



**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD FINANCIERA DE UN PROYECTO DE
GASIFICACIÓN DE BIOMASA FORESTAL PARA LA GENERACIÓN DE 2 MW
DE POTENCIA EN COSTA RICA**

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
FORESTAL

JERSON GONZÁLEZ BARBOZA

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE, 2016

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD FINANCIERA DE UN PROYECTO DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA FORESTAL PARA LA GENERACIÓN DE 2 MW DE POTENCIA EN COSTA RICA

JERSON GONZÁLEZ BARBOZA

Resumen

El presente trabajo está basado en el análisis de información existente para identificar el rol que tiene la biomasa forestal para la generación de energía con las tecnologías existentes. Se identificó el proceso termoquímico adecuado en la generación eléctrica de mediana potencia para el abastecimiento energético en las industrias costarricenses con un consumo dentro del rango de 1,8 a 3,8 MW. La tecnología seleccionada fue la gasificación de lecho fijo equicorriente, con una capacidad de generación de 2 MW. El abastecimiento de la planta consideró un costo de producción de 67 USD/t de biomasa procedente de una plantación dendroenergética para autoconsumo; sin embargo, el sistema alcanzó la rentabilidad con la compra de esta materia prima a terceros. El análisis financiero de la planta tomó en cuenta dos escenarios para su puesta en marcha, donde la venta de energía al Instituto Costarricense de Electricidad no resultó rentable, caso contrario al de la generación para autoconsumo, donde la tasa interna de retorno obtenida fue del 17,68%.

Palabras clave: Gasificación, biomasa, factibilidad financiera, generación de electricidad.

Abstract

This work is based on the analysis of existing information in order to identify the role that forest biomass plays for power generation with existing technologies. The adequate thermochemical process was identified in the electricity generation of medium power for energy supply in Costa Rican industries with consumption in the range of 1, 8 to 3, 8 MW. The chosen technology was downdraft fixed bed gasification, with a generating capacity of 2 MW. The plant supply took into consideration 67 USD/t as biomass productive cost having a plantation as the wood energy crops. However, the system's profitability was reached with the purchase of biomass to third parties. The financial analysis of the plant took into account two scenarios for its implementation, where selling energy to the Instituto Costarricense de Electricidad (Costa Rican Electricity Institute) was not profitable. The opposite case was the generation for self-consumption, where the internal rate of return obtained was 17, 68%.

Keywords: Gasification, biomass, financial feasibility, electricity generation.

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD FINANCIERA DE UN PROYECTO DE
GASIFICACIÓN DE BIOMASA FORESTAL PARA LA GENERACIÓN DE 2 MW
DE POTENCIA EN COSTA RICA**

Miembros del tribunal



Ing. Carlos Roldán Villalobos, Lic.

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Director de tesis



Ing. Dorian Carvajal Vanegas, Lic.

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Coordinador de tesis



Ing. Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D.

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Lector



Ing. Diego Camacho Cornejo, MBA.

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Lector

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto “Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos en el contexto del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), financiado por el MICITT-MICITT y el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Tabla de contenidos

Contenido

Resumen.....	ii
Palabras clave.....	ii
Abstract.....	ii
Keywords:.....	ii
Introducción.....	1
Material y métodos.....	2
Determinación de la tecnología de generación eléctrica.....	2
Capacidad de abastecimiento de la planta de gasificación.....	2
Análisis financiero.....	5
Resultados y discusión.....	7
Determinación de la tecnología de generación eléctrica.....	7
Abastecimiento de la planta de gasificación.....	10
Análisis financiero.....	17
Conclusiones.....	22
Recomendaciones.....	23
Referencias.....	24
Anexos.....	33
Anexo I. Tipos de gasificadores:.....	33
Anexo II. Encuesta del precio de compra del terreno.....	34
Anexo III. Empresas con tecnologías de producción energética a partir de combustibles fósiles en Costa Rica.....	35
Anexo IV. Inversión inicial del proyecto.....	37
Anexo V. Análisis financiero escenario de venta de electricidad al ICE.....	43
Anexo VI. Análisis financiero del escenario de autoconsumo.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de los procesos de gasificación y combustión directa.	9
Cuadro 2. Empresas proveedoras de biomasa forestal en Costa Rica.	11
Cuadro 3. Proyección de producción de biomasa seca y energía primaria potencial para el año 2016 del sector aserraderos en Costa Rica.	12
Cuadro 4. Composición química típica de la madera.	12
Cuadro 5. Potencial productivo de tres especies dendroenergéticas para Costa Rica.	13
Cuadro 6. Consumo promedio de biomasa para una planta gasificadora de 2 MW de potencia.	14
Cuadro 7. Ordenamiento forestal de una plantación para el abastecimiento de una planta gasificadora de 2 MW de potencia.	15
Cuadro 8. Costo de establecimiento y mantenimiento de una plantación de 5000 árboles por hectárea.	16
Cuadro 9. Costo de abastecimiento de una planta gasificadora de 2 MW de potencia al comprar la biomasa forestal a suplidores nacionales.	16
Cuadro 10. Resultados del análisis financiero del escenario de venta de electricidad al ICE.	17
Cuadro 11. Resultados del análisis financiero del escenario de autoabastecimiento.	20
Cuadro 12. Encuesta a productores agropecuarios de Coopevega, San Carlos, Costa Rica.	34
Cuadro 13. Empresas con tecnologías de producción energética a partir de Bunker en Costa Rica.	35
Cuadro 14. Parámetros del escenario de venta de electricidad al ICE.	43
Cuadro 15. Indicadores financieros escenario de venta de electricidad al ICE.	46
Cuadro 16. Parámetros del escenario de autoconsumo.	47
Cuadro 17. Indicadores financieros escenario de autoconsumo.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento volumétrico reportado para una plantación de <i>Eucalyptus saligna</i> versus plantación clonal de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	14
Figura 2. Análisis de sensibilidad para la variable de “venta de electricidad”, escenario de venta de electricidad al ICE.	18
Figura 3. Análisis de sensibilidad para la variable “compra de biomasa”, escenario de venta de electricidad al ICE.....	19
Figura 4. Análisis de sensibilidad para la variable de “compra de biomasa”, escenario autoabastecimiento.....	20
Figura 5. Análisis de sensibilidad para la variable de “compra de electricidad”, escenario autoabastecimiento.....	21
Figura 6. Distribución de la opinión de los productores agropecuarios encuestados.	34
Figura 7. Consumo de combustibles fósiles del I trimestre del 2015 versus I trimestre del 2016.....	36

Introducción

La demanda energética mundial crece en función de las altas tasas de industrialización y el auge de las economías emergentes (Pérez y García, 2013). El uso más intensivo de fuentes renovables de energía aún se encuentra distante de los combustibles fósiles, los cuales proporcionan el 80% de la energía producida en el mundo. Desde el punto de vista de las emisiones de gases de efecto de invernadero, es imprescindible contar con fuentes energéticas renovables que garanticen el abastecimiento de la industria, el transporte y de la población (Del Val Gento y Antolín, 2009).

Los avances tecnológicos se dirigen cada vez más al manejo de fuentes amigables con el ambiente (Guo, 2004). Estos avances se fundamentan en el uso de factores naturales como el agua, viento, sol y biomasa (Pérez y García, 2013). Arteaga *et al* (2015), mencionaron la biomasa como materia prima abundante con alto potencial de producción energética. Sin embargo, Mckendry (2002) destacó especial atención a los costos de extracción y transporte de esta materia prima, puesto que el sistema productivo debe presentar eficiencias elevadas y estar preparado para trabajar con márgenes económicos estrechos.

En Costa Rica, Cortés (2009) propuso la gasificación como medio de producción energética para el autoconsumo a partir de biomasa. Por su lado Kowollik (2014) mencionó una fuerte dependencia energética de combustibles fósiles en el país. De la misma forma, el Plan Nacional de Energía 2015-2030 abrió la discusión de la matriz eléctrica sobre fuentes de energía renovables como el caso de la biomasa, donde eventualmente la gasificación y combustión directa podrían presentar un papel importante en la generación energética, la cual considera otros aspectos sociales, ambientales y económicos que se deben profundizar (MINAE, 2015).

