver una alta radiación solar en el periodo Julio-Septiembre en la ciudad de Medellín, alcanzando un rendimiento del 81.7% para el mes de Agosto, 76.5% en Julio y 79% en Septiembre; en este mismo periodo se obtuvieron los picos más altos de radiación solar (4,75 y 5,25 kWh/m^2) (ver figura 26); picos de radiación que es muy difícil obtener en el Chocó, ya que las zonas que presentan mayor radiación solo alcanzan un 4,25kWh/m^2, (ver figura 8, tabla 3), aunque es una radiación importante se deben tener en cuenta la condiciones climáticas de esta región.

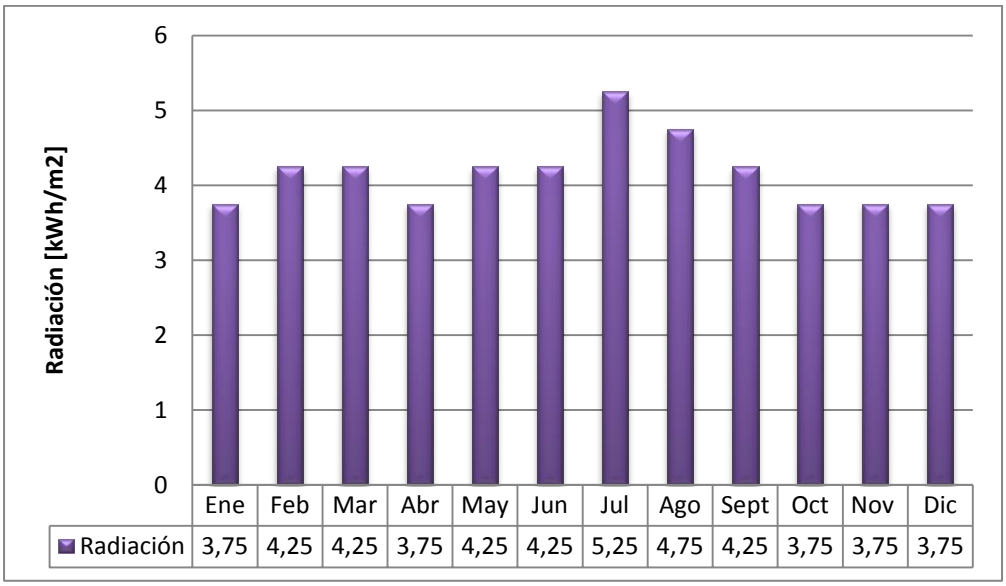


Figura 26. Promedio mensual de radiación solar en Medellín (ver Anexo A)

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y de radiación solar en la ciudad de Medellín para el año 2014, en Julio, Agosto y Septiembre meses de mayor rendimiento del sistema se tiene una producción de energía diaria que oscila entre los 14 y 29 kWh (ver figura 27).

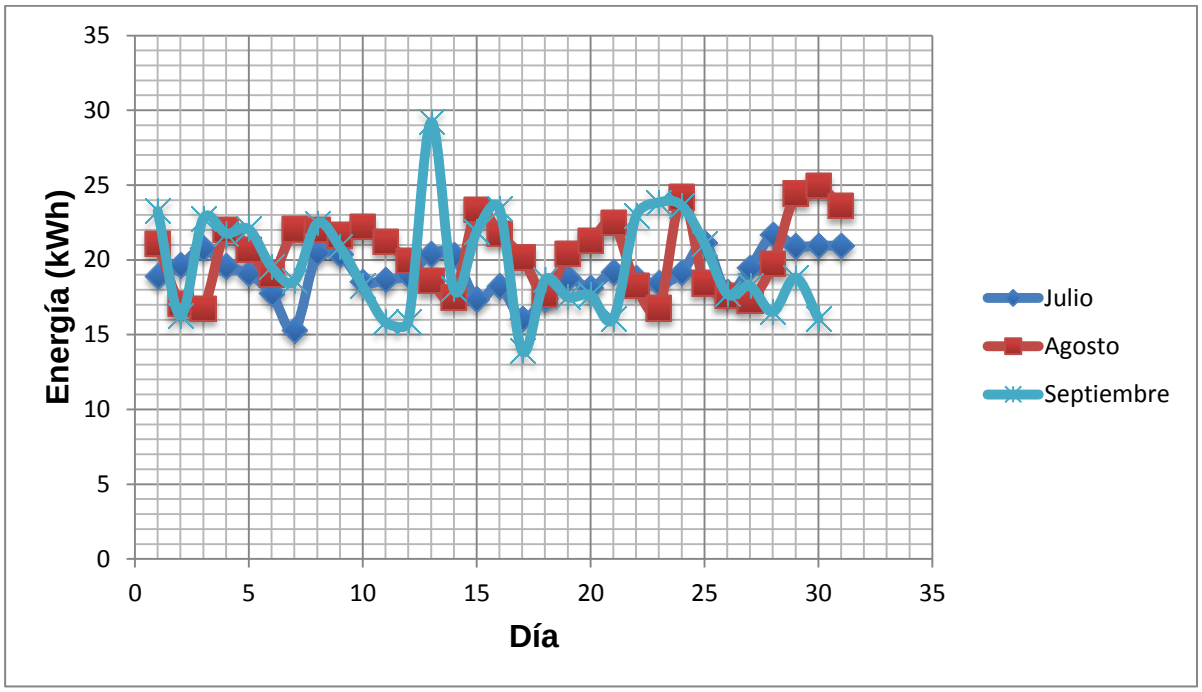


Figura 27. Energía producida por sistema solar fotovoltaico durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre de 2014. (Ver Anexo A)

Sumado a esto, se desarrollaron una serie de ensayos experimentales en el sistema de gasificación, en las cuales algunas fueron muy exitosas y otras no. A continuación se presentan las etapas por las cuales pasa el proceso de gasificación.

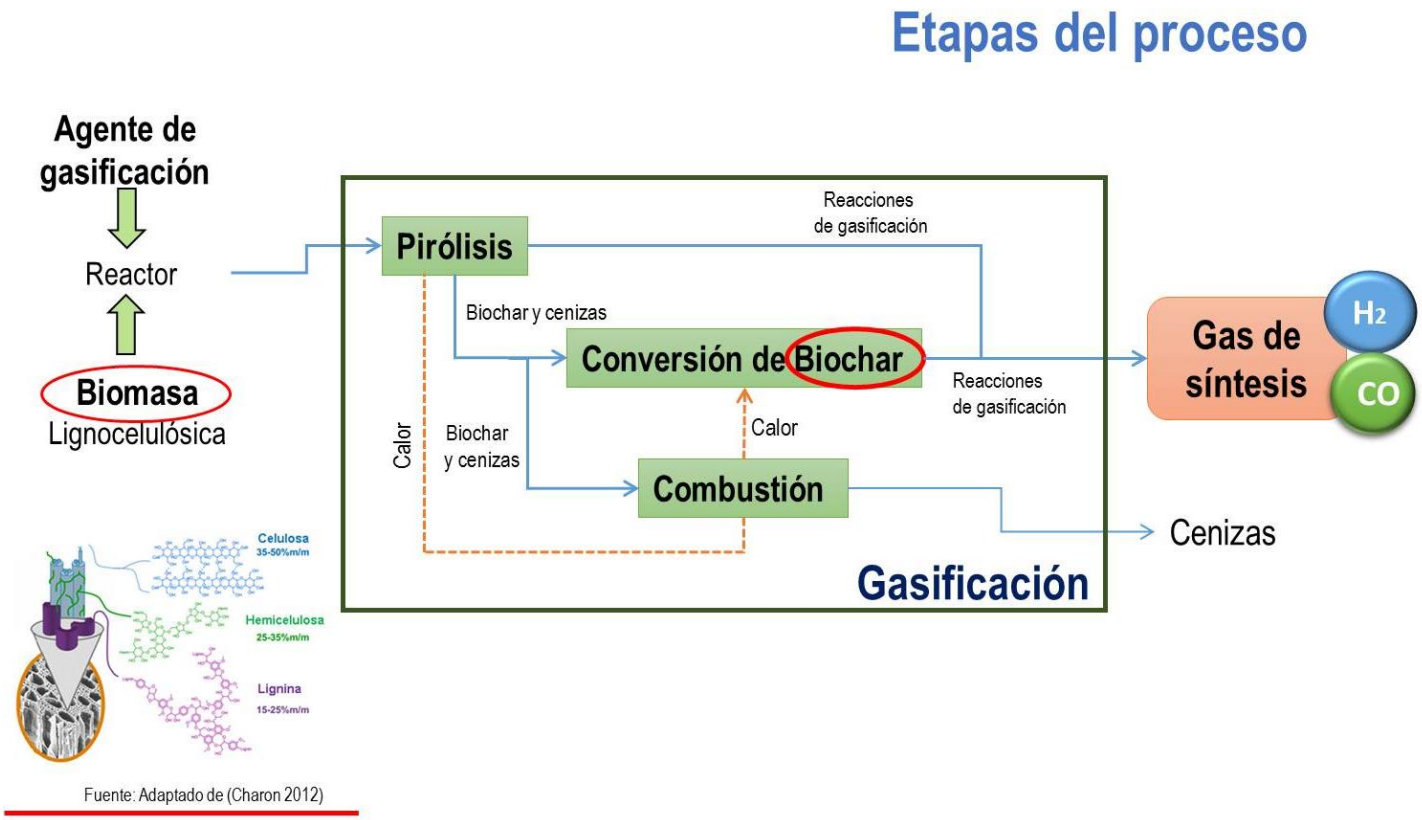


Figura 28 Etapas del proceso de gasificación

Las pruebas se realizaron a partir de Diciembre del año 2015, en conjunto con las pruebas realizadas en el proyecto HIBRELEC, para determinar el poder calorífico del gas producido mediante el proceso de gasificación; se desarrollaron pruebas con cascarilla suelta y cascarilla pelletizada, obteniendo mejores resultados con la cascarilla pelletizada (ver figura 29.).

