



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

Un nuevo modelo de negocio

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

Publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma

Cofinanciada por Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero

Presidente Ejecutivo

Jens Mesa Dishington

Director de la Unidad de Gestión Comercial Estratégica

Mauricio Posso Vacca

Líder de Promoción de Valor Agregado

Jaime Fernando Valencia Concha

Analista de Promoción de Valor Agregado

Ivonne Cristina Briceño Álvarez

Colaboradores

Luis Jaime González Triana

Jenny Ximena Mahecha Anzola

Luis Eduardo Betancourt Londoño

Jorge Hernando Riveros Moyano

Coordinación Editorial

Yolanda Moreno Muñoz

Esteban Mantilla

Fotografía portada

Ivonne Cristina Briceño Álvarez

Diseño y Diagramación

Fredy Johan Espitia Ballesteros

Impresión

Javegraf

ISBN: 978-958-8616-65-0

Fedepalma

Calle 98 # 70-91, piso 14.

PBX: (57-1) 313 8600

www.fedepalma.org

Bogotá, D.C., Colombia

Reimpresión: Abril de 2017

Segunda reimpresión: Septiembre de 2018



Contenido

Presentación	6
Introducción	8
Potencial de generación de energía de la agroindustria de palma de aceite en Colombia	11
Mercado de la energía eléctrica en Colombia	14
Comercialización de energía.....	18
Oportunidades de integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional a partir de la Ley 1715 de 2014	20
Modelo de generación de energía eléctrica en las plantas de beneficio.....	23
Generación de energía eléctrica	25
Tecnología disponible.....	30
Estimación financiera del nuevo modelo de negocio.....	32
Conclusiones	36
Bibliografía.....	38

Presentación

Un sector competitivo es aquel que obtiene más rentabilidad, es eficiente en sus procesos, amigable con el medio ambiente y crece de manera sostenible, lo que se traduce en beneficios económicos, sociales y ambientales para su entorno.

Con esta premisa, Fedepalma trabaja para lograr cada vez mayores niveles de competitividad para la agroindustria colombiana de la palma de aceite, de manera que se genere valor agregado para la cadena y aumente su impacto positivo en el país.

Hay muchos caminos para avanzar en la competitividad, uno de estos es la generación propia de energía para disminuir sus costos de producción, aumentar eficiencias e implementar un nuevo modelo de negocio que permita optimizar los ingresos del sector e impactar favorablemente a las comunidades cercanas.

Con la dinámica mundial de incrementar la generación de energías renovables y la apertura actual del país hacia la promoción del desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, la Ley 1715 de 2014 abre la oportunidad para esta agroindustria de vender sus excedentes de energía al Sistema Interconectado Nacional.

Teniendo en cuenta lo anterior, la razón de ser de esta publicación es brindar información acerca del potencial de generación de energía eléctrica del sector palmero en Colombia, del mercado nacional de energía eléctrica y su normatividad, y dar a conocer el modelo de negocio tipo para la generación

de energía a partir de la biomasa obtenida de la extracción del aceite de palma.

Esperamos con ello que esta información sea útil para motivar a los empresarios del sector a invertir en esta iniciativa, llamar la atención de los agentes del mercado respecto del potencial de generación de energía renovable de la palmicultura y así contribuir a la ampliación y diversificación de la matriz energética nacional, generando crecimiento económico en las zonas rurales del país y aumentando la calidad de vida de su población.



Introducción

En el desarrollo actual de todos los países en el mundo, la energía ha tenido y tiene un papel fundamental, no solo para impulsar el desarrollo sino también para generar el bienestar de la población a todos los niveles. La base de generación de energía han sido los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas; sin embargo, dichas fuentes no renovables de energía 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 integró en el protocolo de Kyoto 1997, que formalizó la alternativa de usar 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. Países como Alemania, Japón y Francia lideran la transformación en la matriz energética, encaminados principalmente en la utilización de energía solar, eólica, geotérmica y fotovoltaica.

A comienzos de la década de 1990 Colombia enfrentó una de sus mayores crisis energéticas. Los bajos niveles en los embalses y represas llevaron a que el sistema nacional de hidroeléctricas colapsara y el país se viera sometido a los denominados apagones. Dicha crisis fue la primera señal de alerta del enorme riesgo de tener concentrada la mayor parte de la capacidad de generación eléctrica del país en una sola fuente de energía, y producto de ello se adelantó toda una estrategia para implementar la generación térmica.

Ahora bien, los retos de sostenibilidad derivados del cambio climático hacen que en la actualidad la opción de diversificar la oferta energética a partir de fuentes no convencionales sea una necesidad y Colombia no es ajena a esta tendencia. 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.