Es importante mencionar que en Costa Rica no se han generado experiencias específicas a mayor escala sobre el uso de la gasificación como mecanismo de transformación de energía. Es por esta razón que el objetivo de la presente, se enfoca en la determinación de la rentabilidad de un proceso de gasificación de biomasa forestal para la generación eléctrica de 2 MW de potencia, donde se seleccionó una tecnología adecuada para las condiciones de Costa Rica, se determinó la capacidad de abastecimiento de la planta gasificadora de acuerdo con la disponibilidad de biomasa y se realizó un análisis financiero del sistema.

Material y métodos

Determinación de la tecnología de generación eléctrica

Se realizó una descripción de los procesos termo-químicos (gasificación, combustión y pirólisis) capaces de producir energía térmica y electricidad a partir de biomasa lignocelulósica. El método termo-químico adecuado para Costa Rica se definió al comparar el costo de la tecnología de gasificación versus combustión directa, este análisis incluyó la identificación de los productos obtenidos de cada método. Una vez seleccionado el proceso termo-químico, se efectuó la identificación de la tecnología de producción energética por medio de una revisión de literatura.

La elección del proveedor de la tecnología se estableció de acuerdo con la metodología para la identificación de proveedores propuesta por Pérez y Osorio (2014), donde los parámetros evaluados fueron el costo de la planta de generación, costos operacionales y de mantenimiento, venta de equipos llave en mano y tanto la potencia como la capacidad de la planta dentro del rango solicitado.

Capacidad de abastecimiento de la planta de gasificación

Para determinar la capacidad de abastecimiento de biomasa para la planta se determinaron las fuentes de biomasa forestal existentes en Costa Rica por medio de un análisis de la literatura disponible, bases de datos, así como otros estudios más recientes. Este análisis involucró la caracterización de los residuos generados por la industria del aserrío, así como la proyección del volumen de los mismos para el año 2016.

La investigación identificó las especies forestales presentes en Costa Rica, además, se realizó un filtro de especies de alto potencial dendroenergético de acuerdo con lo reportado en la literatura. Una vez identificadas las especies candidatas, se procedió a seleccionar la de mayor rendimiento en la variable biomasa seca por hectárea. Posteriormente se estimó la cantidad de hectáreas de plantación forestal requeridas para abastecer una planta de 2 MW que utilice madera proveniente de un cultivo energético (Ecuación 3). De acuerdo con la experiencia silvicultural costarricense, las variables de poder calórico, densidad básica e incremento medio anual promedio, fueron obtenidas de muestras provenientes de un modelo tradicional de plantación con una densidad de 1111 árboles por hectárea, donde las variables anteriormente mencionadas se estimaron al considerar un turno de rotación forestal de 4 años. Es importante destacar que esta densidad de plantación se utilizó únicamente con el objetivo de determinar la especie con mayor potencial volumétrico por hectárea (Ecuación 1).

Ecuación 1. Determinación de la especie forestal con mayor potencial volumétrico por hectárea.

$$IMA \left(\frac{m^3}{ha * año} \right) \times Densidad \text{ básica de la madera } \left(\frac{t}{m^3} \right)$$

Una vez seleccionada la especie de mayor rendimiento volumétrico, se procedió a realizar los cálculos del precio por tonelada de biomasa al producirse en una plantación forestal para autoconsumo, donde de acuerdo con Calvo (2016) existen ensayos en Costa Rica de plantaciones dendroenergéticas con densidades de 5000, 10000 y 20000 árboles por hectárea, donde la finalidad radica en estimular la competencia entre individuos por recursos como agua, luz y nutrientes, lo cual incita al crecimiento de los árboles y permite obtener mayores volúmenes de biomasa en menor tiempo. Al tomar en cuenta los costos de producción se seleccionó la densidad de siembra de 5000 árboles por hectárea con un turno de rotación de 3 años, este turno de rotación se debe al tiempo proyectado para alcanzar el rendimiento volumétrico deseado a partir de la especie forestal seleccionada, la cual correspondió al *Eucalyptus saligna* con un volumen de 6,4 t/ha/año de biomasa (cuadro 5). Los cálculos consideraron el establecimiento de una plantación forestal que debe ser renovada cada 10 años, a partir de consultas con expertos se determinó que esta renovación se debe al decrecimiento en la variable de rendimiento volumétrico, donde al renovar la plantación se mejora esta condición. Los parámetros contemplados para el establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales se obtuvieron de la guía para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales publicada por la Oficina Nacional Forestal (2009), además de la información referente al aprovechamiento de sistemas forestales de acuerdo con Villalobos (2014). El uso de esta información incluyó la inflación reportada por el Banco Mundial hasta el año 2015.

A continuación se presenta las ecuaciones utilizadas en el estudio:

Ecuación 2. Toneladas de biomasa seca para abastecer la planta gasificadora.

Capacidad de generación eléctrica en kWh por hora	X	Consumo de biomasa seca en kg por kWh	X	Conversión t/kg	X	Cantidad de horas de operación de la planta por año	=	Toneladas de biomasa seca al año requeridas para alimentar la planta generadora
---	---	--	---	--------------------	---	---	---	---

Ecuación 3. Número de hectáreas anuales para el abastecimiento de la planta gasificadora.

$$\frac{\text{Toneladas de biomasa seca al año requeridas para alimentar la generación de la capacidad eléctrica de la planta generadora}}{\text{Producción de biomasa seca en toneladas por hectárea}} = \text{Área de plantación requerida}$$

Por último, se realizó una encuesta donde a partir de una reunión con personal de cada empresa comercializadora de biomasa forestal en Costa Rica, se determinó la capacidad de abastecimiento de esta materia prima en el área metropolitana, además del rango concerniente al precio de compra de biomasa a terceros, debido a la fluctuación existente en las distancias que deben ser cubiertas para el abastecimiento de una industria. Posteriormente, el precio de venta ofrecido por suplidores nacionales de biomasa se comparó con el precio de producción de biomasa a partir de plantaciones forestales dendroenergéticas, la finalidad radicó en seleccionar la mejor opción comercial en el abastecimiento biomásico de la planta gasificadora propuesta.

En cuanto al esquema de producción de biomasa, se contempló variables como el costo de establecimiento, mantenimiento y corta de una plantación según lo reportado en la literatura costarricense disponible. El valor del terreno se definió en 1.500.000 colones por hectárea, según lo consultado a 12 productores agropecuarios de la región de Coopevega, ubicada en San Carlos, Costa Rica, donde la precipitación promedio se encuentra en el rango de 2000 a 4000 mm/año y la temperatura oscila entre los 24 y 30° C (Ortiz y Soto, 2014), condiciones óptimas para el desarrollo del *Eucalyptus saligna* (Torres et al, 2011). Este valor de 1,5 millones de colones por hectárea se considera el más deseable para efectos de los productores de la biomasa y su ubicación cercana a los núcleos de producción de la misma.

Análisis financiero

Se determinaron dos escenarios de producción energética enfocados a:

1. La venta de energía al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
2. Autogeneración para el abastecimiento de parte del consumo eléctrico.

Ambos casos se diseñaron con un esquema de financiamiento del 80% de la totalidad de la inversión, con un plazo de 10 años y una tasa de interés del 5,5% sobre saldo. Se supone un periodo de gracia de 12 meses. Estos parámetros se obtuvieron de la mejor oferta bancaria obtenida mediante la solicitud de información para créditos destinados a energías limpias.

El análisis financiero permitió determinar la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN) y la relación costo-beneficio (C/B), además este incluyó un análisis de sensibilidad para establecer la relación entre estos indicadores con el precio de compra de la biomasa y el precio de venta de la electricidad.

Los ahorros en la factura eléctrica correspondiente al escenario de autoconsumo, se calcularon considerando que, dado el tamaño de la industria, es de esperar que la empresa esté conectada en mediana tensión, por lo que el ahorro anual se determinó utilizando la tarifas definidas por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos de Costa Rica (ARESEP) para el servicio TMT y un factor de carga de 0,65; típico para este tipo de industrias (ARESEP, 2015). Este escenario consideró la exención de impuestos de nacionalización de tecnologías de acuerdo con el artículo 17 de la ley 7200 de Costa Rica.