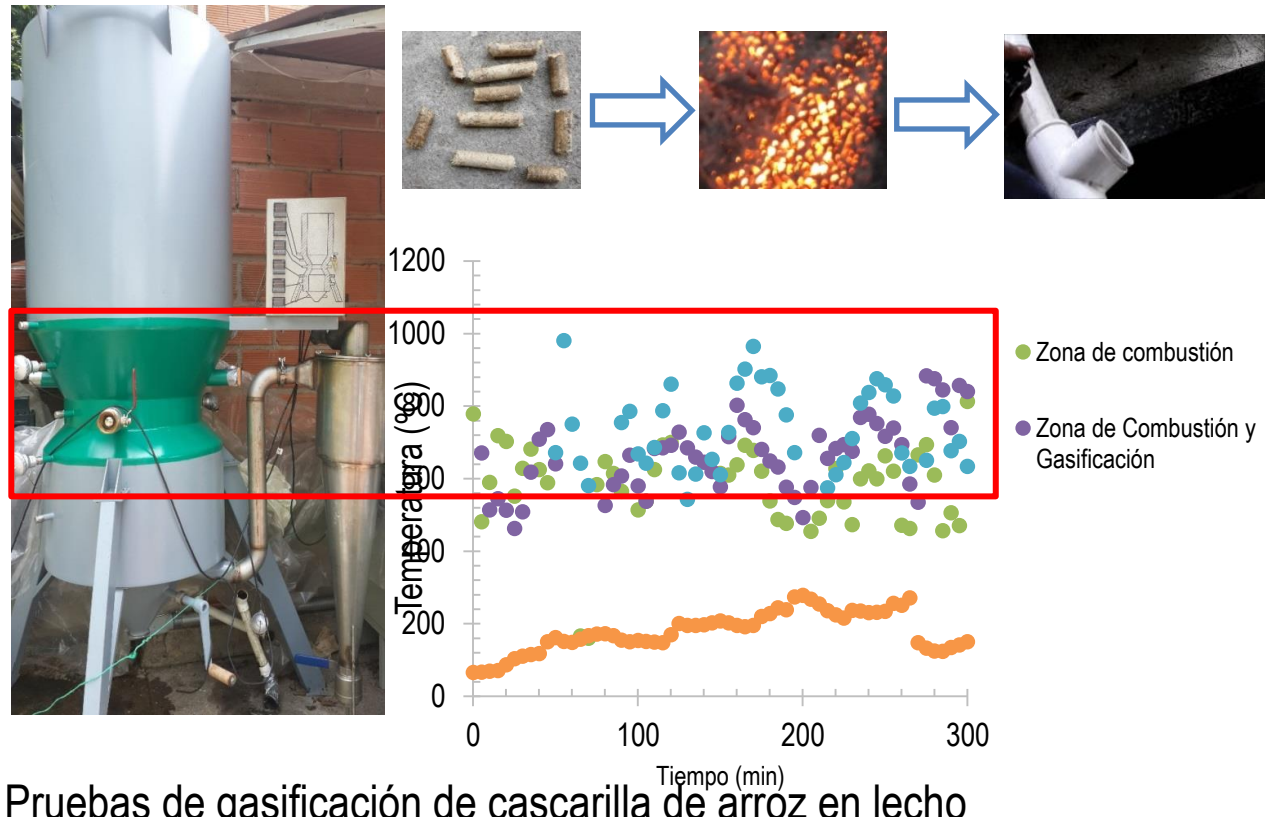


Figura 29. Pruebas de gasificación de cascarilla en lecho fijo Down-Draft

Para las pruebas realizadas con la cascarilla suelta se registró la temperatura en la zona de secado, zona de combustión y en la zona de gasificación (ver figura 30.). El reactor en la parte inferior posee un punto para realizar la extracción de gases que posteriormente serán analizados.

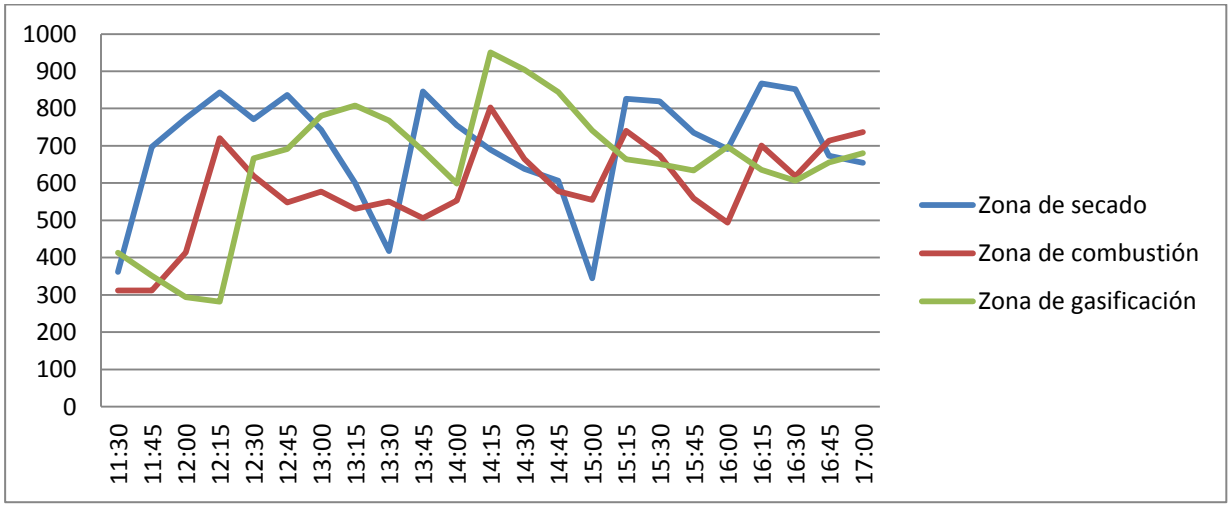
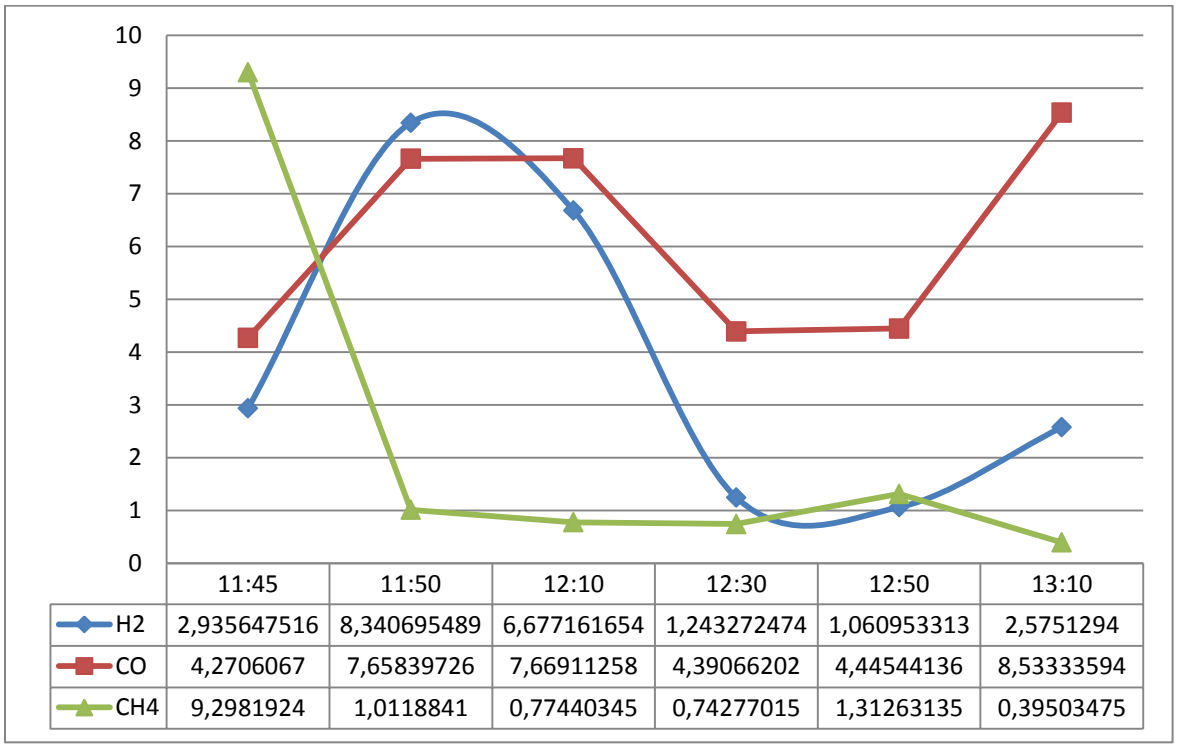


Figura 30. Evolución de la temperatura (°C) en las diferentes zonas del reactor Dawn-Draft encendido. (Ver Anexo B)

En la Figura 27 se presenta el comportamiento de las temperaturas en las zonas secado, combustión y gasificación, las cuales se tomaron mediante el uso de termocuplas tipo K instaladas en el reactor. En cada zona se tienen dos termocuplas conectadas, por lo cual, las temperaturas presentadas son el resultado de la semisuma tomadas en cada par de puntos para las mediciones realizadas. Obsérvese que a las 12:30 pm, en la zona de gasificación se alcanza una temperatura que supera los 600°C, la cual se mantiene por encima de este valor durante el resto del proceso, alcanzando incluso temperatura de 950,5°C a las 14:15 del día. Durante este tiempo, se nota un aumento en la concentración de monóxido de carbono e hidrogeno, como se puede observar en la figura 31.



