

## Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia

### Potential Power Generation of Oil Palm Agribusiness in Colombia

**CITACIÓN:** Briceño, I., Valencia, J. y Posso, M. (2015). Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 36(3), 43-53.

**PALABRAS CLAVE:** biomasa, biogás, energía renovable, Ley 1715 de 2014, mercado de energía eléctrica, potencial de generación de energía eléctrica.

**KEY WORDS:** Biomass, biogas, renewable energy, Law 1715 of 2014, electricity market, potential power generation.

**RECIBIDO:** junio de 2015.

**APROBADO:** junio de 2015.

**IVONNE CRISTINA BRICEÑO ÁLVAREZ**

Analista de Promoción de Valor Agregado, Fedepalma  
ibriceno@fedepalma.org

**JAIME FERNANDO VALENCIA CONCHA**

Líder de Promoción de Valor Agregado, Fedepalma  
jfvalencia@fedepalma.org

**MAURICIO POSSO V.**

Director de la Unidad de Gestión Comercial Estratégica, Fedepalma  
mposso@fedepalma.org

## Resumen

La cantidad de energía eléctrica generada desde las plantas de beneficio de palma de aceite excede las necesidades de energía del proceso de extracción de aceite de palma, lo cual crea la posibilidad de vender excedentes de energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esto, que ya es una realidad en otros países con agroindustria palmera, en Colombia se ha desarrollado como autogeneración para atender únicamente las necesidades del proceso. En mayo 13 de 2014, con la aprobación de la Ley 1715 “Inclusión de las energías renovables de fuentes no convencionales al Sistema Interconectado Nacional, SIN” y los decretos de política y resoluciones que la regulan, la agroindustria de la palma de aceite tiene el marco normativo requerido para el desarrollo de un potencial de generación estimado en 340 MW. Este documento contiene la descripción del mercado al que se debe acceder para comercializar los excedentes de energía eléctrica, los principios generales para hacerlo de acuerdo a la normatividad, las oportunidades que ofrece la Ley 1715 y la presentación del modelo técnico con los elementos necesarios para desarrollarlo al interior de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia junto con los resultados de viabilidad financiera del nuevo modelo de negocio.

## Abstract

The amount of electricity generated from oil palm mills exceeds the energy needs of the extraction process of palm oil, which creates the possibility of selling surplus energy to the national grid (National Interconnected System– Spanish acronym SIN). This is already a reality in other oil palm agribusiness-related countries, while in Colombia it has just developed as power autogeneration to meet the basic needs of the process. On May 13<sup>th</sup> 2014, with the approval of Law 1715 "Inclusion of renewable energy from unconventional sources to the National Interconnecting System" along with the policy decrees and legal resolutions that control this law, oil palm agribusiness had the legal framework required to develop a potential electric energy generation of approximately 340 MW. This paper presents an overview of the market that must be accessed in order to trade the surplus of electricity; the general principles to perform this activity according to regulations; the opportunities offered by the Law 1715; and the technical model with the required elements for its development within oil palm agribusiness in Colombia. Results for financial viability of the new business model are introduced as well.

## Introducción

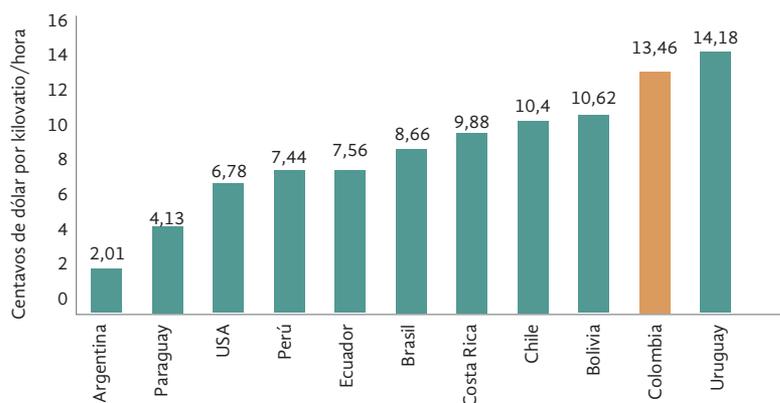
En el desarrollo de los países la energía ha tenido y tiene un papel fundamental, no solo para impulsar el desarrollo sino también para generar el bienestar de la población en todos los niveles. La base de generación de energía ha sido los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas; sin embargo, dichas fuentes de energía no renovables han generado impactos ambientales irreversibles en el planeta, lo que llevó a los países a evaluar el conjunto de energías utilizadas o la llamada matriz energética, con el propósito de encontrar alternativas menos contaminantes. Esta necesidad del cambio en la matriz se formalizó en el uso de energías limpias llamadas también renovables, para sustituir parte del consumo de energías de fuentes fósiles y a la vez propiciar el desarrollo sostenible,

