



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

---

## **ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN BAHÍA NEGRA**

**Navarro, Luís de Jesús**

**Administración Nacional de Electricidad, ANDE**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Este trabajo analiza otras fuentes energéticas renovables que puedan sustituir, total o parcialmente, a la generación térmica a diesel. Estos costos de generación dispersa, con la cual es atendida actualmente la localidad de Bahía Negra en el Alto Paraguay, son bastante elevados si son comparados con los de la generación hidráulica de las represas de gran porte.

Se analizan de manera experimental: los perfiles eólico y solar, y de manera analítica: el potencial de la biomasa con el biodiesel proveniente de una oleaginosa (*Jatropha curcas*) con el objetivo de diversificar la matriz energética local a fin de disminuir la dependencia del combustible fósil que por cuestiones logísticas dificultan el suministro hasta la Central Térmica de Bahía Negra.

En una primera instancia, se continúa con el soporte de la generación térmica de manera gradual hasta alcanzar el equilibrio energético con la combinación de las nuevas fuentes analizadas, además como una propuesta de integración de la comunidad en la producción energética propia, volviéndola una autogestión de energía limpia.

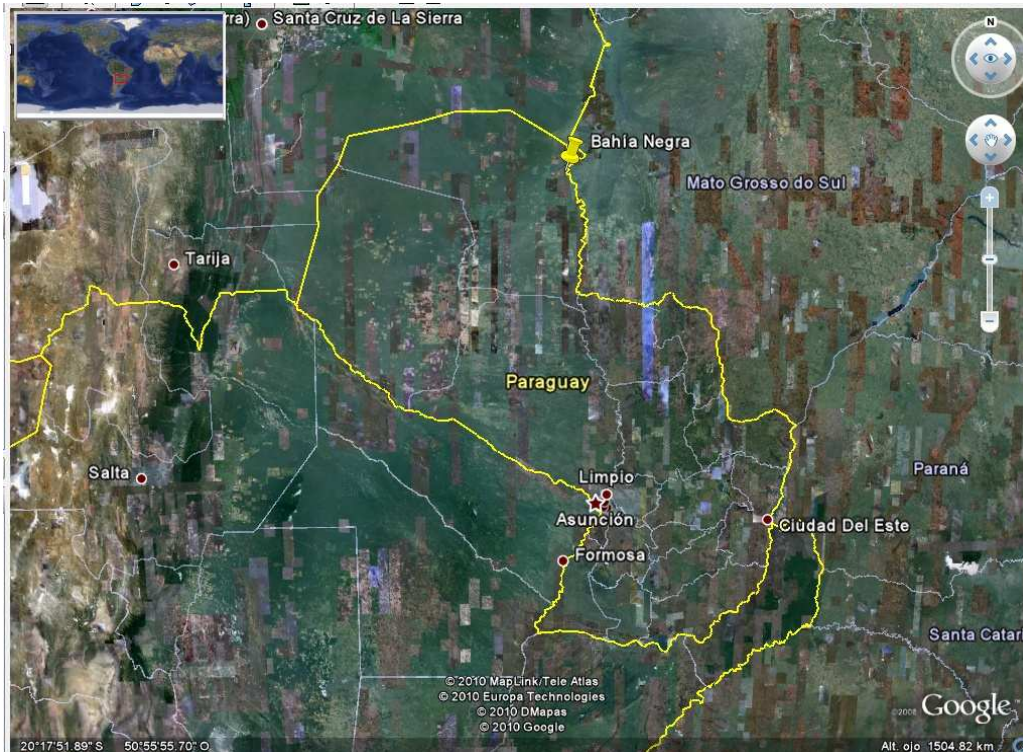
### **PALABRAS CLAVES**

Fuentes renovables, generación termoeléctrica, generación dispersa, eólica, fotovoltaica, biodiesel.



## 1. INTRODUCCIÓN

El Municipio Bahía Negra está distante a unos 850 km de Asunción, la capital del Paraguay y a 180 km de Fuerte Olimpo, la capital del Departamento de Alto Paraguay, por vía terrestre. Se encuentra en el extremo noroeste del departamento, a unos 8 km aguas abajo de la triple frontera Bolivia-Paraguay-Brasil.