En resumen, la tarifa calculada correspondió a 0,1556 USD/kWh (Ecuación 4).

Ecuación 4. Cálculo de tarifa para autoconsumo.

$$\left(\frac{\text{Cobro potencia y energía periodo Punta (USD/mes)}}{\text{Potencia (kW)} * \left(\frac{\text{h}}{\text{día}}\right) * \left(\frac{\text{día}}{\text{mes}}\right) * \text{F. carga}} + \frac{\text{Cobro potencia y energía periodo Valle (USD/mes)}}{\text{Potencia (kW)} * \left(\frac{\text{h}}{\text{día}}\right) * \left(\frac{\text{día}}{\text{mes}}\right) * \text{F. carga}} + \frac{\text{Cobro potencia y energía periodo Noche (USD/mes)}}{\text{Potencia (kW)} * \left(\frac{\text{h}}{\text{día}}\right) * \left(\frac{\text{día}}{\text{mes}}\right) * \text{F. carga}} \right) / 3$$

En el caso de venta de electricidad al ICE se consideró que el proyecto se realizaría amparado con el artículo 17 de la ley 7200 de Costa Rica, por lo que es posible recurrir al escenario de excepción de impuestos por nacionalización de la tecnología. Asimismo, dado que la ARESEP aún no ha definido el precio de

compra de la electricidad producida a partir de biomasa procedente de madera, se tomó como base la tarifa establecida para la electricidad obtenida con el bagazo de la caña (0,0851 USD/kWh).

Con respecto a los egresos de la planta gasificadora, en ambos escenarios corresponden al costo de operación, mantenimiento y compra de biomasa.

Todos los cálculos se realizaron con el programa Excel de Microsoft Office (2007).

Resultados y discusión

Determinación de la tecnología de generación eléctrica

La presente investigación encontró en Costa Rica más de cincuenta industrias consumidoras de bunker, las cuales utilizan procesos termoquímicos para la obtención de energía térmica y eléctrica. El proceso termoquímico de mayor aplicación en el país es la combustión directa; sin embargo, existe un interés latente por parte de las industrias costarricenses en la aplicación de proyectos de generación energética a partir de biomasa, donde la gasificación presenta un grado de desarrollo a nivel experimental en el país. La elección del proceso termoquímico adecuado para Costa Rica se sustentó en la identificación y caracterización de lo que implica cada proceso, por ejemplo:

La combustión: Se define como la oxidación completa de la biomasa por el oxígeno presente en el aire al aplicar temperaturas en un rango de 800° a 1000°C (Saint-Marc, 2015). Los productos del proceso de combustión son los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y dióxido de azufre (SO_2) (Pérez y Osorio, 2014). Según Cerdá (2012) la mezcla y cantidad de contaminantes producidos por este proceso depende de factores como el tamaño y diseño de la caldera, calidad y tipo de combustible utilizado, además de los equipos de control de contaminación instalados en la planta.

Por otro lado, McKendry (2002) definió la gasificación como un proceso de combustión con ausencia parcial de oxígeno, la cual también es conocida como pirólisis con oxidación parcial (Pérez y Osorio, 2014). El principal producto del proceso se denomina Syngas, compuesto por monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2) y metano (CH_4) y el nitrógeno del aire que no reacciona en este proceso; sin embargo, también es posible generar gases como dióxido de carbono (CO_2) (Melgar *et al* 2007). Saint-Marc (2015) mencionó un rango de temperatura de operación entre los 700° a 1200°C. Este proceso puede abastecerse por medio de tres agentes gasificantes, aire, vapor de agua u oxígeno, e hidrógeno. El agente gasificante apropiado para motores de combustión interna convencionales es el aire (IDAE, 2007).

En cuanto al proceso de pirólisis, este consiste en la degradación térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno. Es una combustión incompleta a una temperatura aproximada de 500°C. Los productos del proceso son monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), Hidrogeno (H_2), hidrocarburos ligeros y una mezcla de otros productos en estado líquido con bajo poder calórico (Saint-Marc, 2015).

Respecto al costo de las tecnologías de los procesos anteriormente descritos, la gasificación obtuvo aproximadamente 20% menos del costo capital representado por las calderas para combustión directa; relación verídica únicamente en tecnología china, este parámetro concuerda con lo mencionado por Caputo *et al* (2005), quienes identificaron mayor costo capital en la tecnología aplicada a calderas de combustión, además, Erenchun (2006) demostró mayor rentabilidad en proyectos de gasificación, reafirmado por Pérez *et al* (2012), quienes concluyeron que la tecnología de gasificación posee mayor eficiencia al ser comparado con proyectos de combustión directa para la generación eléctrica de baja y mediana potencia.

Por otro lado, Rezaiyan y Cheremisinoff (2005) indicaron que las emisiones de azufre y óxidos de nitrógeno se ven reducidas en la gasificación por el proceso de limpieza del syngas, al contrario de lo ocurrido en la combustión. La anterior afirmación coincide con lo mencionado por Forero, Guerreo y Sierra (2012), quienes después de utilizar biomasa forestal en ambos procesos concluyeron que la gasificación genera mayor valor agregado al producir un gas de síntesis con menores cantidades de emisiones. Kirkels y Verbong (2011) enfatizaron que la gasificación de biomasa se perfiló como un sistema bajo en emisiones de dióxido de carbono con alto potencial de suministro energético en productos químicos y combustibles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de los procesos de gasificación y combustión directa.

Categorías analizadas	Gasificación	Combustión directa
Objetivo	Generar productos con valor agregado	Producir calor o destruir residuos
Proceso	Conversión térmica y química con oxígeno limitado	Combustión completa usando aire
Gas combustible	Aire, vapor de agua u oxígeno, hidrógeno	Aire
Materia prima utilizada	Específica	General
Contenido de humedad en material combustible	Bajo	Medio
Tamaño de partícula combustible	Específico	General
Productos	H ₂ , CO, CH ₄ , CO ₂ , H ₂ O, Alquitranes	CO ₂ , H ₂ O, SO ₂ , NO _x
Uso potencial de los productos generados en el proceso	Generación de potencia o producción de combustibles	Producción de energía térmica
Formación de biocombustibles	Sí	No
Residuos	Carbón vegetal, ceniza	Ceniza
Rango de temperatura	700-1200 °C	800-1000 °C
Partículas tóxicas	Ausente en proceso con bajo contenido de oxígeno	Furano y dioxina
Experiencia en Costa Rica	Baja	Alta

Por todo lo anteriormente expuesto, para efectos de este estudio se considera que el proceso de gasificación es el adecuado para utilizar biomasa forestal en la obtención de electricidad, ya que produce una menor cantidad de emisiones al ambiente, presenta mayor valor agregado en sus productos generados y un menor costo capital en tecnologías de origen chino al ser comparado con el proceso de combustión directa. Es importante recalcar que existe la posibilidad de que la tecnología referente a combustión presente un valor de adquisición menor que el de la gasificación, sin embargo, esta última posee un costo de operación 10% menor (Erenchun, 2006). Adicionalmente; un estudio publicado por Erenchun (2006) mostró que la gasificación obtuvo una tasa interna de retorno 2% más alta que el proceso de combustión, además de presentar un valor presente neto 70% mayor en un escenario con igualdad de condiciones para ambos procesos.