usando cultivos energéticos o fuentes de energía que hasta el momento no habían sido aprovechadas.

Colombia es el país de Latinoamérica con el precio más alto de energía eléctrica, 13 centavos de dólar por kilovatio/hora, solamente superado en la región por Uruguay, como se muestra en la Figura 1. Este nivel de costo representa un factor limitante para la competitividad de la industria colombiana y del país como destino de inversión extranjera. Del mismo modo, se ha estimado que la oferta de energía eléctrica cubre el crecimiento alto de la demanda solo hasta el año 2020 y para un crecimiento bajo solo hasta el 2023, de acuerdo con los planes de generación 2013-2017 elaborados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

**Figura 1.** Tarifas de electricidad sector industrial (2013).

Fuente: AIE, Asoenergía

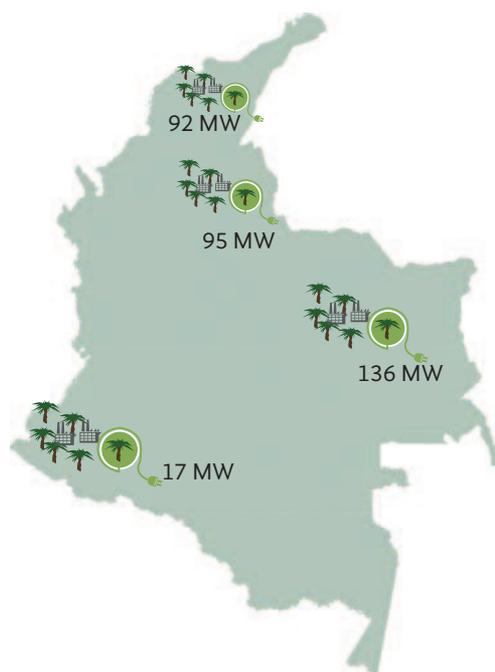


En este contexto de crecimiento en la demanda de energía eléctrica y de alto precio del kilovatio-hora, la industria colombiana de la palma de aceite, que tiene un potencial de producir hasta ocho veces la energía consumida en su propio proceso, se presenta como una oportunidad para generar energía eléctrica desde una fuente no convencional de energía renovable, disponible en gran parte del territorio nacional.

Con ello, las plantas de proceso de extracción de aceite de palma pueden contribuir a ampliar la cobertura del servicio de energía eléctrica a zonas no interconectadas, aportando firmeza al sistema interconectado, ayudando al desarrollo económico sostenible, a la reducción de gases efecto invernadero, generando valor a la cadena de la palma de aceite y empleo, que contribuye a mejorar la calidad de vida de la población rural y, en particular, en las zonas más apartadas del país.

## Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia

Al finalizar 2014, Colombia contaba con 450.131 hectáreas sembradas en palma de aceite, lo cual significó el aprovechamiento de 5.422.000 toneladas de racimos de fruta fresca (RFF) que fueron procesados en 62 plantas de beneficio, lo que generó 2.168.800 toneladas de biomasa y 119.284.000 m<sup>3</sup> de biogás, combustibles disponibles para generar energía en las plantas de beneficio.