**Figura 1: Ubicación de Bahía Negra, región noroeste del país [14].**

Sus coordenadas son 20°14'45" latitud sur y 58°10'17" longitud oeste. Su nombre deriva, tal vez, de la proximidad al Río Negro que desemboca en el Río Paraguay cuyas aguas son oscuras. Cuenta con una población de 3.000 habitantes [1].

La principal actividad económica de Bahía Negra gira en torno a las actividades ganadera (23% de la población) y pesquera (8% se dedica comercialmente). La agricultura se practica, pero básicamente para el consumo familiar (1%). Por otro lado, el 68% de la población se dedica a otras actividades, en los establecimientos ganaderos que se encuentran próximos al municipio [1]. La mayor parte de la población indígena que habita el país se encuentra en los departamentos de la Región Occidental. La distribución sigue este orden: Boquerón 19.962 (22,92%), Alto Paraguay 3.198 (3,67%) y Presidente Hayes 19.804 (22,74%), sobre un total de 87.099 (100%) indígenas [2].

Inicialmente esta ciudad fue abastecida con energía eléctrica (térmica diesel) de la Armada Nacional, por ser un punto estratégico desde el punto de vista militar y, desde 1997, con la responsabilidad de la ANDE para el servicio eléctrico a la comunidad. Las horas de servicio

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

diario fueron inicialmente de 12 horas, posteriormente de 18 horas y desde marzo de 2011 24 horas [3].

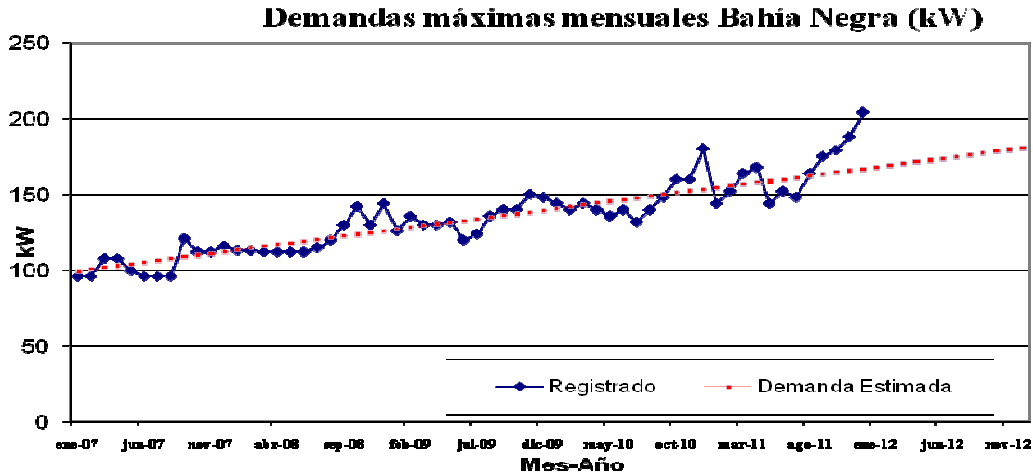


Figura 2: Recta proyectada en función a las demandas máximas mensuales (kW) en Bahía Negra [4] considerados a partir de enero 2007 a mayo 2012.

La Figura 2, muestra la tendencia de la demanda de potencia de la ciudad, con un pico de aumento registrado en diciembre de 2011 que llega a 204 kW [3]. En base a la demanda promedio se proyecta la necesidad de energía eléctrica para la comunidad, como se muestra en la Figura 3, en función al crecimiento vegetativo de 7% al año.