	11:45	11:50	12:10	12:30	12:50	13:10
H2	2,935647516	8,340695489	6,677161654	1,243272474	1,060953313	2,5751294
CO	4,2706067	7,65839726	7,66911258	4,39066202	4,44544136	8,53333594
CH4	9,2981924	1,0118841	0,77440345	0,74277015	1,31263135	0,39503475

Figura 31 Composición de gases producto de la gasificación (ver Anexo B)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la figura 31. Se procede a calcular el poder calorífico inferior (PCI), a partir de las concentraciones de gases obteniendo valores por encima de 3 MJ/Nm^3. (ver figura 32).

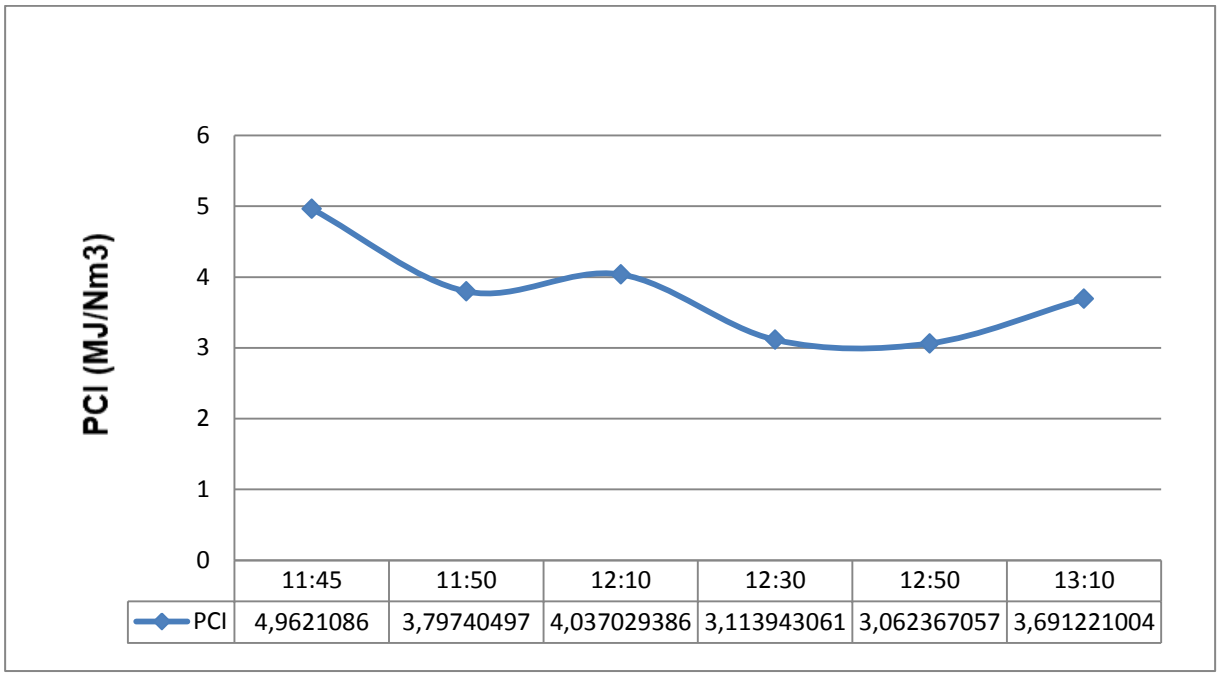


Figura 32 Evolución del poder calorífico

Los resultados aquí presentados indican que es viable implementar sistemas híbridos en el Departamento del Chocó, teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos en la zona. El recurso solar presenta un potencial importante, en la mayoría de los municipios la radiación es superior a 3.5 kWh/m-día, (ver tabla 5) y por otro lado se tiene disponibilidad de recursos biomásicos a lo largo y ancho de todo el Departamento, por lo dicho anteriormente se puede decir que instalar un sistema híbrido con estas condiciones llega a ser auto-sostenible.

CONCLUSIONES PARCIALES

- El sistema Híbrido funciona, se probó satisfactoriamente.
- Se desarrolló un sistema de limpieza sencillo con materiales de fácil consecución y adaptable para el Chocó.
- La gasificación de cascarilla genera gases combustibles con PCI apto para ser utilizado en MCI; por lo tanto extrapolable a la región del Chocó.

En la figura 33 se presentan las zonas en las cuales se puede implementar sistemas de producción de energías de acuerdo con los potenciales registrados en cada municipio.

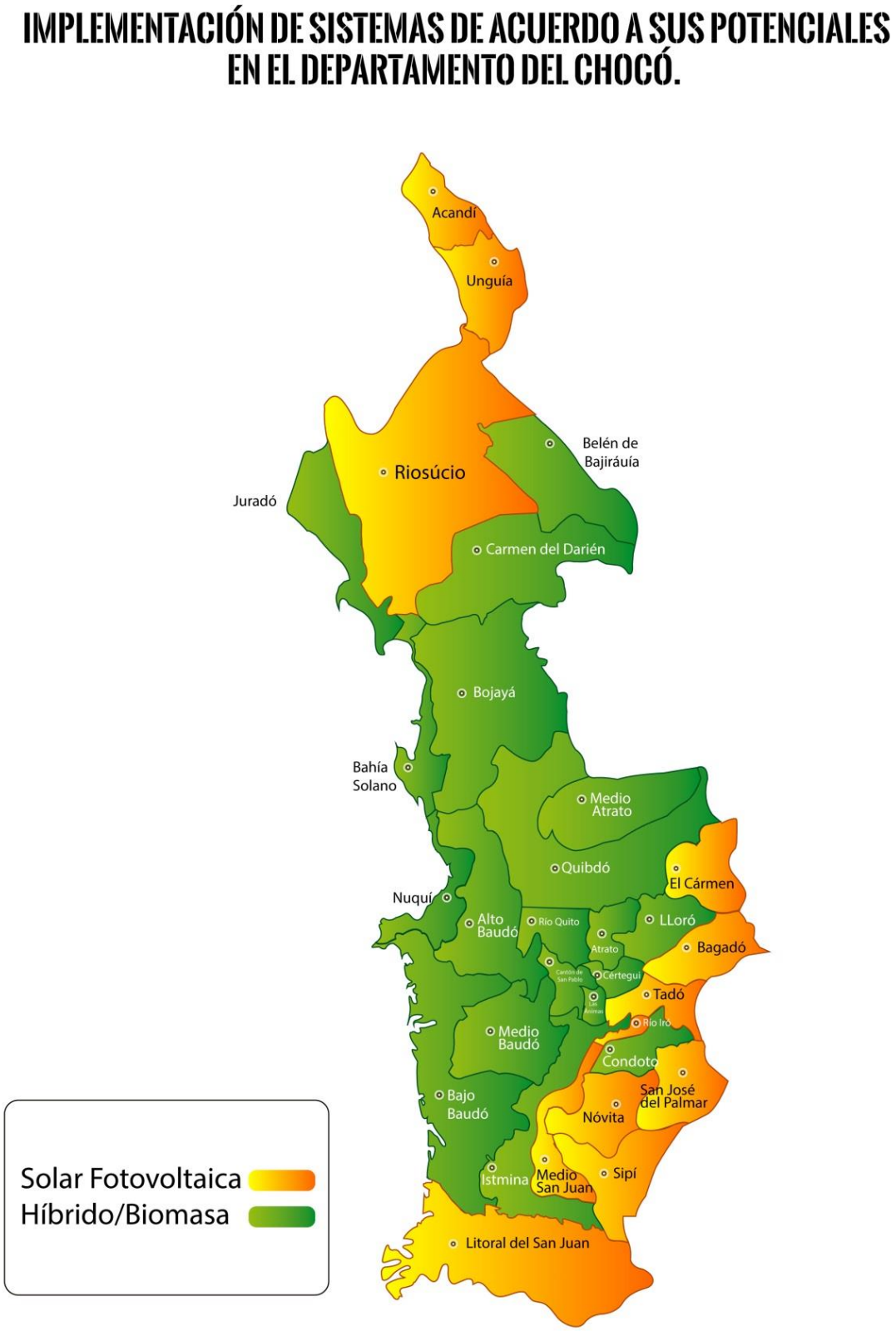


Figura 33. Implementación de sistemas de acuerdo a sus potenciales.