**Figura 2.** Potencial de generación de energía del sector palmero en Colombia. Capacidad instalada en 2014.

El potencial de generación de energía eléctrica de la agroindustria de palma de aceite se estima en 340 MW de potencia (cantidad que equivale a la capacidad de generación de la represa de Urrá), este potencial se incrementa en la medida en que aumenta la disponibilidad de biomasa como consecuencia del crecimiento de la producción de racimos de fruta fresca en las áreas sembradas productivas.

Con el potencial antes mencionado, la industria está en capacidad de entregar mes a mes excedentes de energía eléctrica, con una característica importante: que se entregan en una vasta zona del territorio nacional incluyendo Zonas No Interconectadas (ZNI), como se observa en la Figura 2. En las ZNI se genera actualmente energía con combustible fósil que puede ser sustituido por energías renovables. El aprovechamiento de la biomasa generada en el proceso de extracción del aceite de palma en Colombia ha sido catalogado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como una alternativa sostenible con un importante potencial de generación eficiente de energía eléctrica.

Todas las plantas extractoras tienen el potencial de generar energía, la energía generada puede destinarse para autoconsumo o autoconsumo y venta de excedentes; esto les permite ser autosuficientes energéticamente, mejorar las eficiencias del proceso productivo, incrementar la competitividad y agregar valor a la cadena de palma de aceite.

## Mercado de la energía eléctrica en Colombia

El mercado de la energía eléctrica en Colombia se rige actualmente por la Ley 142 de 1994, régimen de servicios públicos domiciliarios y la Ley 143 de 1994, que establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional. Ambas leyes crearon el esquema institucional en el que se definen claramente las funciones, como se muestra en la Figura 3.

Las clasificaciones de los agentes generadores de energía eléctrica se muestran en la Figura 4, allí se observa cómo los generadores pueden vender su energía

en contratos bilaterales. Estos contratos surgen de la estructuración de la comercialización de la energía en mercado regulado y mercado no regulado, en los que ambos agentes pueden comercializar su energía.

Además de dichos mercados existe un mercado mayorista en el que los generadores pueden vender a la Bolsa de Energía haciendo ofertas diarias de precio, para la energía que planean entregar el día siguiente; con base en las ofertas de precio, el operador del mercado programa un despacho económico. En la Figura 5 se muestra la tendencia del precio de la energía COP/kWh diferenciado por tipo de mercado.

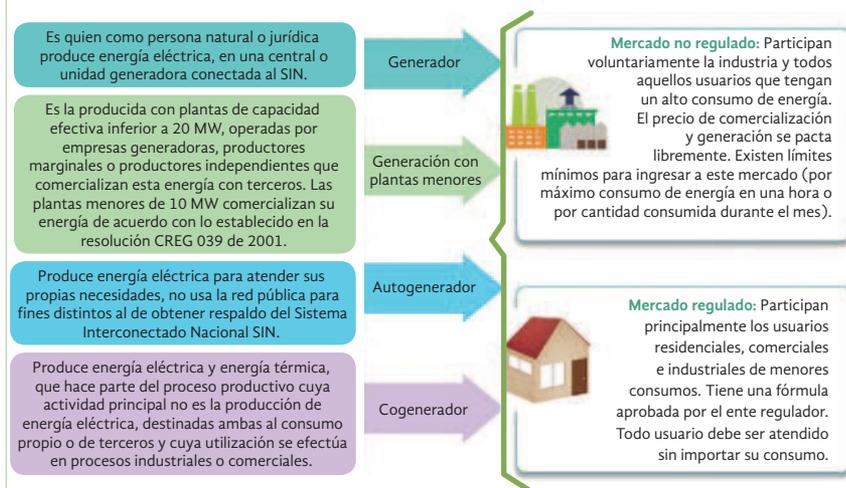
Los generadores que tienen plantas de generación con capacidad mayor o igual a 20 MW participan junto con los comercializadores en un mercado mayorista.