Por otro lado; Pérez *et al* (2010) recalcaron la existencia de diferentes tipos de tecnologías de gasificadores, dentro de los cuales los de lecho fijo son la mejor opción de generación de pequeña a mediana potencia con bajo costo. Estos autores recalcaron los gasificadores fluidizados como una tecnología más exigente, pero con mayor capacidad de generación. De forma similar, Pérez y Osorio (2014) mencionaron que la tecnología de lecho fluidizado no es adecuada para bajas potencias, debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

Costa Rica no presenta proyectos de gasificación a escalas industriales, además, de acuerdo con el compromiso de carbono neutralidad adquirido por el gobierno, la elección de la tecnología adecuada para el desarrollo de este tipo de proyectos debe presentar una conciencia ambiental. Según los proveedores contactados, los gasificadores de lecho fijo son la opción adecuada para el país, pero, existen dos tipos de gasificadores de lecho fijo, los updraft o contracorriente y downdraft o equicorriente. La tecnología seleccionada por lo anteriormente expuesto es el gasificador downdraft, lo cual concuerda con lo mencionado por Rodríguez *et al* (2005) quienes afirmaron que la tecnología downdraft genera menor cantidad de alquitranes, en tanto que Estrada y Meneses (2004) señalaron el alto contenido de alquitrán como la principal desventaja de los gasificadores tipo updraft. Adicionalmente, Bueno (2006) mencionó que los gasificadores tipo downdraft son una tecnología barata, productora de menor cantidad de alquitranes y con un sencillo modo de operación.

Abastecimiento de la planta de gasificación

Antes de determinar la capacidad para abastecer una planta de gasificación, se debió determinar la demanda de generación eléctrica recomendada. MINAE (2014) indicó que la mayoría de grandes consumidores de electricidad de Costa Rica poseen un consumo eléctrico entre 1,8 y 3,8 MW, además, según Pérez y Osorio (2014) la gasificación es rentable en proyectos de baja potencia, por lo que la capacidad de generación seleccionada correspondió a una planta piloto de 2 MW de potencia.

La investigación identificó la presencia de los recursos forestales necesarios para abastecer una planta de gasificación capaz de generar 2 MW de potencia en Costa Rica, donde el VI Censo Nacional Agropecuario 2014 reportó 96967,5 hectáreas de plantaciones compactas y un aproximado de 2991798 árboles en sistemas agroforestales. Además, el censo encontró en edad de producción un total de 60169,1 hectáreas de plantación forestal y 1570455 árboles en sistemas agroforestales. Sin embargo, el principal uso de esta materia prima no es la producción de biomasa, la Oficina Nacional Forestal reportó 1017000 m³ de madera procesada por la industria en el 2014, destacando que la actividad principal del sector forestal fue la elaboración de tarimas, seguido por el sector

construcción, mueblería, exportación y elaboración de tableros, lápices, entre otros.

El reporte de la Oficina Nacional Forestal no mencionó la venta de biomasa como una actividad del sector; pero su comercialización es viable y está siendo ejecutada por algunas empresas, las cuales procesan residuos forestales y los ofrecen al mercado nacional (cuadro 2). La demanda de biomasa de un gasificador capaz de generar 2 MW de potencia es de 14400 toneladas al año, al trabajar de manera continua por 11 meses, demanda que puede ser cubierta con el procesamiento de los residuos biomásicos que genera la industria del aserrío. Según Coto (2013) había un volumen de producción de biomasa en aserraderos de 411084 toneladas de biomasa húmeda y 219930 toneladas de biomasa seca en el año 2012, de las cuales la energía primaria potencial correspondió a 4068,4 TJ. Además, el crecimiento anual promedio de biomasa seca correspondió a 254209 toneladas en el periodo 2000-2012, lo que en energía primaria representó un crecimiento de 4702,9 TJ por año para el mismo período. Este mismo autor describió una distribución de biomasa seca de aserraderos en 43% leña, 32% aserrín, 2% burucha y 23% otros. Por otro lado, la tendencia de la tasa de crecimiento anual promedio de residuos biomásicos del período 2006-2012, evidenció un decrecimiento del 0,7%.

Cuadro 2. Empresas proveedoras de biomasa forestal en Costa Rica.

Código	Ubicación	Costo de abastecimiento (USD/t)	Capacidad de abastecimiento en área metropolitana (t)
B_CR	Guanacaste	40 - 55	2000 - 2500
P_CR	San Carlos	40 - 55	2000

Es importante destacar que para el año 2012 Costa Rica contaba con la cantidad de biomasa forestal necesaria para el abastecimiento de la planta gasificadora propuesta; sin embargo, al contemplar el decrecimiento anual promedio de residuos biomásicos, fue necesario identificar su producción esperada para el año 2016, la cual se detalla en el cuadro 3.

Cuadro 3. Proyección de producción de biomasa seca y energía primaria potencial para el año 2016 del sector aserraderos en Costa Rica.

Sector agrícola	Biomasa Seca (t)	Energía primaria (TJ)	Residuo Agrícola Orgánico (RAO)	Biomasa Seca por RAO (t)	Energía Primaria por RAO (TJ)
Aserraderos	254209	3950	Aserrín	63552	1255
			Leña de aserraderos	116936	1698
			Otros residuos de aserradero	68636	897
			Burucha de aserradero	5084	100

Fuente: Coto, 2013.

De acuerdo con los datos citados en el cuadro 3, Costa Rica aún para el 2016 presenta la capacidad de abastecimiento de la planta gasificadora propuesta en el presente estudio, por lo que es importante determinar las características de la biomasa que se ofrece al mercado nacional, puesto que estas determinan la composición y calidad del gas obtenido en el proceso de gasificación, así que es conveniente contemplar el tamaño de partícula, la composición de la biomasa (Cuadro 4) y la humedad (Arauzo *et al* 2014). En relación con lo anterior, Coto (2013) identificó un promedio de 42% de humedad en los residuos forestales generados por la industria del aserrío.

Cuadro 4. Composición química típica de la madera.

Biomasa	Peso (%)			
	Celulosa	Hemi-celulosa	Total lignificado	Cenizas
Madera	36,4 - 50,3	12,7 - 23,2	16,6 - 28,6	0,4 - 9,7

*Fuente: Salaices, 2010.

También se debe evaluar la alternativa de suplir la biomasa requerida por la planta gasificadora mediante plantaciones dendroenergéticas. López y Ruiz (2011) destacaron el análisis de variables como precocidad de crecimiento, capacidad de acumulación de energía por unidad de volumen, capacidad de rebrote, adaptación ecológica y rotación corta como un estudio previo a la selección de la especie forestal adecuada. Por su parte, Pérez y Osorio (2014) identificaron tres especies forestales con alto potencial dendroenergético; *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* y *Gmelina arborea*.

En Costa Rica, el VI Censo Nacional Agropecuario (2014) reportó plantaciones comerciales de *Gmelina arborea*, *Acacia mangium* y el género *Eucalyptus*;

especies citadas anteriormente. Dentro de sus características, Salazar (2016) mencionó un poder calórico de 16,1 MJ/kg seco para *Gmelina arborea*, Teixeira *et al* (2015) reportaron un poder calórico de 19,4 MJ/kg seco para *Acacia mangium*, en tanto que *Eucalyptus saligna* obtuvo un poder calórico de 19,7 MJ/kg seco (Márquez *et al* 2001). Por otro lado, la Cámara Costarricense Forestal (1997) reportó un Incremento Medio Anual (IMA) para *Gmelina arborea* de 23 m³/ha/año, Jiménez y Picado (1987) encontraron un IMA de 28 m³/ha/año para *Acacia mangium*, en cuanto a la especie *Eucalyptus saligna*, CATIE (1991) reportó un IMA de 34 m³/ha/año. Otra de las variables analizadas fue la densidad básica de la madera, Rojas *et al* (2004) reportaron una densidad de 0,39 g/cm³ en una plantación de 7,5 años de *Gmelina arborea*, Muñoz y Morero (2013) mencionaron 0,45 g/cm³ para *Acacia mangium* a 9 años de plantado, mientras que la Secretaría Argentina de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP, 1995) reportó una densidad de 0,48 g/cm³ en una plantación de *Eucalyptus saligna* con 10 años de edad (Cuadro 5).

Cuadro 5. Potencial productivo de tres especies dendroenergéticas para Costa Rica.

Especie	IMA (m³/ha/año)	Poder calórico (MJ/kg)	Densidad básica* (g/cm³)	Biomasa seca (t/ha/año)
<i>Acacia mangium</i>	28	19,4	0,20	5,6
<i>Eucalyptus saligna</i>	34	19,7	0,19	6,4
<i>Gmelina arborea</i>	23	16,1	0,21	4,8

*Estimado al cuarto año de establecida la plantación.