Colombia es el país de Latinoamérica que tiene el precio más alto de energía eléctrica, 13 centavos de dólar por kw/h, solamente superado en la región por Uruguay, como se muestra en la Figura 1. Ya que la energía eléctrica tiene un peso importante dentro de los costos de manufactura de muchas industrias, este nivel de costo representa un factor limitante para la competitividad de la industria colombiana y del país como destino de inversión extranjera.



Figura 1. Tarifas de electricidad del sector industrial, 2013.
Fuente: AIE, Asoenergía.

De acuerdo con el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2013-2017 elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, se puede establecer que la oferta de energía cubre el crecimiento alto de la demanda solo hasta el año 2020 y para un crecimiento bajo solo hasta el 2023. En este contexto de crecimiento en la demanda de energía eléctrica y 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.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Congreso Nacional aprobó la Ley 1715 de mayo de 2014, en la que se promueve la generación de energía a partir de fuentes no convencionales de energía renovable y su inclusión en la matriz energética nacional, facilitó las oportunidades para el aprovechamiento de la biomasa y el biogás disponible en la industria de la palma y la venta de sus excedentes de energía.

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 de efecto invernadero, generando valor a la cadena de la palma de aceite y creando 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 palma de aceite en Colombia

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 (RFF) 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.

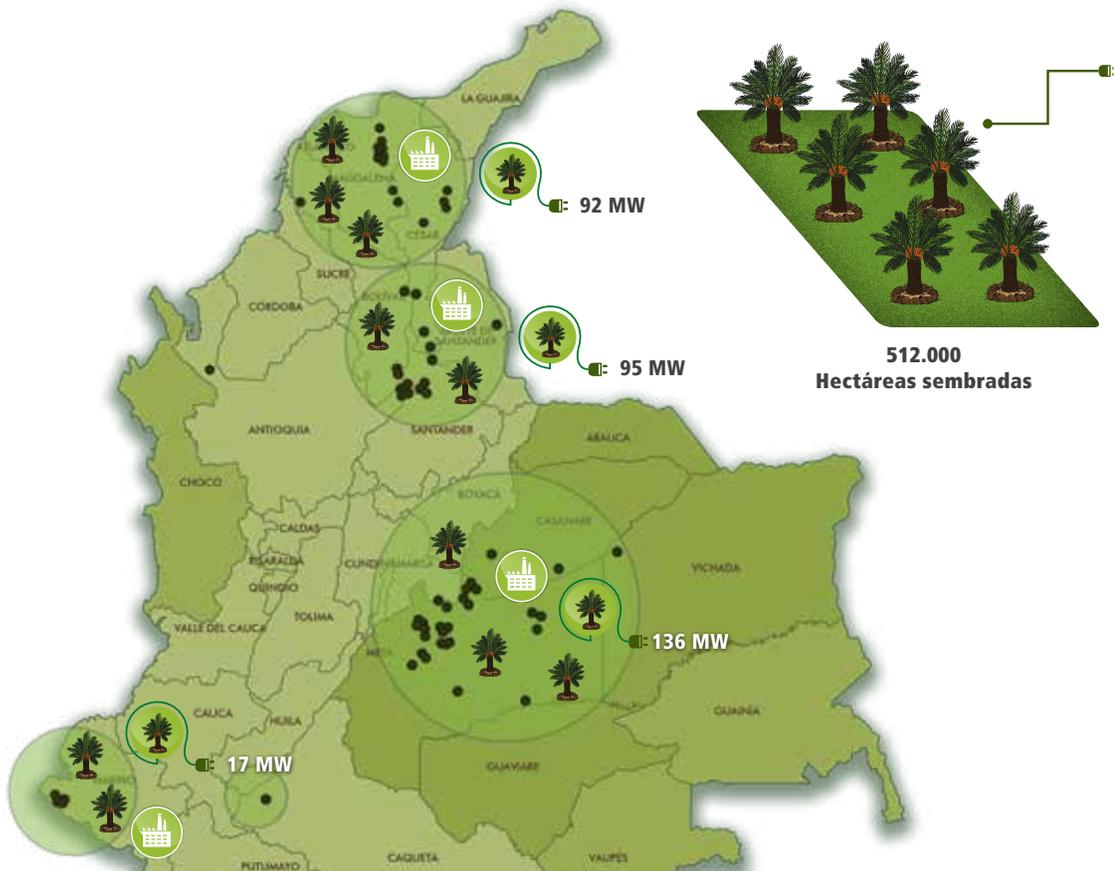
Todas las plantas extractoras tienen el potencial de generar energía, la energía generada puede destinarse para autoconsumo o autoconsumo y venta de excedentes; esto les permite ser autosuficientes energéticamente, mejorar las eficiencias del proceso productivo, incrementar la competitividad y agregar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

Ya entidades del sector energético, como el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas, IPSE, se han dado cuenta de la oportu-

nidad que representa el sector palmero y han manifestado su interés por los excedentes de energía generada en plantas extractoras de aceite de palma cerca a estas zonas, en particular la Zona Oriental.