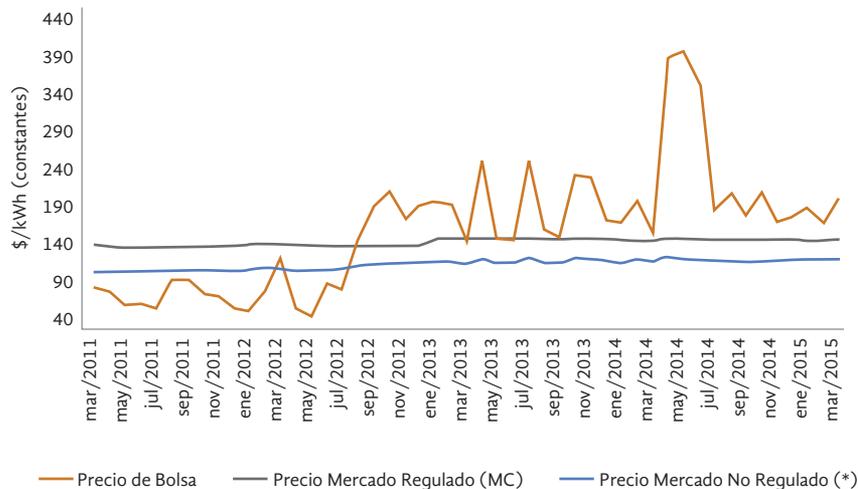
**Figura 3.** Esquema institucional del mercado de la energía eléctrica.

Fuente: XM.



**Figura 4.** Agentes del mercado de comercialización de energía eléctrica en Colombia (CREG, 2014).





**Figura 5.** Precio de bolsa y contratos por tipo de mercado. Pesos constantes de marzo de 2015.

Fuente: XM.

## Comercialización de energía

De acuerdo con las Resoluciones CREG 156 de 2011 y 106 de 2006, la entrega de los excedentes de energía a la red se hace utilizando la conexión existente a la planta de beneficio. Para las conexiones nuevas, el primer paso es la definición del punto de conexión que hace el operador de red, en donde se debe entregar el excedente de energía; lo anterior define la longitud de la línea de transmisión desde la planta hasta ese punto. Para las plantas que ya están conectadas, se va a requerir una revisión completa de la capacidad de la subestación y de las líneas de transmisión, debido a que el excedente de energía por entregar es generalmente mayor que el consumo de energía del proceso para el cual fue diseñada la conexión inicial.

## Oportunidades de integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional a partir de la Ley 1715 de 2014

La Ley 1715 de 2014, mediante la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y

en otros usos energéticos, como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) y la seguridad del abastecimiento energético (Figura 6).

Esta nueva ley establece el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), principalmente aquellas de carácter renovable, fomenta la inversión en investigación y desarrollo de energías limpias, impulsa la eficiencia energética y promueve la respuesta de la demanda.

La venta de excedentes de energía de los autogeneradores, en cualquier proporción igual o mayor a su consumo propio, abre la oportunidad para la agroindustria de palma de aceite de ingresar al mercado de energía. Así mismo, la ley ofrece al sector entregar su energía renovable a las comunidades cercanas, estimula la entrega de excedentes en Zonas No Interconectadas, el uso de la autogeneración distribuida y ofrece incentivos a la inversión.

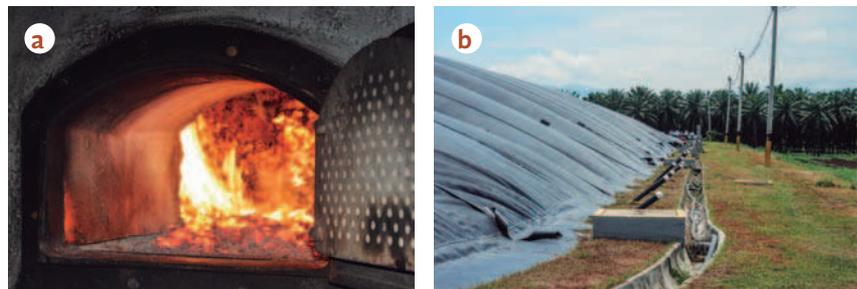
## Modelo de generación de energía eléctrica en las plantas de beneficio