La especie seleccionada fue *Eucalyptus saligna* por su mayor rendimiento volumétrico por hectárea, lo cual concuerda con lo mencionado por Silva (1996), quien reportó 19,5 t/ha/año de biomasa en la especie *Eucalyptus camaldulensis* al cuarto año de plantada. Por otro lado, Dias (2005) reportó un rendimiento de 15 t/ha/año en una plantación clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* (figura 1).

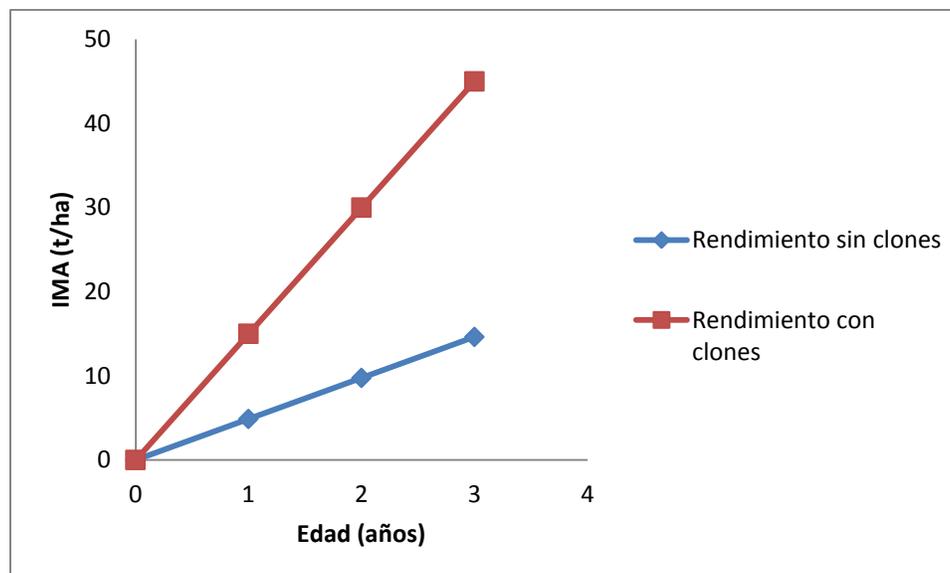


Figura 1. Rendimiento volumétrico reportado para una plantación de *Eucalyptus saligna* versus plantación clonal de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*.

Por otro lado, según la ecuación número 3, el establecimiento de una planta gasificadora de 2 MW de potencia en Costa Rica requiere 2250 hectáreas de cultivos dendroenergéticos. Pérez y Osorio (2014) identificaron una relación de 1,2 hectáreas anuales de plantación por cada kilowatt de potencia que se desee instalar en la planta (cuadro 6).

Cuadro 6. Consumo promedio de biomasa para una planta gasificadora de 2 MW de potencia.

Consumo	Toneladas de biomasa	Aprovechamiento forestal mínimo (ha)
Diario	43,2	6,8
Semanal	302,4	47,3
Mensual	1296,0	202,5
Anual	14400,0	2250,0

La investigación consideró un turno de rotación forestal de 3 años para una plantación de *Eucalyptus saligna*, donde abastecer anualmente y de manera continua una planta gasificadora de 2 MW requiere de un número total de 6750 hectáreas. Una vez establecida la plantación forestal, el *Eucalyptus saligna* puede trabajarse con manejo de rebrotes (Mercedes y Hernández, 1996); sin embargo, esta especie debe ser renovada al decimo año de establecida. Es importante enfatizar en el manejo de la plantación para el abastecimiento continuo

de la planta gasificadora, por lo que se consideraron intervalos de 10 años, donde se detallan las actividades de su manejo forestal (cuadro 7).

Cuadro 7. Ordenamiento forestal de una plantación para el abastecimiento de una planta gasificadora de 2 MW de potencia.

Actividad	Año									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Establecimiento	X									X
Mantenimiento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Corta				X	X	X	X	X	X	X
Manejo de rebrote				X	X	X	X	X	X	

En cuanto a la densidad de plantación, en Costa Rica se han desarrollado plantaciones experimentales con densidades de 5000, 10000 y 20000 árboles por hectárea, donde según Calvo (2016) el *Eucalyptus saligna* presenta mayor productividad de biomasa en la densidad de 10000 árboles por hectárea, sin embargo, esta autora enfatizó en que los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones de menor densidad resultan ser una opción económica más rentable para los intereses financieros de las empresas involucradas. Otros autores como Guerra *et al* (2014) proponen esquemas de plantación con 1428, 1667 y 2000 árboles por hectárea, diseñados para la producción rentable de biomasa forestal.

Guerra *et al* (2014) afirmaron que las plantaciones de alta densidad no propician una mayor rentabilidad comparado con su opuesto. Por ejemplo, en Costa Rica el cálculo teórico del valor de producción por tonelada para una plantación de *Eucalyptus saligna* con densidad de 5000 árboles por hectárea y una producción de biomasa de 19 t/ha/año al tercer año de establecida (cuadro 5), presenta un valor promedio de 67 dólares (Cuadro 8), mientras que actualmente el mercado nacional de biomasa forestal ofrece un precio por tonelada de 40 a 55 dólares, el cual oscila de acuerdo con la ubicación del cliente. Lo anterior hace de las plantaciones forestales destinadas a producción de biomasa una actividad poco atractiva.

Cuadro 8. Costo de establecimiento y mantenimiento de una plantación de 5000 árboles por hectárea.

Rubro	Costo (USD/ha)	IMA (t/ha/año)	Costo de producción (USD/t)
Chapea inicial	576		
Distribución material	261		
Fertilizante 15-15-15	107		
Trazado- marcación	1037		
Árboles (5000)	1364		
Control de plagas	115		
Corta	594		
Costo equivalente anual	1276		
Producción (turno de rotación de 3 años)		19	
Costo promedio de la biomasa			67

Por último, la opción financiera más rentable para el abastecimiento de la planta gasificadora es la compra de biomasa forestal a empresas suplidoras. Una variable importante de tomar en cuenta es el almacenamiento de esta materia prima, donde la planta no interrumpa su funcionamiento por falta de biomasa, por lo que el diseño estructural de la planta gasificadora propuesta contempló una bodega capaz de almacenar 130 toneladas de chips de madera. Los números financieros respecto al abastecimiento se detallan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Costo de abastecimiento de una planta gasificadora de 2 MW de potencia al comprar la biomasa forestal a suplidores nacionales.

Abastecimiento	Toneladas de biomasa	Costo de abastecimiento (USD)
Diario	43,2	1728,0
Semanal	302,4	12096,0
Mensual	1296,0	51840,0
Anual	14400,0	576000,0

Análisis financiero

De acuerdo con los datos obtenidos sobre el costo de producción de una plantación para autoconsumo y el precio de venta de empresas proveedoras de biomasa forestal, el presente análisis financiero se desarrolló con la opción de abastecimiento de menor costo, la cual corresponde a la compra de biomasa a empresas que brinden este servicio (40 USD/t).

El escenario de venta de energía al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) no resultó rentable debido a la baja tarifa establecida actualmente por la ARESEP para la compra de electricidad a partir de biomasa (Cuadro 10). Es conveniente mencionar que, esta tarifa aplica para electricidad producida a partir de la biomasa del bagazo de caña y no para biomasa adquirida a terceros. Travieso y Cala (2007) concluyeron que para un proceso exitoso en el uso de biomasa hay que incidir en la implementación de instrumentos legales para obtener rentabilidad y hacer atractiva la inversión en este tipo de proyectos.

Cuadro 10. Resultados del análisis financiero del escenario de venta de electricidad al ICE.