Así mismo, la Empresa de Energía de Cundinamarca se encuentra interesada en la energía que se pueda entregar desde

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



Las plantas de beneficio de fruto de palma de aceite se encuentran alejadas de los sitios de generación eléctrica del Sistema Interconectado Nacional



las plantas extractoras al municipio de Paratebueno; y el Gobierno Nacional y el Ministerio de Minas y Energía han expresado su interés en incluir en el plan de reactivación económica para la zona de Tumaco (como alternativa sostenible de suministro de electricidad en dicho territorio), la energía eléctrica generada por la agroindustria en la Zona Suroccidental.

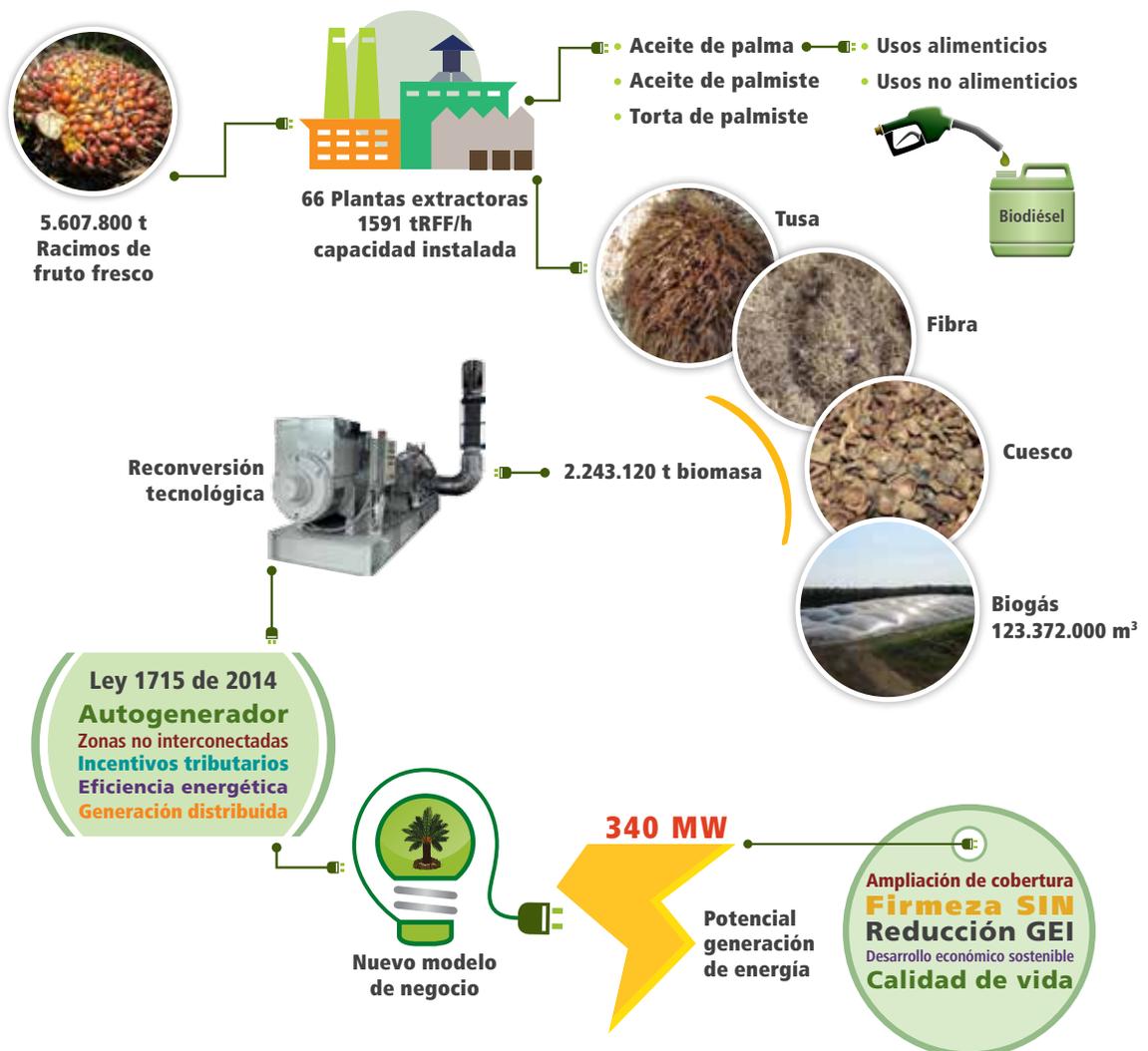


Figura 2. Potencial de generación de energía del sector palmero en Colombia. Capacidad instalada en 2014.