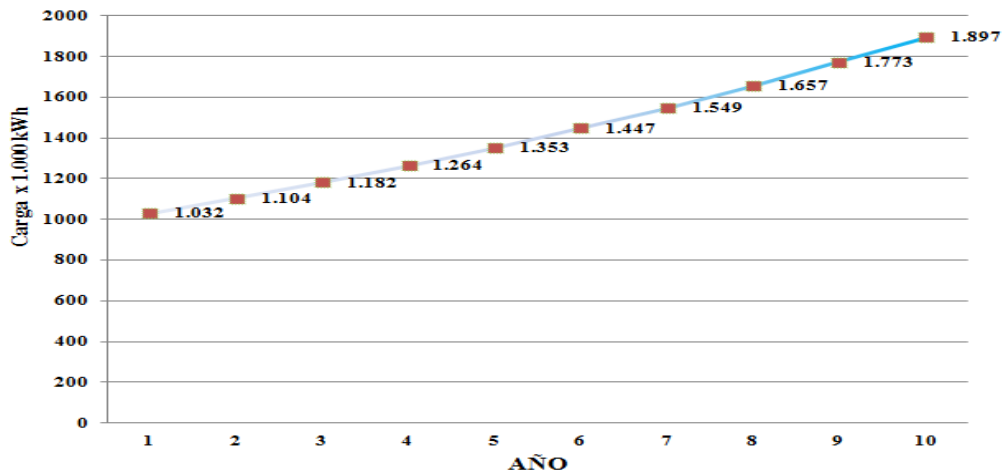


Figura 3: Crecimiento vegetativo (7%) de la Demanda Energética de Bahía Negra.

## 2. COSTOS DE GENERACIÓN

### 2.1. COSTOS DE GENERACIÓN TÉRMICA DIESEL

Una vez proyectada la demanda para la década, con el costo necesario (considerando una inflación anual de 10%), establecemos la proyección de costos demostradas en la Figura 3, en base al costo por G/kWh generado 3.320.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

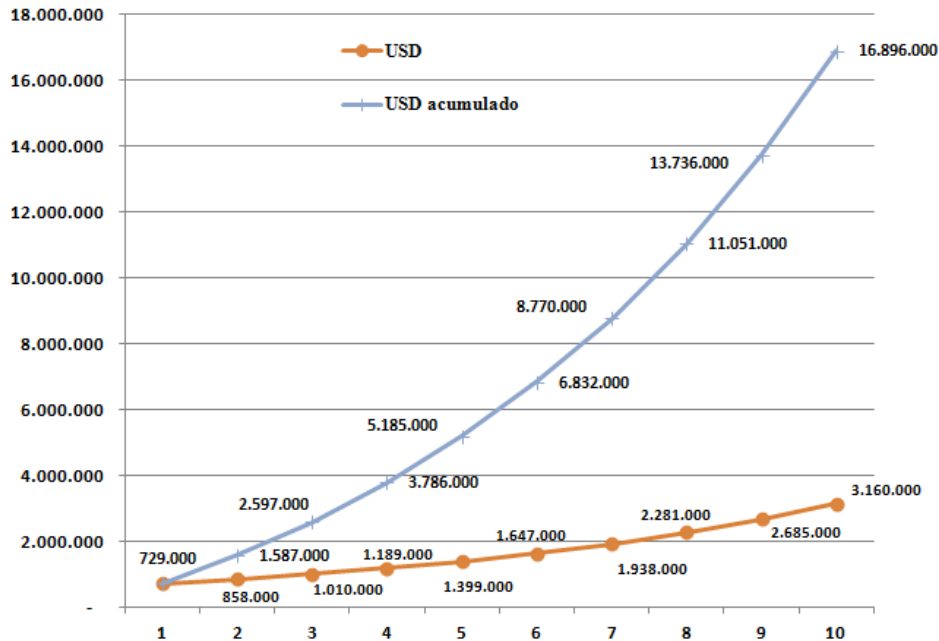


Figura 3: Proyección de costos (con inflación anual estimada de 10%).

## 2.2. COSTO DE LA OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

Si consideramos la compra de las 400 hectáreas, incluido toda la gestión de mantenimiento y preparación de los Plantines, cosecha y colecta de semilla tendríamos USD 1.240.000. Más, la planta de procesamiento, USD 69.800, para la extracción del aceite y la obtención final del biodiesel (para un rendimiento de 3.940.000 litros). Tendríamos, finalmente, un total de USD 1.269.800 para diez años (USD/año 126.980). El costo por diez años para una producción de 3.840.000 litros es de USD/l 0,323. La instalación para la extracción del biodiesel está proyectada para la atención de la demanda requerida para una década.