De acuerdo con los potenciales que se registran en el Departamento del Chocó, en la figura 30 se presentan los municipios en los cuales se puede implementar sistemas de producción de energía teniendo en cuenta los potenciales asentados en la zona, a lo largo y ancho del Departamento se pueden instalar sistemas de biomasa y híbrido; en algunas municipios como, Nóvita, Bagadó, Acandí, Unguía, Carmen de Atrato, Riosucio, Litoral del san Juan, Sipí, Medio San Juan, San José del palmar, Rio Iró y Tadó se puede pensar en instalar sistemas solar fotovoltaico como alternativa de solución a la problemática de energización ya que la radiación promedio es de 4.25kWh/m^2-día. De las 1.448 localidades perteneciente a las ZNI en Colombia 307 pertenecen al Departamento del Chocó, (IPSE, 2014) siendo el 21,2% de las ZNI. Por otro lado la región cuenta con recursos biomásicos muy importantes como Arroz, Caña, Maíz, Café, Plátano, Palma de aceite, etc, (UPME & IDEAM, 2015). Con potenciales energéticos que pueden ser aprovechados para cubrir la demanda energética que posee este Departamento. El Arroz tiene un potencial energético de 243,65TJ/año, la Caña de 1584,04TJ/año, el Maíz de 221,27TJ/año, el Plátano de 359,11TJ/año, Palma de aceite de 385,98TJ/año, (ver tabla 8), (UPME U., 2015).

Suplir de energía las comunidades aisladas es un problema complejo de resolver, puesto que muchas de estas comunidades no cuentan con vías de fácil acceso hasta su lugar de asentamiento, lo cual dificulta o imposibilita la construcción de una línea de alimentación eléctrica, es por ello que se propone como alternativa el aprovechamiento de energías renovables para la generación de electricidad en estas comunidades aisladas en el Departamento del Chocó, especialmente sistema hibrido (fotovoltaico-biomasa). El hecho de utilizar un sistema hibrido con las condiciones descritas anteriormente, podría significar un suministro continuo de energía eléctrica a una comunidad de una ZNI en el Chocó.

4 Conclusiones y recomendaciones

El sistema Híbrido funciona, se probó satisfactoriamente. Se desarrolló un sistema de limpieza sencillo con materiales de fácil consecución y adaptable para el Chocó; adicionalmente se logró determinar que la gasificación de cascarilla genera gases combustibles con PCI apto para ser utilizado en MCI; por lo tanto extrapolable a la región del Chocó

Al analizar, el recurso biomásico en las ZNI del Departamento del Chocó, se encontró que se tiene un potencial significativo, ya que para los municipios analizados se obtuvo una gran variedad en los recursos de biomasa, los cuales pueden ser utilizados energéticamente mediante el proceso de gasificación para dar solución al problema de interconexión que se vive en esta región y mejorar la calidad de vida. Adicionalmente, la disponibilidad del recurso solar en la región también presentaron valores significativos, puesto que para el análisis que se realizó a los municipios que pertenecen incluso 100% a ZNI tienen un promedio de radiación anual superior a 4kWh/m2 (ver tabla 5), por lo que se puede contemplar la posibilidad de implementar sistemas fotovoltaicos como solución energética para las ZNI en el Departamento del Chocó.

Los resultados obtenidos del proceso de gasificación muestran que el contenido de monóxido de carbono e hidrogeno aumentan a medida que se incrementa la temperatura en la zona de gasificación, mientras que el contenido de metano presenta un comportamiento inverso y se reduce a medida que aumenta la temperatura. Con relación a la composición de los gases se muestra que el gas obtenido posee un poder calorífico aceptable, por encima de 3 MJ/Nm^3. El gas de síntesis, producido mediante el proceso de gasificación es adecuado para ser introducido en el motor de combustión interna Down-Draft con el propósito de generar energía (ver figura 22), puesto que el porcentaje de CO obtenido fue mucho mayor al de CO_2, mostrando así que el gas tiene la capacidad de liberar energía a través de su combustión.

Implementar sistemas híbridos solar-biomasa, permite realizar una adecuada combinación energética en las ZNI del Departamento del Chocó, ya que fomenta al uso eficiente de los recursos naturales que se obtienen localmente y es un sistema que tiende a ser auto-

sostenible. Además la propuesta planteada en este proyecto contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de las regiones que por diversos factores se encuentran aisladas, a la reducción de la pobreza, a la disminución de contaminantes, etc.

Es importante desarrollar trabajos futuros enfocados a la determinación de la influencia de la variación de parámetros teniendo en cuenta los diferentes tipos de biomasa que se pueden utilizar en el proceso de gasificación para la producción de energía eléctrica.

Se recomienda desarrollar la integración de los sistemas híbridos constituidos por conjunto de equipos para electrólisis mediante solar - gasificación de biomasa, para la producción y almacenamiento de hidrógeno que permita el óptimo aprovechamiento de la energía residual del sistema híbrido solar-gasificación y la electrólisis de agua.

CASO DE APLICACIÓN EN EL CHOCÓ

Teniendo en cuenta que este proyecto se orienta a analizar los requerimientos para cubrir la demanda energética de las ZNI del Departamento del Chocó, se ha realizado un cálculo base en el cual se muestran los datos sobre los tipos y cantidad de cargas requeridas para el corregimiento de Torrá – Nóvita – Chocó (ver tabla 2), que cuenta con 150 viviendas aproximadamente y que además reúne las características promedio de las poblaciones a las cuales se podría atender a futuro con la implementación del sistema híbrido de energía solar /biomasa.

Tabla 7: Demanda Energética Corregimiento de Torrá -Nóvita-Chocó

Nº	EQUIPO	Pot.	Unid. Pot.	Horas operac./ Dia	Dias operac./ Mes	Horas operac./ Mes	kWh/Mes consumo /Equipo	Cantidad Equipos	kW calculado total	kWh/Mes Total
1	nevera	150	w	24	30	720	108	150	22,5	16.200,0
2	televisor	100	w	6	30	180	18	150	15,0	2.700,0
3	portátil	85	w	2	30	60	5	150	12,8	765,0
4	celular	6,5	w	2	30	60	1	450	2,9	175,5
5	bombillos	20	w	6	30	180	4	600	12,0	2.160,0
6	licuadora	500	w	0,2	30	6	3	150	75,0	450,0
7	lavadora	450	w	4	5	20	9	150	67,5	1.350,0
8	equipo de sonido	150	w	5	7	35	5	150	22,5	787,5
9	ventilador	300	w	1	25	25	8	150	45,0	1.125,0
10	plancha	130	w	2	5	10	1	150	19,5	195,0
11	radios	22	w	2	30	60	1	150	3,3	198,0
12	otros	400	w	2	30	60	24	300	120,0	7.200,0
	TOTAL								**418,0**	**33.306,0**

Fuente: Elaboración propia con base en (DANE, 2016)

En el consumo total se considera el caso en el cual todas las cargas se conectan en el día la cantidad promedio de horas especificadas en la tabla, incluyendo las que no se usan todos los días; además es importante considerar un incremento mínimo de un 10% en el consumo diario.

Se tiene un potencial de radiación de 4,25 kWh/m^2-año y un potencial de biomasa de 0,68 MWh/año = 680 kWh/año. En consecuencia para suplir de energía eléctrica esta comunidad se requiere un sistema solar de 150 kW y un sistema de gasificación de 268 kW, el costo estimado para su instalación es de 800 millones de pesos.

A. Datos de Radiación Solar.

Estación Meteorológica de la Universidad Tecnológica Del Chocó "Diego Luis Córdoba" Glo, Pro (kWh/m2)												
Día	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
1	1,75	1,97	2,02	2,83	1,63	2,86	5,12	1,69	2,17	3,91	3,37	4,31
2	1,99	1,78	1,34	2,76	1,72	2,80	3,81	2,56	1,82	3,42	3,40	3,53
3	1,40	1,73	2,77	1,90	2,57	2,86	3,18	2,48	2,10	4,28	2,81	3,88
4	1,60	0,78	2,44	1,55	0,10	3,65	3,60	1,70	1,97	3,82	3,92	4,87
5	1,48	0,38	3,00	2,75	2,47	3,62	4,46	3,00	1,92	5,16	5,22	2,94
6	1,94	1,12	2,22	1,96	1,00	4,45	3,45	2,20	2,64	4,92	2,87	2,97
7	2,16	1,51	2,69	2,33	1,88	3,21	4,49	3,16	2,80	3,27	4,91	2,85
8	1,39	1,10	2,84	2,98	1,49	4,04	4,52	2,82	2,80	2,81	2,84	3,66
9	2,14	2,00	1,43	3,23	1,20	4,04	3,87	2,53	4,47	4,00	4,23	3,91
10	1,24	1,72	2,05	2,14	2,65	3,77	3,81	2,22	4,08	3,33	3,62	2,82
11	1,79	2,21	2,78	1,62	2,11	4,16	2,80	0,16	4,23	4,49	2,81	3,69
12	1,98	1,52	2,39	1,98	0,85	4,10	3,24	1,72	4,20	3,05	3,25	3,66
13	0,64	1,31	3,42	2,26	2,15	4,07	4,05	1,56	3,93	4,74	3,71	4,22
14	0,90	2,08	2,63	3,17	1,39	2,80	2,44	2,44	4,14	2,81	4,48	2,91
15	1,98	1,79	3,43	3,11	1,43	4,13	2,60	1,07	4,77	2,81	3,86	2,82
16	1,79	0,61	1,86	1,36	1,62	3,51	2,65	2,33	4,11	2,96	2,81	2,82
17	1,69	1,09	2,77	3,18	3,87	3,56	2,87	2,47	3,05	2,81	4,08	3,44
18	1,46	1,84	0,90	2,84	4,47	3,98	1,72	3,02	4,11	3,73	3,99	3,69
19	0,97	2,38		1,38	4,85	3,45	2,12	2,32	4,90	4,00	4,14	2,82
20	1,79	1,43	1,99	1,45	4,94	5,84	2,64	2,42	4,05	3,85	4,39	4,35
21	2,16	2,29	1,67	1,54	3,34	3,68	2,39	2,12	3,38	3,48	4,42	3,78
22	1,82	2,29	1,70	2,53	4,79	3,65	1,73	2,74	4,44	5,66	4,51	4,25
23	2,15	2,10	2,76	2,45	4,23	3,39	2,00	1,90	3,87	3,45	4,92	2,85
24	1,38	1,19	2,08	2,81	3,45	5,01	2,33	2,38	4,02	2,90	3,22	3,03
25	1,10	1,24	1,81	2,59	3,81	3,92	2,18	1,27	3,11	4,01	5,23	3,81
26	2,15	3,06	1,31	1,19	4,52	4,04	2,93	3,34	4,59	5,48	4,27	2,82
27	0,98	2,11	2,21	3,12	4,26	3,15	2,08	1,86	3,56	5,05	3,19	2,94
28	1,74	2,34	2,05	1,80	3,39	4,86	1,96	2,75	3,72	2,81	2,91	3,41
29	0,80		0,76	3,06	5,71	2,80	0,38	3,06	3,05	4,31	2,82	3,16
30	0,95		2,47	2,70	4,49	2,80	1,27	2,62	5,54	2,81	2,91	2,82
31	1,58		2,52		2,86		2,32	2,86		4,77		3,38
Promedio	1,58	1,68	2,21	2,35	2,88	3,74	2,87	2,28	3,58	3,84	3,77	3,43
mínima	0,64	0,38	0,76	1,19	0,10	2,80	0,38	0,16	1,82	2,81	2,81	2,82
máxima	2,16	3,06	3,43	3,23	5,71	5,84	5,12	3,34	5,54	5,66	5,23	4,87
máximo	3,84	Octubre										
mínimo	1,58	Enero										