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.



Figura 3. Esquema institucional del mercado de la energía eléctrica.
Fuente: XM.

En cuanto a los actores del mercado, la Ley 689 de 2001 definió “Productor marginal independiente” a la persona natural o jurídica que utilizando recursos propios, produce bienes o servicios propios del objeto de las empresas de servicios públicos. De esta figura de productor marginal se derivan las diferentes clasificaciones de los agentes generadores de energía eléctrica, como se muestra 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 discriminado por tipo de mercado.



Clasificación

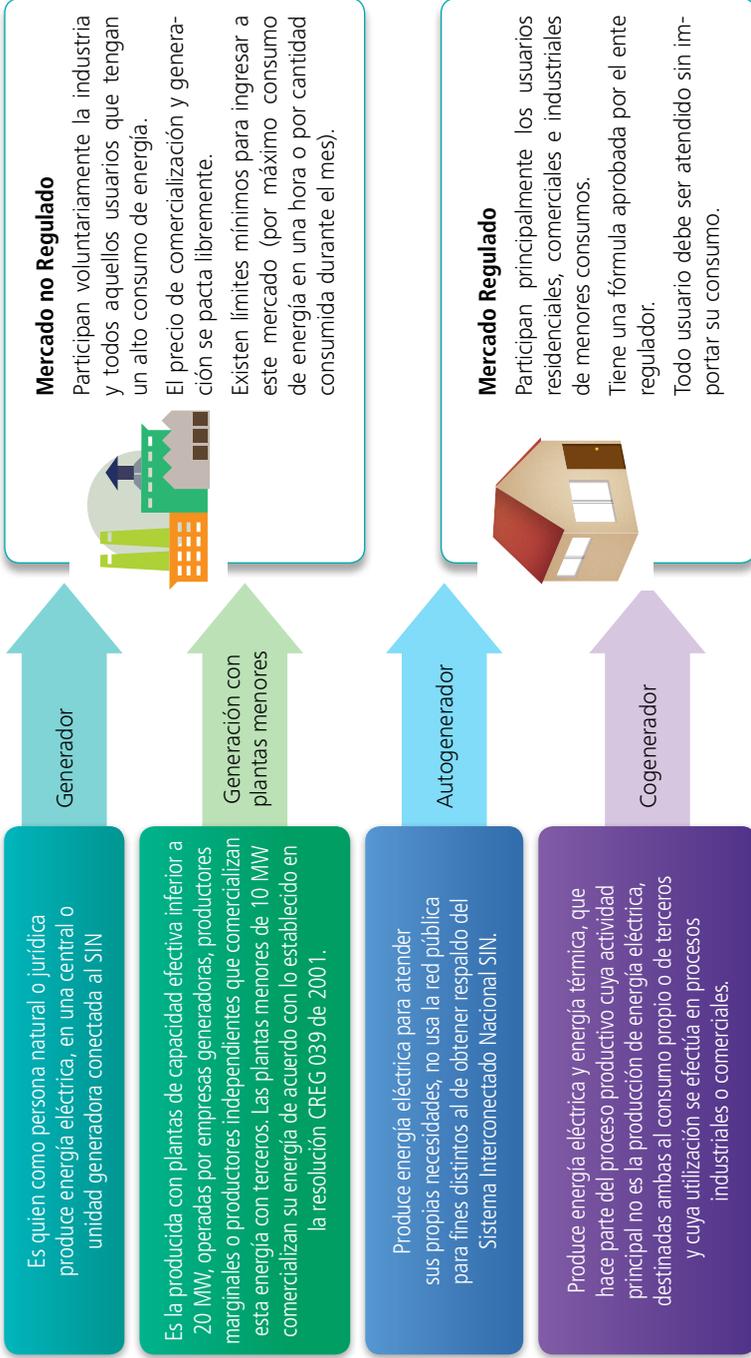


Figura 4. Agentes del mercado de comercialización de energía eléctrica en Colombia (CREG, 2014).