La obtención de 100 litros de biodiesel conllevan a tener otros gastos, como los de energía eléctrica USD 0,426, metanol USD 20,00 y soda caustica (hidróxido de sodio) USD 1,8. El total es de USD 22,23 para los 100 litros y de USD/l 0,222.

El transporte del metanol, según los costos actuales del mercado local, costaría aproximadamente G/l 600 (USD/l 0,130). En una proyección a diez años con la cantidad de metanol que se requiere llevar, 768.000 litros, tendríamos en transporte un gasto de USD 100.000.

Finalmente, con todos estos presupuestos sobre productos e insumos necesarios para la obtención de un litro de biodiesel es de USD 0,545. El costo de mercado en USD/l es de 1,25 (idéntico costo del diesel en la capital del país: G. 5.860 por litro al cambio de G/USD 4.700). Por tanto, la producción de biodiesel, con el costo del transporte del metanol, llega a USD/l 0,675, es decir, a un 54% del valor de mercado del carburante fósil.

## 2.3. GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA

---

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

---

Estimando USD 3.000.000 para la compra de un banco de baterías (tipo gel) con la capacidad de 110 kVAh/día, con una vida útil estimada de 5 años (se deben sumar otros USD 3.000.000), más la compra de un inversor de 300 kW ya que el factor de uso está en 85%, cumplirá en el orden de los 255 kW de potencia, costaría unos USD 250.000.

Considerando la implementación del sistema eólico con cuatro aerogeneradores de 1 MW cada uno, es decir, con una potencia instalada de 4 MW. La inversión total en el sistema eólico sería de USD 13.875.000, que incluye un 10% de accesorios, con un costo anual de USD 1.387.500.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Biomasa

Según la Dirección General de Empleo (DGE), la rama de actividad la producción agropecuaria ocupa el 60% de las personas que trabajan en el interior del país lo hacen en actividades agrícolas, ganaderas, de caza y pesca. De acuerdo con el informe, denominado “Situación del empleo rural en Paraguay”, unas 721.982 personas que están en el interior del país se dedican a la actividad agropecuaria.

Considerando a la biomasa como fuente energética [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], con el biodiesel como combustible, para la sustitución del diesel en los motores de combustión interna de la CT de Bahía Negra, seguiremos teniendo los costos actuales como fijos, con la disminución en el consumo conforme se vaya obteniendo volumen de biodiesel de manera gradual.

Para una década, implementando el biodiesel, existe una necesidad de 27% de diesel sumado el 73% de biodiesel.

El gasoil puesto en Bahía Negra, a un factor de 1,25, contra el factor de obtención del biodiesel de 0,68, que nos permite obtener un costo en USD/kWh de 0,39 para el diesel y de 0,22 para el biodiesel, respectivamente.

La energía total necesaria para cubrir toda la demanda es de 14.258.000 kWh para los diez años proyectados y, sabiendo que el 27% dependerá del combustible fósil y 73% del biodiesel, tenemos la posibilidad de estimar un costo de generación de

Híbridamente, podríamos considerar que el 27% de este valor (USD 1.501.400) más el 73% con la generación con el biodiesel (USD 2.290.000) tendríamos un total de USD 3.185.000 (considerando el excedente de biodiesel de 607.000 litros a un costo de venta de 1USD por litro). Para el caso hipotético de que fuera una generación con un 100% de biodiesel, tendríamos un total de USD 3.137.000.

#### 3.2. Solar fotovoltaica



---

**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**19, 20 y 21 de Setiembre de 2012**

---

El parque solar en Bahía Negra ocuparía 2 Ha y estaría dotado de paneles fijos buscando aprovechar un promedio de radiación solar de 23 kWh/m<sup>2</sup> de radiación solar en el horario de 10:30 a 16:30, un total de 6 horas diarias en promedio.

Hemos considerado un total de USD 3.250.000 para la inversión de la generación solar fotovoltaica (paneles solares, baterías e inversor y otros gastos), que consideran dos cambios de baterías para cubrir la proyección comparativa con las otras fuentes de diez años, sin considerar que los paneles llegan a tener una vida útil de 20 años, en cuyo caso consideramos USD 1.625.000 de inversión para la cobertura del 23% de la demanda.