Si bien actualmente se utiliza fibra y cuesco como combustible en las calderas para producir vapor, casi todas las plantas de beneficio de aceite de palma en operación en el país tienen calderas de vapor saturado a presiones alrededor de las 300 psig (Figuras 7a y 7b), que en algunas ocasiones no alcanzan a absorber

**Figura 6.** Oportunidades de la Ley 1715



**Figura 7.** a) Aprovechamiento de biomasa sólida. b) Captura de biogás en lagunas carpadas.



el contenido calórico del combustible y esto hace que existan excedentes de biomasa. En este momento, 31 plantas autogeneran energía eléctrica para su proceso, bien sea porque no están conectadas al SIN o porque la calidad del suministro de energía eléctrica no es el adecuado, lo que se traduce en cortes frecuentes u oscilaciones en la tensión que pueden dañar los motores.

El modelo de negocio que aquí se desarrolla propone como estrategia la reconversión tecnológica de

los equipos requeridos para la generación de energía y promueve la eficiencia energética, para así contribuir con la competitividad del sector.

### Generación de energía eléctrica

Los aceites de palma y de palmiste que se extraen en las plantas de beneficio representan aproximadamente el 25 % del total del peso de los racimos de fruta fresca (RFF) procesado; los demás subproductos

como fibra, cuesco, tusa y efluentes tienen la participación que se muestra en la Figura 8.

La fibra, el cuesco y los racimos vacíos o tusas son biomasa sólida, con alto poder calorífico, aprovechable para ser quemada en calderas como combustible. Los efluentes (*POME-Palm Oil Mill Effluent*, en inglés), que se generan en el proceso de extracción son bio-

masa líquida, que se caracteriza por tener altas cargas de materia orgánica, residuos del aceite producido, pH ácido y contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio. La digestión anaeróbica de este efluente, realizada en biodigestores, produce biogás (55 a 65 % de gas metano), el cual puede utilizarse como combustible. Las características de contenido calórico y humedad, se muestran en la Tabla 1.



**Figura 8.** Índices de producción de biomasa (García, Cárdenas, & Yáñez, 2010).

**Tabla 1.** Poder calorífico inferior y humedad de biomasa.

	PCI b.h. (kJ/kg)	Humedad (%)
Fibra <sup>1</sup>	14.320	31,0
Cuesco <sup>1</sup>	19.942	9,0
Tusa <sup>1</sup>	11.290	40,0
Biogás <sup>2</sup>	22.900 kJ/m <sup>3</sup>	

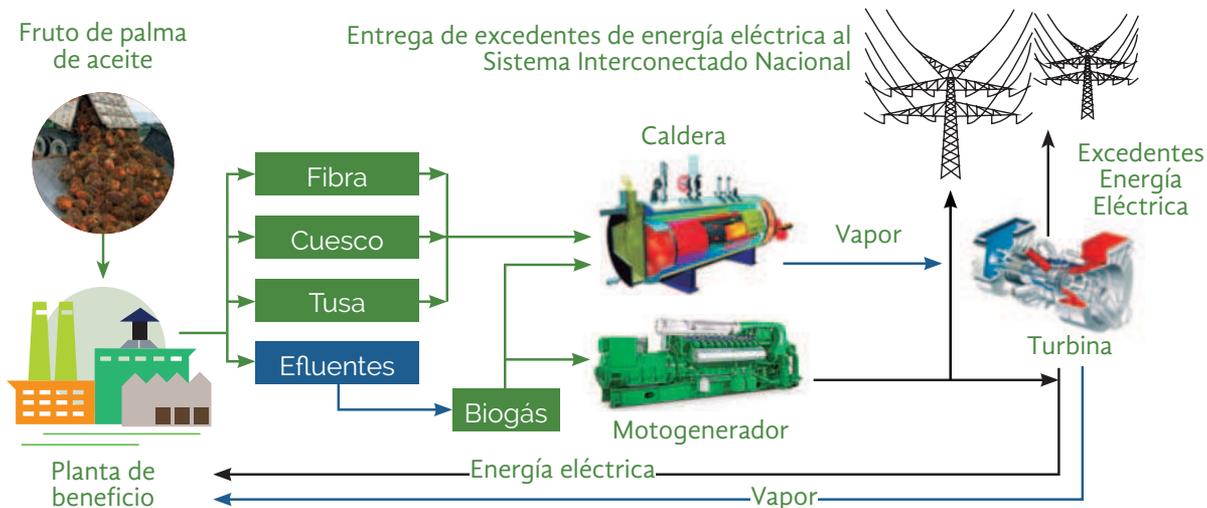
<sup>1</sup>Ensayos SGS 2014. <sup>2</sup>Yáñez, *et al.* 2009