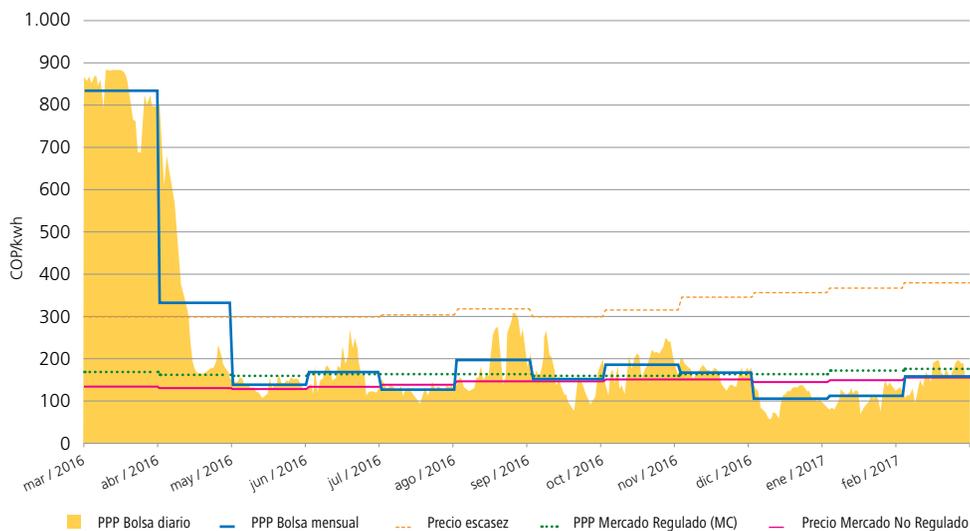


Figura 5. Precio de bolsa y contratos por tipo de mercado.

Fuente: Informe Transacciones Febrero 2017. XM

Los generadores que tienen plantas de generación con capacidad mayor o igual a 20 MW participan junto con los comercializadores en el mercado mayorista desde el cual se hace el despacho central.



Comercialización de energía

La actividad de compra y venta de energía eléctrica en el mercado mayorista y su venta para otras operaciones o a usuarios finales es lo que se define como comercialización, de acuerdo con la Resolución CREG 156 de 2011, que también se refiere a otros aspectos de interés en la comercialización de energía como los siguientes.

Requisitos para desarrollar la actividad de comercialización en el mercado mayorista:

-  Constituirse en empresa de servicios públicos, como se define en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994.
-  Llevar una contabilidad separada para la comercialización, de acuerdo con el artículo 18 de la Ley 142 de 1994.
-  Definir y publicar las condiciones de los contratos que ofrece, si atiende usuarios regulados.
-  Cuando inicie la prestación de servicio a usuarios, debe constituir la oficina de peticiones, quejas y recursos, que se trata en el artículo 153 de la Ley 142 de 1994.

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 de efecto invernadero (GEI) y la seguridad del abastecimiento energético.

Esta 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.



Figura 6. Oportunidades de la Ley 1715.

La Ley establece que las siguientes entidades: Ministerio de Minas y Energía, Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG; Unidad de Planeación Minero Energética, UPME; Ministerio de Hacienda y Crédito Público; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, ANLA; y Corporaciones Autónomas Regionales, CAR, adelanten los procesos de reglamentación, expidiendo lineamiento de políticas, procedimientos de operación y comercialización de energía, establecer el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala, otorgar ayudas para el fomento de investigación y desarrollo de las FNCE, establecer procedimientos y requisitos para la expedición de la certificación de beneficios ambientales, establecer un ciclo de evaluación rápido para proyectos que conlleven beneficios para el medio ambiente y apoyar el impulso de proyectos de generación de FNCE según su competencia.

La venta de excedentes de energía de los autogeneradores, en cualquier proporción igual o superior a su consumo propio, como lo define el Decreto 2469 de 2014 del Ministerio de Minas y Energía, en sus lineamientos de política a la Ley 1715 de 2014, 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 300 psig, que en algunas ocasiones no alcanzan a absorber el contenido calórico del combustible y ello hace que existan excedentes de biomasa. En este momento, 31 plantas autogeneran energía eléctrica para su proceso, bien sea porque no están conectadas al Sistema Interconectado Nacional 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.

La presente cartilla 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.



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

Generación de energía eléctrica

Los aceites de palma y de palmiste que se extraen en las plantas de beneficio representan aproximadamente 25 % del total del peso de los racimos de fruta fresca (RFF) procesado; los demás subproductos como fibra, cuesco, tusa y efluentes se distribuyen como muestra la Figura 8.



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

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, por su sigla en inglés de Palm Oil Mill Effluent), que se generan

en el proceso de extracción son biomasa 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 y dióxido de carbono), el cual puede utilizarse como combustible. Las características de contenido calórico y humedad, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Poder calorífico inferior y humedad de biomasa.

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

¹ Ensayos SGS 2014.

² 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 quemado 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 esta cartilla 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 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 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.