Estación Meteorológica de la Universidad Tecnológica Del Chocó "Diego Luis Córdoba"
Glo, Pro TEM (°C)

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	24,04	25,61	25,04	26,19	25,48	25,300	28,3	24,04	26,16	25,5	26,5	26,7
2	24,45	25,33	23,87	26,68	25,47	24,000	25,4	25,36	24,96	25,5	26,8	25,8
3	23,74	25,88	24,81	24,56	27,19	26,900	26,1	25,66	24,08	25,9	23,8	25,2
4	24	25,26	25,23	24,51	23,48	27,200	27,9	24,7	24,57	25,9	26	25,1
5	23,55	23,6	26,05	25,9	26,22	26,500	25,5	26,62	24,81	27,5	28,1	25,5
6	24,94	24,13	25,39	24,93	25,3	26,200	25,1	26,99	26,14	27,1	25,3	25,4
7	25,24	24,97	25,53	24,93	25,97	27,300	27,6	27,15	24,4	25,4	26,3	24,7
8	23,93	23,35	26,55	24,97	25,31	27,300	28,8	26,26	24,3	24	25	25,6
9	24,75	24,36	25,35	25,73	24,58	27,700	27,4	26,87	26,3	25,5	26,1	26,5
10	23,61	24,77	24,18	24,64	25,34	27,200	26,5	25,16	26,4	26,2	24,7	25
11	24,95	25,41	25,07	23,9	26,9	27,900	24,7	26,63	26,6	25,9	23,5	24,8
12	25,46	25,57	24,52	24,83	24,39	27,500	24,6	24,45	26,6	25	24,1	25
13	24,05	25,67	25,49	23,92	25,93	28,300	24	23,47	27,4	25,7	25	25,3
14	23,69	25,58	25,47	25,52	24,35	25,600	23,52	24,97	25,8	23,5	27	24,3
15	25,31	25,27	26,12	26,03	23,94	26,400	24,18	23,48	26,6	23,6	25,4	23,5
16	24,88	23,76	24,52	24,04	24,63	25,200	24,69	23,97	26	24,3	23,8	23,4
17	24,4	24,01	26,03	25,52	27,500	25,400	25,89	24,61	25	22,5	25	24,9
18	25,2	24,98	24,44	26,19	27,100	25,800	24	25,81	27	24,5	25,2	25
19	24,03	25,17	24,27	24,35	27,400	25,100	25,2	24,71	26,5	25,9	25,5	24,2
20	24,96	24,84	24,83	24,56	27,700	28,000	26,28	24,77	26,9	26,3	25,6	26,5
21	24,64	25,73	24,13	23,21	25,600	27,600	26,34	24,4	27	25,1	26	26
22	24,71	26,45	23,64	24,59	26,500	26,000	26,19	25,44	26,8	26,5	25,3	26,3
23	25,54	25,93	24,53	25,56	26,100	24,400	26,16	24,88	26,8	25,5	26,2	25,4
24	24,51	24,25	25,57	25,77	26,500	26,200	26,13	25,36	26	24,5	25,3	25
25	24,73	24,63	25,48	26,6	27,400	26,000	26,4	24,04	24,9	24,3	27,5	26,3
26	25,85	26,77	23,85	24,12	26,800	27,100	25,77	26,51	26,6	26,3	27,1	24,3
27	24,03	26,04	26,39	26,31	25,600	27,100	25,17	25,49	27,4	26,8	25,8	26,2
28	24,47	25,07	25,84	25,13	25,400	28,800	25,21	25,43	26,5	24,2	24,5	26,2
29	23,5		24,5	25,36	27,300	25,700	22,7	25,6	25,2	25	23,5	25,6
30	23,81		25,58	27,03	27,800	25,300	23,69	25,89	27,2	24,4	24,4	25,5
31	24,57		25,45		24,600		24,21	26,42		26,5		26,5
promedio	24,5013	25,085	25,088	25,186	25,928	26,5	25,6	25,33	26,031	25,32	25,48	25,345

Estación Meteorológica de la Universidad Tecnológica Del Chocó "Diego Luis Córdoba" Glo, Pro (kw/m2) 2012

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	4,44	3,24	3,45	3,76	2,95	3,06	4,30	4,41	5,07	5,13	2,71	1,70
2	2,82	3,31	3,30	4,86	4,52	3,62	4,77	3,93	4,53	4,00	1,96	1,98
3	3,63	4,01	4,30	4,33	4,66	3,74	2,80	4,47	4,77	3,63	1,92	0,78
4	3,66	3,67	3,84	2,81	2,92	3,18	5,42	3,90	3,11	4,09	1,57	2,20
5	2,82	3,21	3,18	2,81	4,37	3,15	3,39	4,23	4,04	4,15	1,59	1,51
6	3,69	2,81	2,96	4,92	3,89	4,77	4,80	3,69	5,20	4,74	1,67	1,25
7	4,50	3,03	5,03	3,49	3,27	3,51	3,65	4,05	3,02	4,77	2,08	2,04
8	4,47	2,81	3,90	3,07	3,83	2,86	3,39	4,08	4,59	3,14	2,49	1,66
9	4,59	4,35	4,30	4,92	2,80	3,65	2,80	3,81	4,35	3,63	2,15	1,34
10	3,75	3,61	2,81	3,76	3,30	4,27	3,33	3,81	4,44	3,21	0,90	1,71
11	3,22	3,80	3,33	4,18	3,13	3,57	2,80	3,51	4,41	3,39	1,95	1,23
12	2,91	3,30	3,24	3,58	3,18	2,92	5,25	3,57	2,80	4,65	0,43	0,56
13	3,88	4,22	4,27	4,21	3,10	4,13	3,92	4,47	3,29	4,86	1,20	1,38
14	2,94	3,79	2,81	4,27	2,98	3,71	4,21	4,38	4,29	3,97	1,85	1,24
15	3,32	4,90	4,45	4,71	5,07	2,80	3,21	4,41	4,35	4,00	0,92	1,72
16	4,44	3,12	2,81	3,94	3,15	3,65	5,30	3,28	3,35	2,81	0,59	2,13
17	2,88	4,22	2,81	2,98	3,33	4,36	2,80	2,98	2,81	3,97	2,24	1,92
18	3,88	3,98	4,51	4,44	3,57	2,89	4,13	4,32	4,08	2,81	1,93	0,86
19	4,19	3,98	3,14	5,49	2,86	4,83	5,10	3,90	4,44	4,37	1,21	2,20
20	3,38	3,76	4,81	4,06	4,31	3,77	2,80	3,63	3,38	4,03	2,29	1,96
21	3,50	3,15	3,17	4,35	4,51	3,42	3,68	4,86	4,62	4,28	1,67	1,78
22	3,50	3,06	3,63	3,55	3,27	4,95	3,95	3,99	4,23	4,25	0,34	1,16
23	4,66	3,64	4,08	4,29	4,19	4,83	3,54	5,06	2,81	4,00	1,02	1,74
24	2,82	3,15	2,84	3,49	3,95	4,07	3,33	2,95	3,35	4,04	2,07	1,33
25	5,31	3,15	4,32	3,37	3,01	4,69	4,48	4,47	3,05	5,20	1,29	0,36
26	2,82	4,80	3,14	2,92	3,27	3,21	4,75	4,62	4,56	3,27	1,83	1,45
27	3,97	3,06	4,51	4,14	4,42	4,60	3,01	2,92	4,08	3,49	1,38	1,38
28	3,35	2,87	3,14	2,83	4,30	3,68	2,86	4,68	3,11	3,64	1,84	1,62
29	2,82	4,07	3,69	3,96	3,51	4,63	3,33	2,80	4,84	3,49	1,20	1,45
30	2,88		2,99	2,80	2,80	4,04	2,80	3,49	2,81	4,28	1,50	1,03
31	3,13		3,41		4,48		4,92	4,17		4,28		0,93
Promedio	3,62	3,59	3,62	3,88	3,64	3,82	3,83	3,96	3,93	3,99	1,59	1,47
Mínima	2,82	2,81	2,81	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,81	0,34	0,36
Máxima	5,31	4,90	5,03	5,49	5,07	4,95	5,42	5,06	5,20	5,20	2,71	2,20
Máximo	3,986	Octubre										
Mínimo	1,471	Diciembre										