El uso de estos subproductos en el proceso de generación de energía en las plantas de beneficio de palma de aceite se muestra en la Figura 9, en la cual se establecen las diferentes alternativas de utilización de los combustibles para generar energía; entre las principales se describen:

- Emplear fibra, cuesco, tusa y biogás para ser quemados en la caldera y con el vapor generado en el proceso, mover un turbogenerador que genera la energía eléctrica.
- Utilizar la biomasa sólida en la caldera para generar el vapor y quemar el biogás en un motogenerador para generar energía eléctrica.

El caso de estudio desarrollado en este artículo contempla la quema total de fibra y cuesco en una caldera de 40 bar de presión, producir vapor sobrecalentado para generar energía en un turbogenerador y usar el biogás como combustible en un motogenerador para producir energía. La quema de racimos vacíos hasta en un 40 % del total disponible, que ya se aplica en países como Malasia, no se incluye en este caso de estudio y se deja como expansión futura de la capacidad de generación de energía.

La demanda de energía eléctrica y de vapor de las plantas de beneficio es inferior a su capacidad de generación de energía eléctrica y de vapor, como se

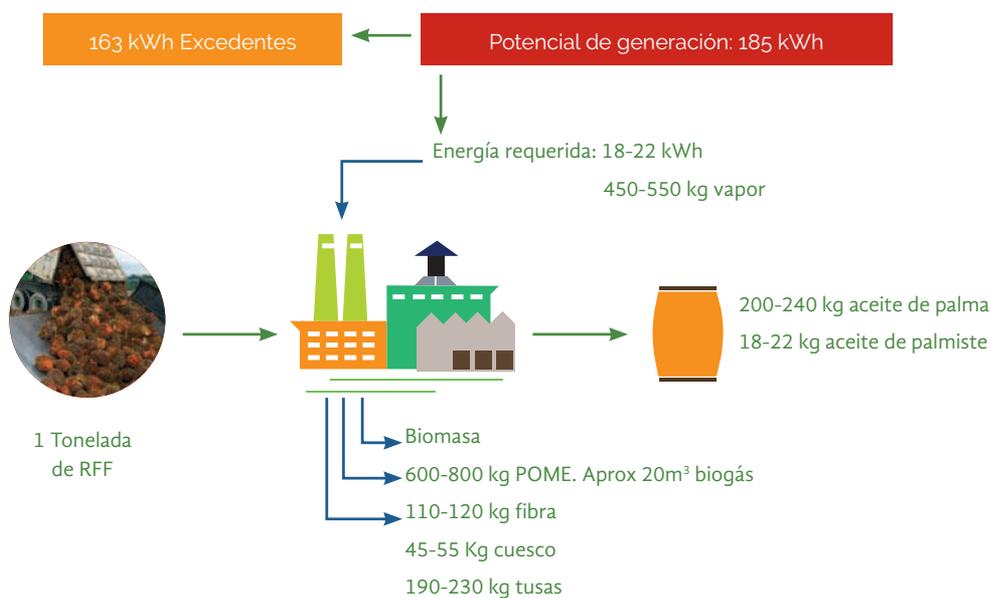


**Figura 9.** Proceso de generación de energía eléctrica a partir de biomasa y biogás.

muestra en la Figura 10; allí se observa que las plantas de beneficio tienen un potencial de producir hasta ocho veces la energía usada en el proceso. El caso de estudio propone el uso en el proceso de la energía eléctrica generada por el biogás para hacer autosuficiente la planta, a la vez que la energía generada a partir de la fibra y el cuesco quemados en la caldera se entrega como excedente al Sistema Interconectado.