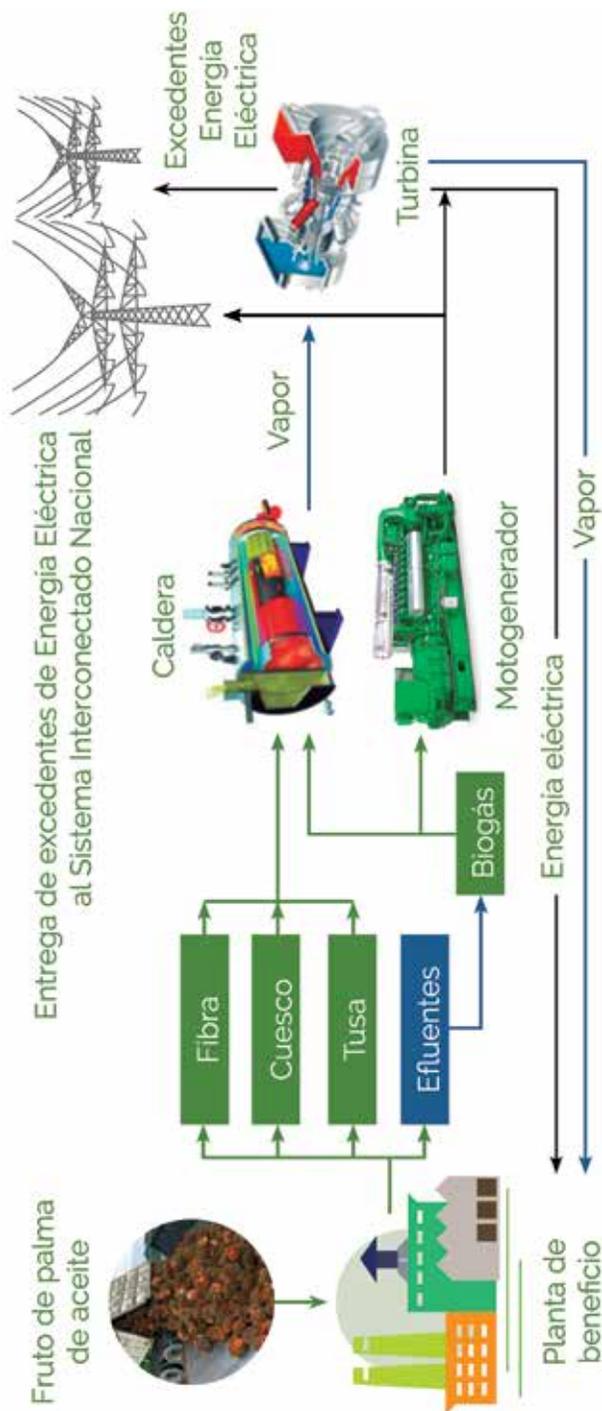


Figura 9. Proceso de generación de energía eléctrica a partir de biomasa y biogás.

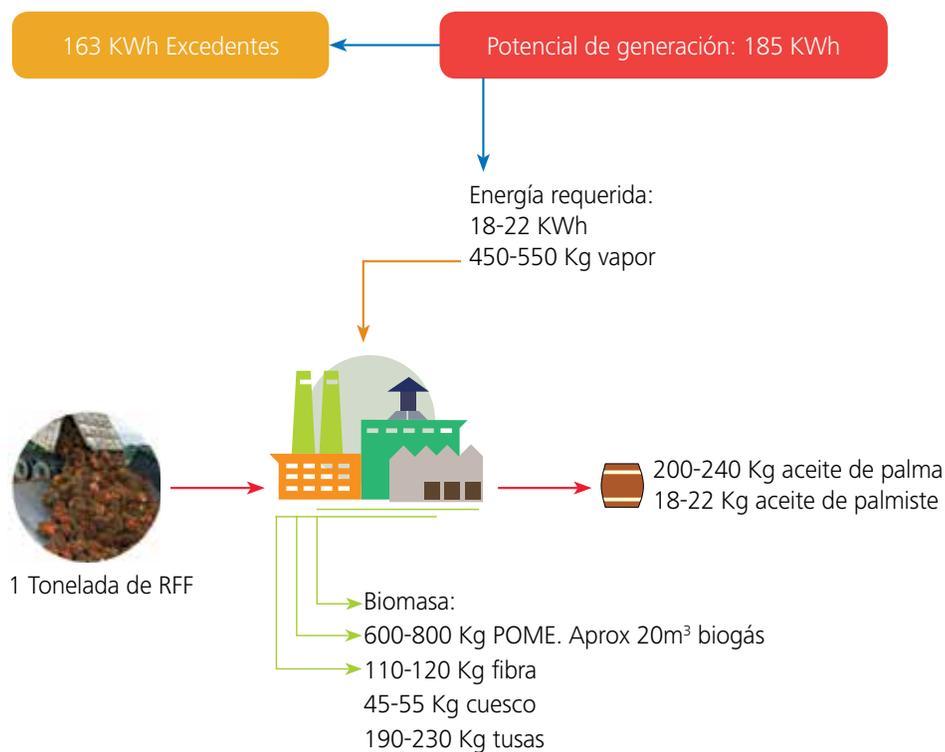


Figura 10. Indicadores de producción de biomasa y consumo energético.