Condiciones del proyecto				Indicadores financieros del proyecto		
Inversión proyecto (millones USD)	Préstamo (millones USD)	Capital privado (millones USD)	Plazo de préstamo (años)	TIR	VPN (millones USD)	C/B (USD)
5.37	4.30	1.10	10	-21,15%	-2.00	1,07

*Tarifa de venta 0,0851 USD/kWh

Este escenario de venta energética al ICE mostró que las tarifas de venta de electricidad pierden la rentabilidad a partir de los 0,11 USD/kWh, donde el valor de equilibrio encontrado fue de 0,12 USD/kWh con una TIR del 3,49% (Figura 2).

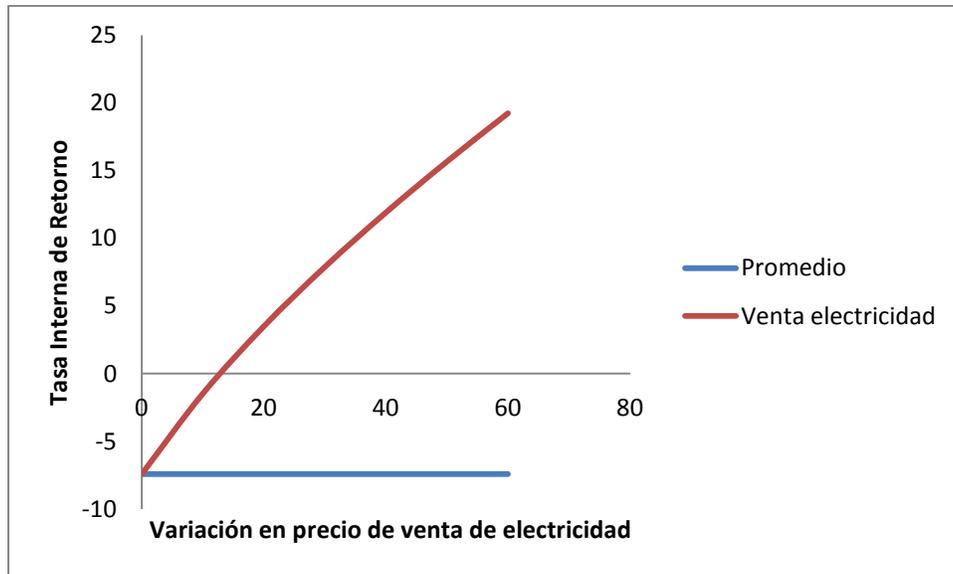


Figura 2. Análisis de sensibilidad para la variable de “venta de electricidad”, escenario de venta de electricidad al ICE.

*Precio base compra biomasa 40 USD/t, tarifa base de venta de electricidad 0,10 USD/kWh.

Otro aspecto importante que afecta la rentabilidad del proyecto es el precio de la biomasa. A pesar de utilizar como base una tarifa de venta de electricidad de apenas 0,10 USD/kWh se logró alcanzar la rentabilidad del proyecto al disminuir el costo original de la tonelada de biomasa (40 USD/t) en un 30%, con lo que se obtuvo una tasa interna de retorno del 2,59% (Figura 3).

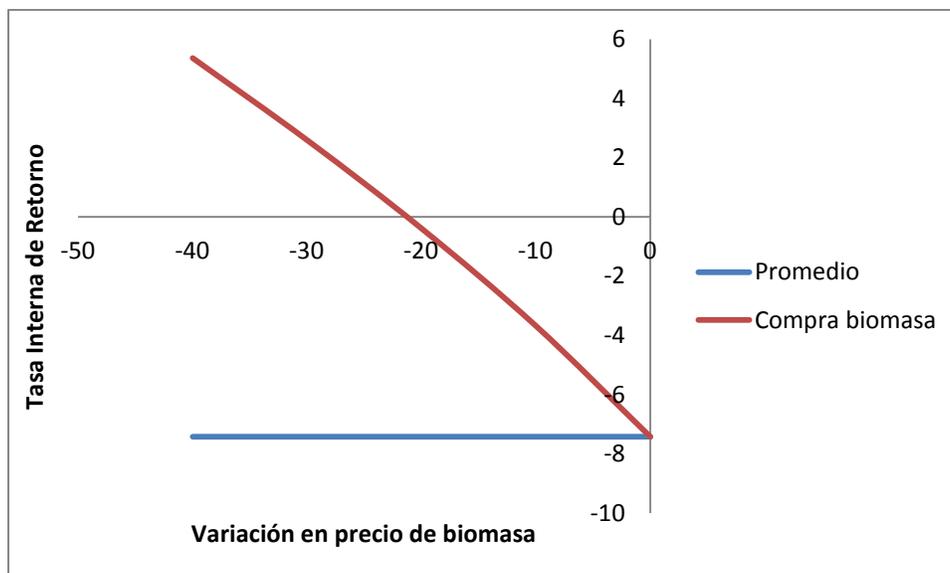


Figura 3. Análisis de sensibilidad para la variable “compra de biomasa”, escenario de venta de electricidad al ICE.

*Precio base compra biomasa 40 USD/t, tarifa base de venta de electricidad 0,10 USD/kWh.

Por otro lado, la puesta en marcha de un proyecto de autoabastecimiento de energía eléctrica a partir de biomasa procedente de madera es rentable (Cuadro 11); adicionalmente, Del Val Gento y Antolín (2009) indicaron que quien ejecuta proyectos de gasificación debe considerar los beneficios medioambientales y sociales producidos por este. Bueno (2006) recalcó positivamente la mejora en la calidad de vida y la apertura de oportunidades a partir del acceso a la electricidad generada por proyectos de gasificación de biomasa. Balderrama *et al* (2011) mencionaron mayor rentabilidad al aumentar la capacidad de la planta, aunque Pérez y Osorio (2014) indicaron que los proyectos de gasificación también se adaptan a la generación de baja y mediana potencia.

Cuadro 11. Resultados del análisis financiero del escenario de autoabastecimiento.

Condiciones del proyecto				Indicadores financieros del proyecto		
Inversión proyecto (millones USD)	Préstamo (millones USD)	Capital privado (millones USD)	Plazo de préstamo (años)	TIR	VPN (millones USD)	C/B (USD)
5.37	4.30	1.10	10	17,68%	5.00	1,82

*Tarifa de ahorro 0,1556 USD/kWh

La rentabilidad del proyecto en el escenario de autoabastecimiento también mostró una importante dependencia del valor de compra de la biomasa; por medio de un análisis de sensibilidad se evidenció el comportamiento de la rentabilidad al aumentar el costo de la tonelada de la biomasa hasta un 80 %. Los aumentos en el precio de biomasa mayores al 30% de su valor promedio (40 USD/t) resultaron en una disminución significativa de la tasa interna de retorno (Figura 4), lo cual concuerda con Del Val Gento y Antolín (2009) que indicaron que la rentabilidad del proyecto se ve seriamente afectada por los altos costos de extracción y pre tratamiento de la biomasa.

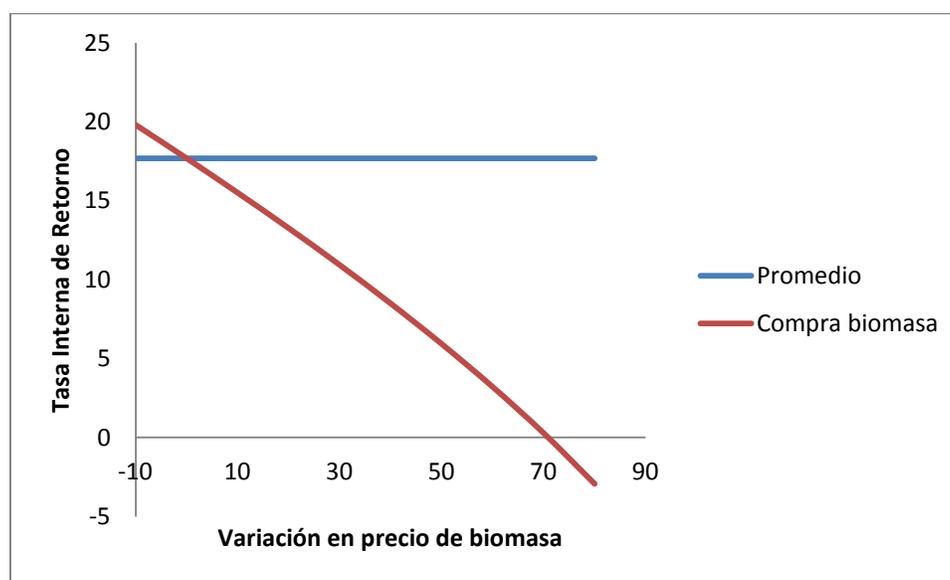


Figura 4. Análisis de sensibilidad para la variable de “compra de biomasa”, escenario autoabastecimiento.