### Tecnología disponible

Con base en la información obtenida de estudios realizados, a continuación se presentan especificaciones de caldera, turbina y motogenerador requeridos en la reconversión tecnológica, necesaria para optimizar la generación de energía eléctrica que propone el modelo de negocio (Tablas 2 y 3).



**Figura 10.** Indicadores de Producción de Biomasa y Consumo Energético.

Fuente: Edgar Yáñez, Potencial de Cogeneración en la agroindustria de la palma de aceite, 2010.

**Tabla 2.** Especificaciones de caldera.

Calderas			
Presión de trabajo	Temperatura del vapor	Tipo vapor	Flujo de vapor
32 bar (a)	290 °C	Sobrecalentado	60 t/h
31 bar (a)	310 °C	Sobrecalentado	15 t/h
21 bar (a)	260 °C	Sobrecalentado	19 t/h

**Tabla 3.** Especificaciones de turbina.

Turbinas			
Potencia	Presión de entrada	Temperatura de entrada	Escape
De 0,746 kW a 746 kW	47 bar (a)	400 °C	8 – 12 bar (a)
hasta 3MW	45 bar (a)	hasta 450 °C	hasta 5 bar(a)
De 50kW a 3MW	49 bar (a)	399 °C	según requerimiento
983 kW	26 bar (a)	375 °C	3 bar (a)
De 75kW a 300kW	2 hasta 40 bar(a)	hasta 400 °C	Máx 7 bar(a) hasta 0,1 bar(a)
2750 kW	40 bar(a)	450 °C	6 bar(a) extracción 0,12 bar(a) condensación

## Motogeneradores

### Especificaciones de motogeneradores

Motogeneradores con salida eléctrica en el rango de 1.041 ekW a 1.413 ekW.

### Estimación financiera del nuevo modelo de negocio

En la Tabla 4 se muestran los supuestos técnicos y financieros con los que se realizó el modelo<sup>1</sup>, así como las inversiones de capital (CAPEX), los gastos operacionales (OPEX) que obedecen a las siguientes consideraciones:

1 Se tomó en consideración la información de los estudios realizados por A.V. INGENIERÍA, POCH-4ELEMENTOS, AE S.A. Y TECNINTEGRAL.

- Cargo de respaldo a la red: es el pagado a la electricadora por tener disponibilidad de capacidad de respaldo de la red con respecto a la energía requerida por la planta en caso de que suspenda la autogeneración.
- La mano de obra contempla: ingeniero eléctrico en dirección de la planta de generación de energía, ayudante para la planta de generación, auxiliar de ingeniería en el área de generación de biogás y ayudante en generación de biogás.
- Mantenimiento de caldera y turbina: corresponde a 1 % de la inversión.
- Mantenimiento del sistema de generación de biogás: para el año 5 y 15 corresponde al 25 % del costo de las carpas, en el año 10 corresponde a 50 % del costo de las carpas.
- Mantenimiento del motor de biogás: corresponde al 5 % de la inversión.

Los resultados del modelo financiero realizado, a nivel de prefactibilidad, se presentan con los indicadores tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), período de retorno de la inversión, *Pay back period* e ingresos anuales promedio. Los resul-

tados obedecen a tres alternativas evaluadas; en la primera, el inversionista aporta todo el capital al proyecto, en las otras dos se toman préstamos, que obedecen a las condiciones de financiación indicadas, por 30 y 70 % del CAPEX, respectivamente.