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



Tecnología disponible

Con base en la información obtenida de los estudios realizados por A.V. INGENIERÍA, POCH-4ELEMENTOS, AE S.A. y TECNINTEGRAL S.A., a continuación se presentan modelos de equipos disponibles en el mercado para la reconversión tecnológica con sus especificaciones de diseño, necesaria para optimizar la generación de energía eléctrica que propone el modelo de negocio.

Calderas

Tabla 2. Especificaciones de caldera y productores.

Marca	Presión de trabajo	Temperatura del vapor	Tipo de vapor	Flujo de vapor	Proveedor
EMPIRE	31 bar (a)	290 °C	Sobre calentado	60 t/h	Advance Boilers SDN BHD, Malasia
EMPIRE	30 bar (a)	310 °C	Sobre calentado	15 t/h	Advance Boilers SDN BHD, Malasia
LSOLÉ	20 bar (a)	260 °C	Sobre calentado	19 t/h	LSOLÉ, España

Turbinas

Tabla 3. Especificaciones de turbina y productores.

Marca	Potencia	Presión de entrada	Temperatura de entrada	Escape	Proveedor
RLA/RLVA Turbina de vapor de una sola etapa	De 0,746 kW a 746 kW	46 bar (a)	400 °C	7 – 11 bar (a)	Dresser Rand, EE. UU.
TST-1030-HB Turbina Multietapa tipo contra presión condensación	Hasta 3 MW	45 bar (a)	Hasta 450 °C	Hasta 5 bar (a)	Triveni Turbines, India

Continúa

Marca	Potencia	Presión de entrada	Temperatura de entrada	Escape	Proveedor
Turbina de vapor una etapa - una válvula	De 50 kW a 3 MW	49 bar (a)	399 °C	Según requerimiento	ElliottGroup, EE. UU.
KKK Siemens CFR 5 G5 turbina de vapor a contrapresión	983 kW	26 bar (a)	375 °C	2 bar (a)	Lohrmann International
SST – 040 Siemens turbina de vapor	De 75 kW a 300 kW	2 hasta 40 bar (a)	Hasta 400 °C	Máx 7 bar (a) hasta 0,1 bar (a)	Siemens, Alemania
SST 110 Turbogruppo a vapor STE-KKK a extracción controlada y a condensación de vacío	2.750 kW	40 bar (a)	450 °C	6 bar (a) extracc 0,12 bar (a) conden	PASCH, España

Motogeneradores

Tabla 4. Especificaciones de motogeneradores y productores.

Marca	Salida eléctrica	Proveedor
Jenbacher type 4 J420 GS	1.413 ekW	GE Energy, EE. UU.
Caterpillar G3516A Gas Generator Sets	1.041 ekW	Caterpillar, Colombia

Microturbinas

Tabla 5. Especificaciones de microturbinas y productores.

Marca	Salida eléctrica	Proveedor
Capstone CR 1000	1.000 ekW	Supernova Energy Services, Colombia

Estimación financiera del nuevo modelo de negocio

A continuación se muestran los supuestos técnicos y financieros con los que se realizó el modelo*, así como las inversiones de capital (CAPEX), y se calculó a la TRM fin de año 2017: 3.010 proyectada por Bancolombia en febrero 2017.

Los ingresos del modelo financiero obedecen a la venta de los excedentes de energía a la red y el ahorro causado por dejar de comprar energía durante el 75 % de las horas de operación.

Los gastos operacionales (OPEX) obedecen a las siguientes consideraciones:



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.

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

-  Mantenimiento anual de caldera y turbina: corresponde a 1 % de la inversión.
-  Mantenimiento del sistema de generación de biogás: para el año 5 y 15 corresponde a 25 % del costo de las carpas, en el año 10 corresponde a 50 % del costo de las carpas.
-  Mantenimiento anual del motor de biogás: corresponde a 5 % de la inversión.

Los resultados del modelo financiero realizado, a nivel de pre-factibilidad, 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. El modelo considera la aplicación de los incentivos de la Ley 1715. Los resultados 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.