*Precio base compra biomasa 40 USD/t, tarifa base de ahorro de electricidad 0,1556 USD/kWh.

Otra variable importante contemplada en el análisis de sensibilidad fue el precio de compra de la electricidad, donde se utilizó el valor de compra energética calculado en la ecuación 4 como valor de referencia (0,1556 USD/kWh). Este análisis demostró que la rentabilidad del sistema se mantiene aún con la disminución del precio de compra en un 20%, donde la TIR obtenida fue de 5,51%. Es importante destacar la pérdida de rentabilidad del sistema cuando se disminuyó el precio de compra energética en un 30% (Figura 5).

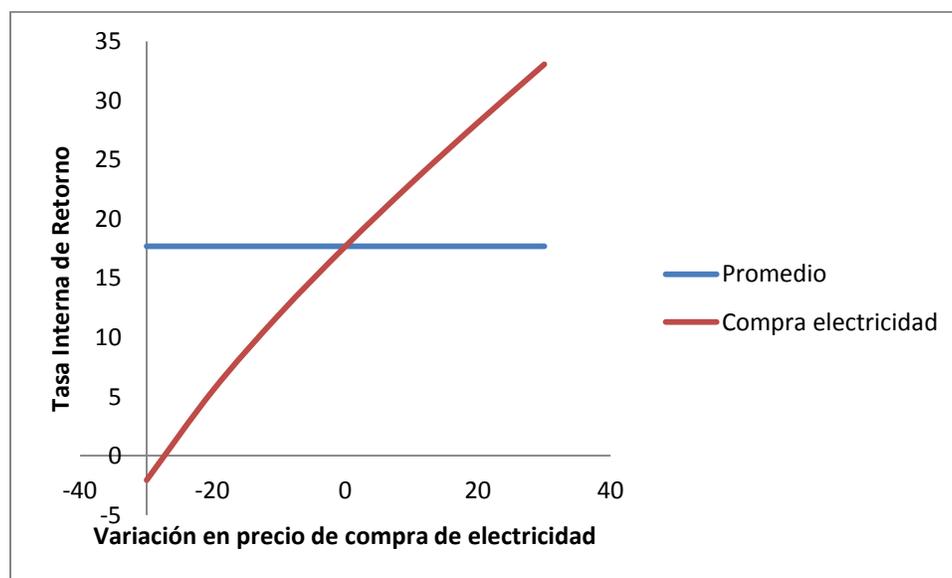


Figura 5. Análisis de sensibilidad para la variable de “compra de electricidad”, escenario autoabastecimiento.

*Precio base compra biomasa 40 USD/t, tarifa base de ahorro de electricidad 0,1556 USD/kWh.

Conclusiones

De acuerdo con la investigación bibliográfica realizada, consulta con expertos y visitas de campo a proyectos experimentales de gasificación para la generación eléctrica de baja potencia realizados en el país, se determinó que el proceso termoquímico más apropiado para el desarrollo de proyectos de autoabastecimiento eléctrico es la gasificación de lecho fijo equicorriente, de la cual se obtienen productos de valor agregado a un menor costo ambiental para Costa Rica.

A partir de los costos de producción y de acuerdo con la realidad nacional, se desestima la dedicación completa de plantaciones dendroenergéticas para abastecer una planta gasificadora de generación eléctrica de 2 MW de capacidad, donde según el cálculo teórico es necesario destinar anualmente la biomasa producida en 2250 hectáreas de plantaciones de *Eucalyptus saligna*, por lo que considerando una rotación de corta de 3 años, es necesario contar con una plantación total de 6750 hectáreas.

La dedicación completa de plantaciones con densidades de 5000 árboles por hectárea a la producción de biomasa para ser utilizada como combustible, implica un costo promedio de 67 USD/t de biomasa; mientras que es posible adquirir la biomasa directamente de suplidores nacionales a 40 USD/t, por lo que la rentabilidad del proyecto es mayor al adquirir la biomasa a empresas proveedoras.

La evaluación financiera demostró un valor presente neto de 5,0 millones de USD en el escenario de autoconsumo o desconexión total de la red eléctrica proporcionada por las empresas distribuidoras. La baja tarifa de compra energética definida por ARESEP hace que el escenario de venta de electricidad al ICE no alcance la rentabilidad y obtenga un valor presente neto negativo de 2,0 millones de USD.

El escenario de autoconsumo obtuvo una tasa interna de retorno del 17,68%, con un valor presente neto de 5.00 millones de USD. Por otro lado, el escenario de venta de electricidad al ICE alcanzó su punto de equilibrio a los 0,12 USD/kWh, con una tasa interna de retorno del 3,49%.

Recomendaciones

La actividad de producción de biomasa en Costa Rica cuenta con poca información de su desarrollo, por lo que es necesario realizar proyectos piloto que permitan generar información confiable.

El escenario de venta energética se proyectó con la tarifa eléctrica definida por la ARESEP para electricidad producida con biomasa del bagazo de caña, se recomienda ejecutar el modelo tarifario para definir el precio de venta de la electricidad obtenida a partir de biomasa diferente al bagazo de caña elaborado por la ARESEP.

Especial atención en el manejo de modalidades de producción de madera y biomasa por parte de las organizaciones de productores forestales, cuyo objetivo principal se fundamente en generar ingresos económicos adicionales a partir de actividades no convencionales.

Costa Rica cuenta con gran número de toneladas de biomasa generadas por la industria forestal, se recomienda a las asociaciones de productores la creación de centros de acopio de biomasa con la finalidad de reducir los costos de transporte de este material combustible.

El desarrollo de programas de financiamiento forestal con una nueva modalidad de producción de biomasa, es una opción de captura de carbono viable y un nicho de mercado potencial para el establecimiento de empresas que garanticen el abastecimiento de programas condicionados al desarrollo de energías limpias en el país.

Referencias

- Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J. L., y Gonzalo, A. (2014). Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa. Recuperado de: http://digital.csic.es/bitstream/10261/108763/1/BoletinGEC_033-A01.pdf
- Arteaga, L., Casas, Y., Cabrera, J., y Rodríguez, L. (2015). Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 72(570), 138-145.
- Asamblea Legislativa, CR (1990). *Ley que autoriza la generación eléctrica autónoma o paralela*. Ley No. 7200. Recuperado de <http://www.dse.go.cr/es/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Electricidad/Generacion%20privada/Ley7200y7508GeneracAutonoma.pdf>
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), Costa Rica (2015). Tarifas eléctricas 2013 a 2016. Recuperado de http://aresep.go.cr/electricidad/index.php?option=com_content&view=article&id=1860&catid=5
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), Costa Rica (2015). Expediente ET-094-2015: ANEXO N°2 ESTIMACIÓN DE INGRESOS NEGOCIO DE ELECTRICIDAD. San José, Costa Rica. Autoridad Reguladora de Servicios Públicos. República de Costa Rica.

Balderrama, S., Luján, C., Lewis, D., Ortega, J., de Jong, B., y Nájera, T. (2011).

Factibilidad de generación de electricidad mediante gasificación de residuos de aserradero en el norte de México. *Madera y bosques*, 17(2), 67-84.

Bueno, M. (2006). Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú. Recuperado de:

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3005/54870-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cámara Costarricense Forestal (CCF), CR (1997). OPORTUNIDADES DE MERCADEO Y COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONAL DE LAS MADERAS TROPICALES Y DE SUS MANUFACTURAS: LA EXPERIENCIA DEL CASO DE LA MELINA EN COSTA RICA Y DE LA UNIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DE LA CCF.C.R.:31p.