Estación Meteorológica de la Universidad Tecnológica Del Chocó "Diego Luis Córdoba"
Glo, Pro (kw/m2)
2013

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	2,02	1,06	1,04	2,58	2,25	0,68	1,41	1,77	1,81	2,17	1,73	3,27
2	1,84	0,93	1,20	0,78	0,86	2,67	1,95	1,02	2,26	1,85	1,27	1,89
3	2,15	0,58	1,82	0,73	2,19	2,57	1,98	1,74	0,10	1,58	2,26	1,99
4	1,40	1,50	0,96	1,58	1,92	1,74	1,69	1,84	2,03	0,71	2,25	2,07
5	1,88	0,43	1,87	1,69	2,24	1,34	2,12	2,28	1,25	1,87	1,85	2,08
6	1,45	0,96	1,85	1,16	1,30	0,98	1,65	1,78	2,01	2,02	2,05	2,07
7	1,09	1,62	1,60	1,16	2,11	2,20	1,95	1,09	1,49	1,96	1,61	2,08
8	1,88	0,78	2,02	1,28	1,02	1,82	1,82	1,19	1,27	1,83	1,54	2,11
9	1,95	1,01	1,11	1,41	2,54	1,89	1,51	1,75	1,83	1,56	1,74	2,19
10	2,21	1,15	0,74	0,04	1,31	2,07	1,65	1,82	2,13	1,92	2,47	2,06
11	1,69	1,50	1,57	2,05	2,40	1,43	1,84	1,68	2,44	0,85	2,03	2,08
12	1,53	2,20	0,64	2,22	1,08	1,34	2,54	1,92	1,52	2,70	1,57	2,09
13	1,27	0,81	1,48	1,33	2,26	2,01	1,91	2,35	1,86	0,86	1,46	2,82
14	0,62	2,32	0,76	1,49	0,92	1,53	2,10	1,25	2,34	2,01	1,95	3,35
15	1,25	1,68	0,73	1,11	1,44	0,88	2,22	2,20	1,34	0,92	1,70	3,19
16	1,16	1,85	0,83	1,62	1,09	2,41	0,84	1,94	2,13	1,39	2,44	3,63
17	1,62	1,01	1,61	2,23	1,68	1,91	1,92	1,91	1,88	1,74	1,98	2,82
18	1,56	0,43	1,24	0,93	1,38	2,04	1,27	2,03	0,53	1,81	1,22	3,78
19	1,23	1,40	2,44	1,29	2,15	1,64	0,61	1,81	2,22	2,05	0,97	5,37
20	0,98	1,72	2,25	0,99	2,40	1,63	1,67	1,62	1,55	2,17	1,16	2,85
21	1,42	1,31	1,38	1,55	0,95	1,82	1,81	2,01	2,28	1,61	2,21	3,22
22	1,51	1,05	0,66	2,55	1,54	1,90	2,03	2,04	2,20	0,95	2,00	3,00
23	1,01	1,37	2,34	2,25	1,99	1,47	1,91	2,11	0,90	1,67	1,83	3,22
24	0,55	0,95	1,36	2,37	1,91	1,44	1,77	1,76	1,55	2,33	1,02	3,81
25	0,68	1,06	1,79	1,64	1,70	1,16	2,32	1,14	1,47	0,82	1,40	4,97
26	1,69	2,11	1,88	1,49	2,25	1,27	2,21	1,45	0,80	1,76	2,00	5,69
27	1,19	0,91	0,93	2,00	1,61	2,25	1,68	2,35	2,23	2,26	2,13	4,59
28	1,64	1,18	2,39	1,68	2,24	0,47	1,56	2,28	1,60	0,54	1,99	4,13
29	0,91		1,92	1,93	0,99	0,73	2,21	2,23	1,95	2,60	1,82	3,63
30	1,30		1,60	1,27	2,49	2,46	1,63	2,13	1,56	1,92	1,45	2,82
31	1,07		1,97		1,46		1,88	2,49		1,36		3,19
Promedio	1,41	1,25	1,48	1,55	1,73	1,66	1,80	1,84	1,68	1,67	1,77	3,10
mínima	0,55	0,43	0,64	0,04	0,86	0,47	0,61	1,02	0,10	0,54	0,97	1,89
máxima	2,21	2,32	2,44	2,58	2,54	2,67	2,54	2,49	2,44	2,70	2,47	5,69
máximo	3,10	Diciembre										
mínimo	1,25	Febrero										

Estación Meteorológica de la Universidad Tecnológica Del Chocó "Diego Luis Córdoba" Glo, Pro (kWh/m2) 2014

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	2,97	3,80	2,81	1,82	2,11	3,18	4,80	1,93	2,56	1,98	1,95	1,55
2	3,03	2,81	4,27	1,49	1,89	2,83	5,13	1,44	1,94	2,13	2,23	1,41
3	3,66	3,21	4,39	1,83	0,89	4,80	3,59	1,72	0,76	0,99	1,96	1,42
4	3,69	3,31	5,30	0,94	1,71	3,06	4,04	2,20	2,46	1,70	1,61	0,40
5	2,94	2,81	4,03	1,96	1,32	4,16	3,62	1,72	2,35	2,74	0,84	1,26
6	2,82	3,86	3,69	1,82	1,80	3,48	4,21	2,13	1,98	2,08	1,70	0,95
7	3,13	4,10	2,81	0,99	1,74	3,33	4,36	1,57	1,34	1,99	1,48	1,11
8	4,84	4,41	4,18	0,89	1,34	4,63	4,42	1,89	2,17	1,47	1,93	1,45
9	2,82	2,91	2,04	1,13	0,96	4,16	3,68	2,19	1,54	1,68	1,37	2,28
10	5,22	3,98	1,11	1,50	1,27	4,24	2,83	1,82	2,46	1,93	1,98	1,09
11	3,75	3,12	1,53	2,10	2,45	4,33	4,69	2,07	1,30	2,38	1,60	1,64
12	3,28	4,13	1,47	1,60	1,93	2,80	4,80	2,05	1,00	1,70	1,55	1,98
13	3,72	3,79	2,10	0,50	2,79	4,36	5,36	1,99	1,70	1,71	1,18	2,14
14	4,41	3,21	0,55	1,92	1,26	3,54	3,92	1,09	1,83	0,74	1,84	0,78
15	4,69	3,33	1,44	2,21	1,20	3,59	3,95	2,14	0,89	2,29	2,31	2,33
16	3,78	2,81	0,99	0,91	1,88	4,33	3,54	2,10	2,62	1,39	2,19	1,80
17	4,13	3,95	0,62	2,13	1,34	4,60	1,98	1,88	2,14	1,96	1,88	1,61
18	3,32	2,94	1,55	1,24	1,81	3,89	1,48	1,34	2,00	1,91	1,79	0,46
19	2,85	2,84	0,69	0,66	1,79	3,89	1,40	2,21	2,07	1,02	2,45	1,90
20	2,97	3,21	1,62	1,68	1,75	3,45	2,24	2,21	0,47	1,57	1,74	1,90
21	2,94	3,09	1,35	1,36	1,73	3,83	2,36	1,85	1,89	1,46	2,50	0,80
22	3,22	2,97	1,45	1,82	1,59	3,83	1,81	2,01	2,18	1,89	2,02	1,69
23	3,78	3,09	2,06	1,94	1,64	3,45	1,49	1,20	0,87	1,08	1,61	1,60
24	4,34	3,09	1,27	1,56	1,69	2,80	2,23	2,27	1,78	2,11	2,17	1,73
25	2,82	2,87	0,79	1,38	1,67	4,12	1,95	1,58	2,18	1,66	1,99	1,77
26	4,06	3,49	1,94	1,34	1,71	3,92	2,19	1,35	0,48	2,05	0,29	1,66
27	4,13	2,81	1,73	1,19	1,69	2,95	1,87	1,45	2,29	0,52	0,69	1,63
28	4,06	4,16	1,63	2,07	1,68	5,75	2,13	2,90	2,52	2,10	2,19	1,58
29	3,31		1,50	1,63	1,68	2,83	1,66	1,92	1,85	1,91	1,09	0,84
30	2,82		0,81	1,13	1,67	3,33	2,37	1,98	1,98	0,92	1,18	1,70
31	4,37		0,97		1,68		1,79	1,86		1,73		2,03
Promedio	3,61	3,36	2,02	1,49	1,67	3,78	3,09	1,87	1,79	1,70	1,71	1,50
mínima	2,82	2,81	0,55	0,50	0,89	2,80	1,40	1,09	0,47	0,52	0,29	0,40
máxima	5,22	4,41	5,30	2,21	2,79	5,75	5,36	2,90	2,62	2,74	2,50	2,33
Máximo	3,78	junio										
Mínimo	1,49	abril										