Estimación financiera del nuevo modelo de negocio

ÁREA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Caldera (40 bar (a) – 23.000 kg vapor/h) COP 10.658 M
Mediciones de eficiencia energética COP 10 M

ÁREA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Turbina extracción – condensación (3,12 MW) COP 6.666 M
Mediciones de eficiencia energética COP 40 M

ÁREA GENERACIÓN BIOGÁS

Generación biogás desde piscinas hasta entrada motor COP 5.268 M
Moto-generator (1,4 MW) COP 3.035 M

CONEXIÓN A LA RED

Subestación (3,7 MW) COP 404 M
Cable hasta la red (3 km) COP 195 M
Costo de conexión a la red COP 561 M
TOTAL CAPEX COP 26.837 M

CAPEX

Venta de energía: COP 3.614 M
Ahorro en la compra de energía: COP 945 M
Total INGRESOS primer año COP 4.559 M

INGRESOS primer año

Cargo de respaldo a la red COP 27 M
Total mano de obra COP 133 M
Total mantenimiento COP 387 M
Total OPEX primer año COP 547 M

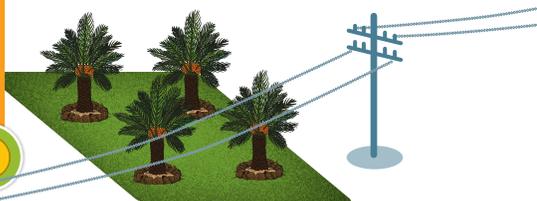
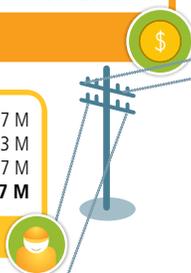
OPEX primer año

- TIR: 12,83 %
- VPN (COP): 1.113 M
- PAY BACK PERIOD: 7 años
- Ingresos Anuales Promedio (COP): 4.254 M

SIN FINANCIACIÓN

- Planta de beneficio de palma de aceite con capacidad de 30 t RFF / h
- Conectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN)
- Horas de operación anual: 4.800
- Horas generación biogás: 7.000
- Biomasa para combustión: Fibra= 11,6 % RFF, Cuesco= 7,1 % RFF
- Conversión t RFF a m3 biogás: 22
- Caldera con presión de trabajo de 40 bar
- Eficiencia de caldera: 74,5 %
- Eficiencia de turbogenerador: 75 %
- Eficiencia Moto-generator: 65 %
- Excedentes de potencia para la venta: 3,69 MW
- Excedentes de energía eléctrica para venta: 20.640 MWh

SUPUESTOS TÉCNICOS



- Flujo de caja incremental
- Vida útil del proyecto: 15 años
- Precio de compra de energía: 340 COP / kWh
- Precio de venta de energía : 170 COP / kWh
- Incremento anual del precio de compra y venta de energía: 3 %
- Tasa de oportunidad inversionista: 12 %
- TRM : 3.010
- Modelo en COP

SUPUESTOS FINANCIEROS



- TIR: 13,96 %
- VPN (COP): 3.408 M
- PAY BACK PERIOD: 7 años
- Ingresos Anuales Promedio (COP): 4.448 M

70 % FINANCIACIÓN



- TIR: 13,45 %
- VPN (COP): 2.257 M
- PAY BACK PERIOD: 7 años
- Ingresos Anuales Promedio (COP): 4.353 M

30 % FINANCIACIÓN



- Tasa de interés del préstamo: 11,25 % E.A.
- Plazo del préstamo: 10 años
- Tiempo de gracia: 2 años

CONDICIONES DE FINANCIACIÓN



Conclusiones

-  El potencial de generación de energía renovable de la agroindustria de palma de aceite es de 340 MW.
-  El marco normativo favorece e incentiva la generación de energía eléctrica del sector palmicultor. La aplicación de los incentivos tributarios disminuye el 17 % de la inversión inicial.
-  El modelo de negocio tipo desarrollado indica que es viable financieramente la generación de energía desde las plantas de beneficio e invita 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.
-  La agroindustria de palma de aceite brinda energía renovable a partir de fuentes no convencionales de energía (biomasa), a precios competitivos del mercado.
-  La inclusión del potencial de generación de energía del sector palmicultor en la matriz energética contribuye a su ampliación y diversificación, aportando firmeza al Sistema Interconectado Nacional.



La energía producida desde las plantas de beneficio de aceite de palma apoya la ampliación de cobertura del servicio de energía eléctrica contribuyendo al desarrollo económico sostenible de las regiones, mejorando la calidad de vida de la población.



La reducción de costos obtenida en el proceso de producción de aceite al usar la energía eléctrica auto-generada, 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.

Bibliografía

- CREG (2014). Cartilla Metodología para la remuneración de la actividad de comercialización de energía eléctrica a usuarios regulados.
- García, J.; Cárdenas, M., & Yáñez, E. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. *Revista 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., & Castillo, E. (2008). Potencial de cogeneración de energía eléctrica en la agroindustria colombiana de aceite de palma: tres estudios de casos. *Revista Palmas*, 29(4), 59-72.





CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - Fedepalma
Cl. 98 # 70-91, piso 14.
Bogotá D.C., Colombia
www.fedepalma.org