Si a esto se agregara la necesidad del soporte de generación diesel (77%), de acuerdo a los costos verificados anteriormente, serían necesarios USD 4.282.000 adicionales. Y, finalmente se llega a un total de USD 5.907.000, para una inversión de un parque solar de 1,2 MW.

Un valor muy interesante registrado durante el año 2010 es el índice de precipitaciones, que quedó registrado en un 2%, lo que vale decir que existe un 98% de no precipitaciones en Bahía Negra. En el horario considerado de interés, de 10:30 a 16:30 horas, se produjeron 0,02% de precipitaciones pero tendremos en consideración el 5% de margen de no generación solar durante este horario, por lo que tendremos la generación diesel para este porcentaje.

En términos de horas, la estimativa de generación solar de 10:30 a 16:30 en un 95% para todo el año, equivale a 2.080 horas. Por tanto, de 8.760 horas anuales (100%), tendríamos un total de 6.680 horas (77%) de generación térmica a diesel y 2.080 horas (23%) de generación solar fotovoltaica directa.

### 3.3. Eólica

A partir de la velocidad media mensual anual (altura 60 m) 4,93 m/s, se extraen la velocidad media anual de referencia (a la altura del buje de referencia 10 metros) 3,77 m/s, con su correspondiente desvío estándar 2,95. Este sistema eólico propuesto consiste en la elección de cuatro aerogeneradores (1 MW cada uno) que tendrían la capacidad de atender la demanda de la comunidad a diez años.

Este parque eólico con cuatro aerogeneradores de USD 1.500.000 cada uno, un inversor de 255 kW (USD 300.000), un banco de baterías de USD 3.000.000 y su reposición a los 5 años, es decir otros USD 3.000.000, el 10% de accesorios y el 5% por la importación, lo que nos daría una inversión final de USD 14.826.000. Recordando que los aerogeneradores pueden tener una vida útil superior a los 20 años y que la autonomía es de un día, únicamente, haciendo necesario un banco de batería para el almacenamiento de energía que encarece al proyecto eólico y el retorno de la inversión no se ajustaría dentro de los 10 años debido a que el rendimiento de los aerogeneradores sería de unos 25% de su potencia nominal.

Si consideramos el uso directo sin el banco de baterías y la vida útil de los aerogeneradores de 20 años, llegaríamos a un costo estimado de USD 4.500.000 como inversión. Esta inversión es acompañada por el soporte diesel en un 10% para satisfacer toda la demanda, lo que eleva el total a USD 5.056.000 de inversión total.

#### 4. CONCLUSIONES

En las mediciones realizadas, de las fuentes solar y eólica, se observan buenas condiciones de radiación solar para la implementación de un sistema solar fotovoltaico. El perfil eólico, por otra parte, presenta condiciones adversas para la implementación de un parque eólico por el bajo rendimiento de los diferentes tipos de aerogeneradores analizados.

Los vientos no presentan buenas posibilidades de aprovechamiento, la velocidad promedio es muy baja y sin constancia en el flujo, no presentando un atractivo para la implementación de un sistema eólico.

Tabla 1: Resumen de costos por fuente de generación.

FUENTES	COSTO (USD)	USO (%)	COSTO FINAL (USD)
DIESEL (ÚNICA)	5.560.000	100	5.560.000
BIODIESEL (1ª)	2.325.000	73	3.185.000
DIESEL (2ª)	860.000	27	
DIESEL (1ª)	4.550.000	77	5.907.000
FOTOVOLTAICA (2ª)	1.357.000	23	
EÓLICA (1ª)	4.500.000	90	5.056.000
DIESEL (2ª)	560.000	10	

De acuerdo al resumen presentado, Tabla 1, la producción del combustible propio proveniente de la biomasa, como el biodiesel presenta muy buenas condiciones como sustituto directo, por las propiedades que presenta en comparación al gasoil. Durante los cuatro primeros años debe tener el soporte de la generación diesel (hasta el 34.4%). El costo de generación térmica con biodiesel es 15% menor que la generación a diesel, siendo que con el correr de los años la diferencia puede ser en un mayor porcentaje.