	Energía	Energía	Energía	Rendimiento
Fecha	Fronius IG Plus V 5.0-1 UNI_1 [Wh]	kWh	kWh/kWp	%
27/05/2014	162,11	0,16211	0,032422	0,64844
28/05/2014	18256,71	18,2567	3,651342	73,02684
29/05/2014	14538,55	14,5386	2,90771	58,1542
30/05/2014	19914,67	19,9147	3,982934	79,65868
31/05/2014	20009,24	20,0092	4,001848	80,03696
01/06/2014	17253,31	17,2533	3,450662	69,01324
02/06/2014	18096,35	18,0964	3,61927	72,3854
03/06/2014	20942,42	20,9424	4,188484	83,76968
04/06/2014	18425,18	18,4252	3,685036	73,70072
05/06/2014	16021,7	16,0217	3,20434	64,0868
06/06/2014	17839,04	17,839	3,567808	71,35616
07/06/2014	17356,43	17,3564	3,471286	69,42572
08/06/2014	21791,55	21,7916	4,35831	87,1662
09/06/2014	18308,53	18,3085	3,661706	73,23412
10/06/2014	20979,55	20,9796	4,19591	83,9182
11/06/2014	18987,44	18,9874	3,797488	75,94976
12/06/2014	15005,57	15,0056	3,001114	60,02228
13/06/2014	16122,68	16,1227	3,224536	64,49072
14/06/2014	17706,78	17,7068	3,541356	70,82712
15/06/2014	19561,52	19,5615	3,912304	78,24608
16/06/2014	20984,09	20,9841	4,196818	83,93636
17/06/2014	18527,4	18,5274	3,70548	74,1096
18/06/2014	18980,86	18,9809	3,796172	75,92344
19/06/2014	17721,56	17,7216	3,544312	70,88624
20/06/2014	18220,91	18,2209	3,644182	72,88364
21/06/2014	17015,47	17,0155	3,403094	68,06188
22/06/2014	16063,83	16,0638	3,212766	64,25532
23/06/2014	17803,09	17,8031	3,560618	71,21236
24/06/2014	19418,54	19,4185	3,883708	77,67416
25/06/2014	12172,77	12,1728	2,434554	48,69108
26/06/2014	18567,63	18,5676	3,713526	74,27052
27/06/2014	20243,43	20,2434	4,048686	80,97372
28/06/2014	16652,06	16,6521	3,330412	66,60824
29/06/2014	18919,59	18,9196	3,783918	75,67836
30/06/2014	16765,32	16,7653	3,353064	67,06128
01/07/2014	18911,24	18,9112	3,782248	75,64496
02/07/2014	19613,43	19,6134	3,922686	78,45372
03/07/2014	20779,56	20,7796	4,155912	83,11824

04/07/2014	19551,96	19,552	3,910392	78,20784
05/07/2014	19069,52	19,0695	3,813904	76,27808
06/07/2014	17754,44	17,7544	3,550888	71,01776
07/07/2014	15273,52	15,2735	3,054704	61,09408
08/07/2014	20481,53	20,4815	4,096306	81,92612
09/07/2014	20392,95	20,393	4,07859	81,5718
10/07/2014	18528,08	18,5281	3,705616	74,11232
11/07/2014	18680	18,68	3,736	74,72
12/07/2014	18981,79	18,9818	3,796358	75,92716
13/07/2014	20390,1	20,3901	4,07802	81,5604
14/07/2014	20293,84	20,2938	4,058768	81,17536
15/07/2014	17374,85	17,3749	3,47497	69,4994
16/07/2014	18234,58	18,2346	3,646916	72,93832
17/07/2014	16058	16,058	3,2116	64,232
18/07/2014	17428,59	17,4286	3,485718	69,71436
19/07/2014	18756,97	18,757	3,751394	75,02788
20/07/2014	18143,95	18,144	3,62879	72,5758
21/07/2014	19167,39	19,1674	3,833478	76,66956
22/07/2014	18754,03	18,754	3,750806	75,01612
23/07/2014	18410,34	18,4103	3,682068	73,64136
24/07/2014	19118,92	19,1189	3,823784	76,47568
25/07/2014	21126,9	21,1269	4,22538	84,5076
26/07/2014	17828,63	17,8286	3,565726	71,31452
27/07/2014	19471,45	19,4715	3,89429	77,8858
28/07/2014	21665,5	21,6655	4,3331	86,662
29/07/2014	20919,89	20,9199	4,183978	83,67956
30/07/2014	20947,24	20,9472	4,189448	83,78896
31/07/2014	20943,13	20,9431	4,188626	83,77252
01/08/2014	21062,99	21,063	4,212598	84,25196
02/08/2014	17044,06	17,0441	3,408812	68,17624
03/08/2014	16737,18	16,7372	3,347436	66,94872
04/08/2014	21988,23	21,9882	4,397646	87,95292
05/08/2014	20643,92	20,6439	4,128784	82,57568
06/08/2014	19025,76	19,0258	3,805152	76,10304
07/08/2014	22023,61	22,0236	4,404722	88,09444
08/08/2014	22004,03	22,004	4,400806	88,01612
09/08/2014	21624,28	21,6243	4,324856	86,49712
10/08/2014	22193,52	22,1935	4,438704	88,77408
11/08/2014	21191,65	21,1917	4,23833	84,7666
12/08/2014	19932,74	19,9327	3,986548	79,73096
13/08/2014	18573,07	18,5731	3,714614	74,29228
14/08/2014	17467,3	17,4673	3,49346	69,8692

15/08/2014	23327,67	23,3277	4,665534	93,31068
16/08/2014	21735,26	21,7353	4,347052	86,94104
17/08/2014	20161,7	20,1617	4,03234	80,6468
18/08/2014	17688,15	17,6882	3,53763	70,7526
19/08/2014	20384,64	20,3846	4,076928	81,53856
20/08/2014	21266,61	21,2666	4,253322	85,06644
21/08/2014	22455,41	22,4554	4,491082	89,82164
22/08/2014	18269,62	18,2696	3,653924	73,07848
23/08/2014	16743,36	16,7434	3,348672	66,97344
24/08/2014	24176,49	24,1765	4,835298	96,70596
25/08/2014	18416,78	18,4168	3,683356	73,66712
26/08/2014	17588,22	17,5882	3,517644	70,35288
27/08/2014	17291,27	17,2913	3,458254	69,16508
28/08/2014	19733,58	19,7336	3,946716	78,93432
29/08/2014	24426,29	24,4263	4,885258	97,70516
30/08/2014	24938,57	24,9386	4,987714	99,75428
31/08/2014	23589,81	23,5898	4,717962	94,35924
01/09/2014	23261,77	23,2618	4,652354	93,04708
02/09/2014	16270,4	16,2704	3,25408	65,0816
03/09/2014	22766,09	22,7661	4,553218	91,06436
04/09/2014	21760,95	21,761	4,35219	87,0438
05/09/2014	22044,99	22,045	4,408998	88,17996
06/09/2014	19516,21	19,5162	3,903242	78,06484
07/09/2014	18572,19	18,5722	3,714438	74,28876
08/09/2014	22439,17	22,4392	4,487834	89,75668
09/09/2014	20859,81	20,8598	4,171962	83,43924
10/09/2014	18258,59	18,2586	3,651718	73,03436
11/09/2014	15823,57	15,8236	3,164714	63,29428
12/09/2014	15877,1	15,8771	3,17542	63,5084
13/09/2014	29208,3	29,2083	5,84166	116,8332
14/09/2014	18023,46	18,0235	3,604692	72,09384
15/09/2014	21867,26	21,8673	4,373452	87,46904
16/09/2014	23418,08	23,4181	4,683616	93,67232
17/09/2014	13894,34	13,8943	2,778868	55,57736
18/09/2014	18653,09	18,6531	3,730618	74,61236
19/09/2014	17499,67	17,4997	3,499934	69,99868
20/09/2014	17643,6	17,6436	3,52872	70,5744
21/09/2014	16073,85	16,0739	3,21477	64,2954
22/09/2014	22943,09	22,9431	4,588618	91,77236
23/09/2014	23838,63	23,8386	4,767726	95,35452
24/09/2014	23634,04	23,634	4,726808	94,53616
25/09/2014	21091,5	21,0915	4,2183	84,366

26/09/2014	17713,3	17,7133	3,54266	70,8532
27/09/2014	18241,07	18,2411	3,648214	72,96428
28/09/2014	16525,37	16,5254	3,305074	66,10148
29/09/2014	18811,06	18,8111	3,762212	75,24424
30/09/2014	16085,85	16,0859	3,21717	64,3434
01/10/2014	21023,55	21,0236	4,20471	84,0942
02/10/2014	21902,12	21,9021	4,380424	87,60848
03/10/2014	16137,95	16,138	3,22759	64,5518
04/10/2014	23360,5	23,3605	4,6721	93,442
05/10/2014	17681,73	17,6817	3,536346	70,72692
06/10/2014	19639,52	19,6395	3,927904	78,55808
07/10/2014	14206,87	14,2069	2,841374	56,82748
08/10/2014	13587,37	13,5874	2,717474	54,34948
09/10/2014	6131,27	6,13127	1,226254	24,52508
10/10/2014	10711	10,711	2,1422	42,844
11/10/2014	18222,76	18,2228	3,644552	72,89104
12/10/2014	20026,2	20,0262	4,00524	80,1048
13/10/2014	15579,14	15,5791	3,115828	62,31656
14/10/2014	18327,68	18,3277	3,665536	73,31072
15/10/2014	15490,98	15,491	3,098196	61,96392
16/10/2014	18579,58	18,5796	3,715916	74,31832
17/10/2014	17003,92	17,0039	3,400784	68,01568
18/10/2014	17863,08	17,8631	3,572616	71,45232
19/10/2014	16734,85	16,7349	3,34697	66,9394
20/10/2014	15369,89	15,3699	3,073978	61,47956
21/10/2014	17734,4	17,7344	3,54688	70,9376
22/10/2014	19937,92	19,9379	3,987584	79,75168
23/10/2014	25597,56	25,5976	5,119512	102,39024
24/10/2014	20219,48	20,2195	4,043896	80,87792
25/10/2014	15524,86	15,5249	3,104972	62,09944
26/10/2014	10346,38	10,3464	2,069276	41,38552
27/10/2014	22257,08	22,2571	4,451416	89,02832
28/10/2014	19170,15	19,1702	3,83403	76,6806
29/10/2014	18585,39	18,5854	3,717078	74,34156
30/10/2014	17660,52	17,6605	3,532104	70,64208
31/10/2014	15020,35	15,0204	3,00407	60,0814
01/11/2014	23737,72	23,7377	4,747544	94,95088
02/11/2014	19593,95	19,594	3,91879	78,3758
03/11/2014	21818,4	21,8184	4,36368	87,2736
04/11/2014	16738,63	16,7386	3,347726	66,95452
05/11/2014	15922,22	15,9222	3,184444	63,68888
06/11/2014	17866,93	17,8669	3,573386	71,46772