**Tabla 4.** Estimación financiera del nuevo modelo de negocio.

Supuestos técnicos	
Planta de beneficio de palma de aceite con capacidad de 30 tRFF/h	
Conectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN)	
Horas de operación anual: 4.800	
Biomasa para combustión: Fibra= 11,6 % RFF, Cuesco= 7,1 % RFF	
Caldera con presión de trabajo de 40 bar	
Eficiencia de caldera: 74,5 %	
Eficiencia de turbogenerador: 75 %	
Excedentes de potencia para venta: 3,69 MW	
Excedentes de energía eléctrica para venta: 20.640 MWh	
Supuestos financieros	
Flujo de caja incremental	
Vida útil del proyecto: 15 años	
Precio de compra de energía: 300 COP/kWh	
Precio de venta de energía: 150 COP/kWh	
Crecimiento anual del precio de compra y de venta de energía: 3 %	
Tasa de oportunidad inversionista: 12 % modelo en COP	
CAPEX	
Área de generación de vapor	
Caldera (40 bar (a) – 23.000 kg vapor/h)	USD 4.213.544
Mediciones de eficiencia energética	USD 4.858
Área de generación de energía	
Turbina extracción-condensación ( 3,12 MW)	USD 2.635.458
Mediciones de eficiencia energética	USD 19.433
Área generación biogás	
Generación de biogás desde piscinas hasta entrada al motor	USD 2.170.000
Motogenerador (1,4 MW)	USD 1.200.000
Conexión a la red	
Subestación (3,7 MW)	USD 139.882
Cable hasta la red (3 km)	USD 85.020
Costo de conexión a la red	USD 184.748
<b>Total CAPEX</b>	<b>USD 10.652.943</b>

OPEX primer año	
Cargo de respaldo a la red	\$ 22.230.000
Total mano de obra	\$ 115.580.288
Total mantenimiento	\$ 317.370.340
TOTAL CAPEX	\$ 455.180.628

Condiciones de financiación
Tasa de interés del préstamo: 9,07 % E.A.
Plazo del préstamo: 10 años
Tiempo de gracia: 2 años

Resultados			
	Sin financiación	30 % Financiación	70 % Financiación
TIR	11,26 %	12,11 %	13,08 %
VPN (COP)	- \$ 957.027.556	\$ 1.327.887.612	\$ 4.453.033.366
Periodo de retorno de la inversión	8 años	7 años	7 años
Ingresos Anuales Promedio (COP)	\$ 3.844.895.776	\$ 3.970.231.045	\$ 4.117.296.624

## Conclusiones

El marco normativo que presenta la Ley 1715 favorece e incentiva la generación de energía eléctrica de la agroindustria de palma, con un potencial calculado de generación de energía renovable de 340 MW que al ser incluido en la matriz energética nacional, contribuye a la ampliación y diversificación de la misma aportando firmeza al Sistema Interconectado Nacional. Así, la entrega de excedentes de generación de energía de la agroindustria de palma de aceite apoya el incremento de cobertura del servicio de energía eléctrica, favorece el desarrollo económico sostenible de las regiones y mejora la calidad de vida de la población.

El modelo de negocio desarrollado indica que la generación de energía desde las plantas de beneficio es viable financieramente generando energía renovable a partir de fuentes no convencionales de energía (biomasa) a precios competitivos del mercado. La reducción de costos obtenida en el proceso de producción de aceite al usar la energía eléctrica autogenerada, adicional al incremento en los ingresos procedente de la venta de los excedentes de esta energía, ofrece posibilidades para implementar diferentes procesos productivos anexos a la planta. Estos resultados invitan a los empresarios del sector a iniciar los estudios de factibilidad específicos a cada planta, necesarios para realizar la inversión y hacer realidad este negocio.

## Referencias

- Comisión de Regulación de Energía y Gas- CREG. (2014). *Cartilla Metodología para la remuneración de la actividad de comercialización de energía eléctrica a usuarios regulados*. Bogotá: CREG.
- García, J., Cárdenas, M. y Yáñez, E. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 31(2), 41-48.
- Ley 1715. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá, Colombia, 13 de mayo de 2014.
- Silva, E., Yáñez, E., Ponce, F. y Castillo, E. (2008). Potencial de cogeneración de energía eléctrica en la agroindustria colombiana de aceite de palma: tres estudios de casos. *Palmas*, 29(4), 59-72.