A medida que se popularice el uso del biodiesel [13], la humanidad descubrirá que puede generar de manera segura y renovable la energía que necesita, al tiempo que logra un mayor valor agregado para su producción primaria, y mejora el ambiente en que vive.

Podemos encontrar innumerables ventajas en las fuentes renovables pero, para nuestro país, una resalta con más fuerza: la biomasa, por ser eminentemente productor agropecuario. Esta fuente es la más disponible y económica a lo largo y ancho de toda la República y, con una buena investigación y desarrollo al respecto, puede hacer que nuestra matriz energética se base en la biomasa, pero no en la quema directa de leña seca sino en la gasificación con alto rendimiento, en la biodigestión de residuos (animales y agrícolas) para la obtención del biogás y en los



biocombustibles provenientes de cultivos de segunda generación, que contaminan una tercera parte que los derivados fósiles.

Este proceso de implementación de obtención del biodiesel, puede integrar a la comunidad para que en el mediano plazo dependan exclusivamente de una fuente sustentable y gestionada por la propia comunidad, como un prototipo que puede ser llevado en la práctica en otros puntos del país que no tienen posibilidades de insertarse al Sistema Interconectado Nacional y donde la única salida para llegar a contar con la energía eléctrica es la generación dispersa.

## 5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] IDEA, Instituto de Derecho y Economía Ambiental, 2002. Iniciativas Transfronterizas para el Pantanal Paraguayo – Proyecto Cross Border Pantanal, Paraguay – auspiciado por la Organización The Nature Conservancy e IDEA y ONG Guyra Paraguay y Conservación de Aves y Natural Land Trust.
- [2] DGEEC, 2002. Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos, 2002. Atlas Censal del Paraguay.
- [3] ANDE, GT/URI, 2011. Gerencia Técnica, Sección Usinas y Redes del Interior.
- [4] ANDE, Dpto. Estudios Eléctricos, 2011. Proyección en función a demanda (kW) en Bahía Negra desde enero 2007 a agosto 2011.
- [5] Arruda F. P., Macêdo N. E., Andrade A. P., Pereira W. E. y Severino L. S., 2004. Cultivo de piñon manso como alternativa para el semi árido nordestino. Rev. Bras. ol. fibros., Campina Grande, v.8, n.1.
- [6] Castanón N. J. B., 2002, Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais, Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia- Conversão e utilização, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [7] Cortesão, M., 1956. Culturas tropicais: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica.
- [8] Knothe G., Van Gerpen J., 2004, “The Biodiesel Handbook” 1ª Edición. Illinois:AOCS Press editorial, 302 p.
- [9] Kywe T., Oo M., 2009, “Production of Biodiesel from Jatropha Oil (Jatropha curcas) in Pilot Plant” Proceeding of World Academy of Science Engineering and Technology 38.
- [10] Sotolongo Pérez, J.A ; Beatón Delgado, P.A.; Díaz García, A.; Montes de Oca López, S; del Valle Atala, Y. y García Pavón, S. 2007. Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol Jatropha curcas L en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. Tecnología Química. Vol. 27. Nº 2.
- [11] Souto, G. 2008. Biocombustibles en el Paraguay - Investigación exploratoria. Tesis Ing. Agr. Asunción, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.
- [12] Souza S.N.M., Pereira W.C., Nogueira C.E.C., Pavan A.A., Sordi A., 2004. Acta Scientiarum Technology v. 26, no. 2, p. 127-133, Maringá, Universidade do Oeste do Paraná, CCET, Campus de Cascavel, Rua Universitária, 2069, 85814-110, Cascavel, Paraná, Brasil.
- [13] Huerga I., Carrizo A., Brizuela G., Querini C., 2010, Producción de Biodiesel con Aceite de Jatropha Curcas, INTA, INCAPE. [13] Acosta H., Takahassi A., 2010. ANDE. Generación térmica a partir de combustibles de segunda generación “Un reto al futuro sustentable”. IX Seminario del Sector Eléctrico Paraguayo - CIGRÉ.
- [14] Google, 2011. Europa Technologies, US Dept of State Geographer, [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com).