07/11/2014	20296,17	20,2962	4,059234	81,18468
08/11/2014	20399,06	20,3991	4,079812	81,59624
09/11/2014	16429,4	16,4294	3,28588	65,7176
10/11/2014	11353,03	11,353	2,270606	45,41212
11/11/2014	12764,87	12,7649	2,552974	51,05948
12/11/2014	13865,02	13,865	2,773004	55,46008
13/11/2014	18694,38	18,6944	3,738876	74,77752
14/11/2014	13932,36	13,9324	2,786472	55,72944
15/11/2014	19528,15	19,5282	3,90563	78,1126
16/11/2014	17719,18	17,7192	3,543836	70,87672
17/11/2014	21547,38	21,5474	4,309476	86,18952
18/11/2014	18626,82	18,6268	3,725364	74,50728
19/11/2014	18376,66	18,3767	3,675332	73,50664
20/11/2014	20921,89	20,9219	4,184378	83,68756

B. Datos del proceso de gasificación

Temperaturas del proceso de gasificación 12 de Octubre			
	SECADO	COMBUSTIÓN	GASIFICACIÓN
HORA	T_1	T_2	T_3
12:00	348	420,5	822
12:30	518,5	537,5	546
12:45	328	604	606
13:00	386	755	614,5
13:15	603	718,5	663,5
13:30	760,5	651,5	762,5
13:45	721	666,5	764
14:00	571,5	561,5	692
14:15	886	804,5	523,5
14:30	854,5	695	762
14:45	647,5	609	646,5
15:00	726,5	745,5	710,5
15:15	431,5	651,5	714,5
15:30	716	602	701
15:45	403,5	607	634
16:00	768,5	762	555
16:15	693,5	721,5	614,5
16:30	660	640,5	613
16:45	637,5	583	592,5
17:00	609	555	563,5

Temperaturas del proceso de gasificación 19 de Octubre			
	SECADO	COMBUSTIÓN	GASIFICACIÓN
HORA	T_1	T_2	T_3
11:30	361,5	312	413,5
11:45	697	312	351,5
12:00	773,5	414	293,5
12:15	843	720,5	281,5
12:30	771,5	619,5	666
12:45	836,5	548	691,5
13:00	742,5	577	780,5
13:15	600,5	530,5	808
13:30	417	550,5	768
13:45	845,5	506	687
14:00	755	553	599
14:15	689,5	803	950,5
14:30	638,5	664,5	904,5
14:45	606	578	844,5
15:00	344	555	741,5
15:15	826,5	740,5	664
15:30	819	674	651
15:45	735,5	559	633,5
16:00	691,5	493,5	697
16:15	867	700,5	635,5
16:30	851,5	618	606,5
16:45	673,5	714	655
17:00	654	736,5	680,5

Temperaturas del proceso de gasificación 21 de Octubre			
	SECADO	COMBUSTIÓN	GASIFICACIÓN
HORA	T1	T2	T3
9:00	593	479,5	388
9:15	715	515,5	402
9:30	816,5	337	394,5
9:45	867	814,5	392,5
10:00	808	735,5	726
10:15	627	668	753,5
10:30	553,5	562	690
10:45	771	493,5	602
11:00	764,5	589	660
11:15	739,5	617	664
11:30	660,5	594	655
11:45	645,5	662,5	516,5
12:00	651,5	733	541
12:15	753,5	656,5	902
12:30	688	655	903
12:45	516,5	653,5	710,5
13:00	790,5	567	644,5
13:15	616,5	509	722,5
13:30	773	712	526,5
13:45	627,5	678,5	683
14:00	370,5	463,5	634,5
14:15	702	484	497
14:30	493	623	463,5
14:45	618	594,5	528
15:00	590,5	565	530,5
15:15	742	474	512
15:30	492	518,5	492
15:45	614,5	539	502
16:00	721	503,5	505
16:15	617	511,5	518,5
16:30	736	513,5	509,5

Análisis de gases								
COMPUESTO	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**M7**	**M8**
H2	5700	15040	12385	2414	2060	5000	2883	2933
CO2	56532	55730	104243	99142	86668	109127	108273	95442
O2	149981	137222	46213	77397	87063	82332	70267	121505
N2	1888419	1471477	1387008	1433172	1443236	1244370	1225158	1E+06
CO	38955	69939	70037	40053	40554	77941	53021	43850
CH4	79912	8138	6081	5807	10743	2795	1949	4940
C2H4	40576	35656	55800	56374	51678	62190	70821	68506
C2H6	15735	16178	16914	17093	15017	16069	15161	17010
C3H8	1786	2893						
COMPUESTO	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**M7**	**M8**
TIEMPO	**11:45**	**11:50**	**12:10**	**12:30**	**12:50**	**13:10**	**13:10**	**13:30**
H2	2,935648	8,3407	6,67716	1,243272	1,06095	2,57513	1,48482	1,5106
CO2	6,797594	6,69949	12,6336	12,00965	10,4838	13,231	13,12655	11,557
O2	9,209424	8,42597	2,83766	4,752481	5,34601	5,05551	4,314671	7,4609
N2	63,34002	63,9872	64,1559	71,5547	72,5305	64,5436	68,72631	67,828
CO	4,270607	7,6584	7,66911	4,390662	4,44544	8,53334	5,808583	4,8058
CH4	9,298192	1,01188	0,7744	0,74277	1,31263	0,39503	0,297364	0,6427
C2H4	2,988385	2,62564	4,11082	4,15314	3,80691	4,58194	5,218288	5,0476
C2H6	1,056044	1,08583	1,13532	1,14736	1,00776	1,0785	1,017447	1,1418
C3H8	0,104089	0,16491	0,00597	0,005966	0,00597	0,00597	0,005966	0,006
Peso molecular	27,61472	27,1671	28,3296	29,72316	29,479	29,6248	29,8724	29,701
PCI	5,431614	3,7974	4,03703	3,113943	3,06237	3,69122	3,541188	3,5449

Bibliografía

al., V. e. (2007). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ. *revistas.utp*, 255-260.

Assureira, E. (2002). Combustible alternativo: La cascarilla de arroz. *repositorio.pucp*, 54,55.

Assureira, E. (2004). Combustible alternativo: La cascarilla de arroz. *repositorio.pucp*, 8, 10.

Avila Prats, D., Alesanco García , R., & Veliz Alonso , J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *ingenieria Mecánica*, 22-30.

DANE, D. (14 de Marzo de 2016). *Página Oficial del DANE.* Obtenido de Archivo Nacional de Datos: http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/catalog/356

Esteve Gómez, N. (2011). *Energizaciòn de las Zonas no Interconectadas a partir de as energìas renovables solar y eòlica.* Bogotá Colombia: Universidad Javeriana.

Evaluaciones Agropecuarias Municipales – Sistema de Información de Oferta Agropecuaria. (2013).

Generación de energía eléctrica mediante sistema híbrido Solar/Gasificación de residuos agroindustriales. (2016).

Generación de energía eléctrica mediante sistema híbrido Solar/Gasificación de residuos agroindustriales. (2016). 87-88.

IDEAM. (2014). INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM.

IPSE. (2014). 1. Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas .

Mosquera Murillo, L. (2012). *Planeación del desarrollo en chocó, lectura desde los modelos de desarrollo.* Medellín: Universidad Nacional .

ONU, O. (1987). *Nuestro Futuro Comùn.* Noruega.

Sierra, J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. . *repositorio.unisucre*, 94.

Soler Bientz, R., Sialde Cab, L., & Solis Rodríguez, L. (2006). Developing a mobile stand alone photovoltaic generator. . *Energy Conversion and Management*, 44 - 54.

UPME. (2003). Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia. *si3ea*.

UPME. (2003). Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia. *si3ea*.

UPME. (2006). ÍNDICES DE COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *siel*, 3.

UPME. (2014). Atlas de Radiación Solar en Colombia. 15.

UPME U., I. ,. (2015). Atlas del potencial energético de la biomasa reidual en Colombia. *UPME*, 156,158,159 160.

UPME, C. D. (2006). ÍNDICES DE COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *siel*, 4.

UPME, U., & IDEAM, I. A. (2015). *Atlas de Radiación Solar.* Bogotá Colombia: Ministerio de Minas y Energía.

valverde. (2007). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ. *revistas.utp*, 255-260.