Caputo, A. C., Palumbo, M., Pelagagge, P. M., & Scacchia, F. (2005). Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: Effects of logistic variables. *Biomass and Bioenergy*, 28(1), 35-51.

Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos De ICE*, (83), 117-140. Recuperado de http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140_78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), CR (1991). *Eucalyptus saligna* Smith. ESPECIE DE ARBOL DE USO MULTIPLE EN AMERICA CENTRAL. 1 ed. Turrialba. C.R.:65p.

Coto, O. (2013). *Evaluación de la generación de residuos agrícolas orgánicos (RAO) en costa rica e identificación de sector prioritario*. (Consultoría No. 1).

San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/proyectos/proy-residuos-agricolas-org/productos/Informe%20RAO%20CR%20Producto%201.pdf>

Cortés, M. (2009). GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS BIOMÁSICOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE GASIFICACIÓN: ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS Y LA EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO. COSTA RICA. Recuperado de http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34620669/PFGMLGA6.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1473802954&Signature=FMAsMetrcJgqZ0wRR4538DpmNv8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDAD_PARA_LA_COOPERACION_INTERNAC.pdf

Del Val Gento, V., y Antolín, A. (2009). Planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual. *Escuela técnica Superior de Ingenieros Industriales. Valladolid*. Recuperado de http://www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_07/Cogeneracion-Biomasa.pdf

Erenchun, P. (2006). Evaluación técnico-económica de una central termoeléctrica utilizando combustible en base a biomasa. Recuperado de http://dspace.utralca.cl/bitstream/1950/5764/1/erenchun_podlech.pdf

- Estrada, C. A., y Meneses, A. Z. (2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia et Technica*, 2(25).
- Forero, C., Guerrero, C., y Sierra, F. (2012). Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: Una revisión a los modelos del proceso de gasificación. *Iteckne*, 9(1), 21-30.
- Guerra, E., Célis-, F., y Moreno, N. (2014). Efecto de la densidad de plantación en la rentabilidad de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(1), 21-31.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), CR (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. Instituto Nacional de Estadística y Censos. 1 ed. San José. C.R.:146p.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (IDAE). (2007). *Biomasa: gasificación*. Madrid: Editorial Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Jiménez, V., y Picado, W. (1987). Algunas experiencias con *Acacia mangium* en Costa Rica. Recuperado de: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/203/Algunas_experiencias_con_Acacia_mangium.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kirkels, A. F., y Verbong, G. P. (2011). Biomass gasification: Still promising? A 30-year global overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 471-481.

Kowollik, M. (2014). Costa Rica carbono neutral. Recuperado de <http://library.fes.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/12652>

López, G., y Ruiz, F. (2011). Cultivos energéticos y biomasa forestal. Recuperado de <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/5390>

Márquez, F., Cordero, T., Rodríguez, J., y Rodríguez, J. (2001). ESTUDIO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* (Pc) Y *Pinus tropicalis* Morelet (Pt); *Eucaliptus saligna* Smith (Es), *Eucalyptus citriodora* Hook (Ec) y *Eucalyptus pellita* F. Muell (Ep); DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(1), 83-89.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, 83(1), 37-46.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83(1), 47-54.

Melgar, A., Perez, J. F., Laget, H., y Horillo, A. (2007). Thermochemical equilibrium modelling of a gasifying process. *Energy Conversion and Management*, 48(1), 59-67.

Mercedes, J., y Hernández, M. (1996). PRODUCCIÓN DE ACACIA, EUCALIPTO Y TECA. Fundación de Desarrollo Agropecuario serie recursos naturales, 1(1),38p. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_Produccion%20Acacia.pdf

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), CR (2014). *Encuesta de consumo energético nacional en el sector industrial 2014*. San José, CR.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), CR (2015). VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. San José. Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía. República de Costa Rica.

Muñoz, F., y Moreno, P. (2013). Contracciones y propiedades físicas de Acacia mangium Willd., Tectona grandis L. f. y Terminalia amazonia A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 287-304.

Oficina Nacional Forestal (ONF), CR (2009). Guía del productor para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales. Oficina Nacional Forestal (ONF) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). 1ed. San José, CR.: comunicaciones milenio. 32 p.

Oficina Nacional Forestal (ONF), CR (2015). *Usos y aportes de la madera en Costa Rica: Estadísticas 2014*. San José, CR. Recuperado de <http://www.onfcr.org/article/usos-y-aportes-de-la-madera-en-costa-rica/>

Ortiz, E., y Soto, C. (2014). Atlas Digital de Costa Rica 2008. *Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.*

Pérez, A., y García, E. (2013). *Energía alterna y biocombustibles: innovación e investigación para un desarrollo sustentable.* (1a ed.). Montecillo, Texcoco: Editorial del Colegio de Postgraduados.

Pérez, J., Borge, D., y Agudelo, J. (2010). _Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico–experimentales Biomass gasification process: theoretical and experimental studies a review. *scielo.org.co*, 95-107.

Pérez, F., Lenis, Y., Rojas, S., y León, C. (2012). Generación distribuida mediante gasificación de biomasa: un análisis técnico-económico e implicaciones por reducción de emisiones de CO₂. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, (62), 157-169.

Pérez, J., y Osorio, L. (Eds.). (2014). *Biomasa forestal como alternativa energética: Análisis silvicultural, técnico y financiero de proyectos* (I ed.). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

Rezaiyan, J., y Cheremisinoff, N. (2005). *Gasification technologies: A primer for engineers and scientists* (I ed.). New York: CRC Press. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MEluBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Rezaiyan,+J.,+%26+Cheremisinoff,+N.,+\(2005\).+Gasification+technologies:+A+primer+for+engineers+and+scientists+\(I+ed.\).+New+York:+CRC+Press.&ots=AMef7Ruvm4&sig=rFYTqGPt9OHaMwxSKYzmyTakrL0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MEluBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Rezaiyan,+J.,+%26+Cheremisinoff,+N.,+(2005).+Gasification+technologies:+A+primer+for+engineers+and+scientists+(I+ed.).+New+York:+CRC+Press.&ots=AMef7Ruvm4&sig=rFYTqGPt9OHaMwxSKYzmyTakrL0#v=onepage&q&f=false)

Rodríguez, M., Corvalán, P., y Gutiérrez, M. (2005). La utilización potencial de la biomasa forestal en Chile como fuente de energía. *Fac. Cs. Forestales. U. de Chile. Consultado el, 31(10), 2005.*

Rojas, F., Arias, A., Moya, R., Meza, A., Murillo, O., y Gamboa, M. (2004). MANUAL PARA PRODUCTORES DE MELINA *Gmelina arborea* EN COSTA RICA. Recuperado de: http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual%20para%20los%20productores%20de%20melina.pdf

Salaices, E. (2010). *Catalytic steam gasification of biomass surrogates: a thermodynamic and kinetic approach* (Doctoral dissertation, The University of Western Ontario). Recuperado de: <http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1156&context=etd>

Salazar, E. (2016). Influencia de altas densidades de plantación en el poder calorífico y propiedades físicas de la madera para la especie *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 51-56.

Saint-Marc, R. (2015). *Utilización de cultivos energéticos para generación eléctrica. viabilidad técnico-económica.* Recuperado de: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/36740>

Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca (SAGyP), Argentina (1995). MANUAL PARA PRODUCTORES DE EUCALIPTOS DE LA MESOPOTAMIA

ARGENTINA . Recuperado de: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_productores_de_eucaliptos_de_la_mesopotam.pdf

Silva, P. (1996). Plantaciones forestales energéticas en el proceso de la cogeneración de energía en los ingenios azucareros de Nicaragua. *Reunión Regional Sobre Generación de Electricidad a Partir de Biomasa, Montevideo (Uruguay), 23-27 Oct 95.*

Teixeira, A., Mourão, M., Marchesi, C., y de Arruda, R. (2015). ENERGY PRODUCTION OF STEM OF *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden AND *Acacia mangium* Willd IN DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION. *Cerne*, 6(1), 083-088.

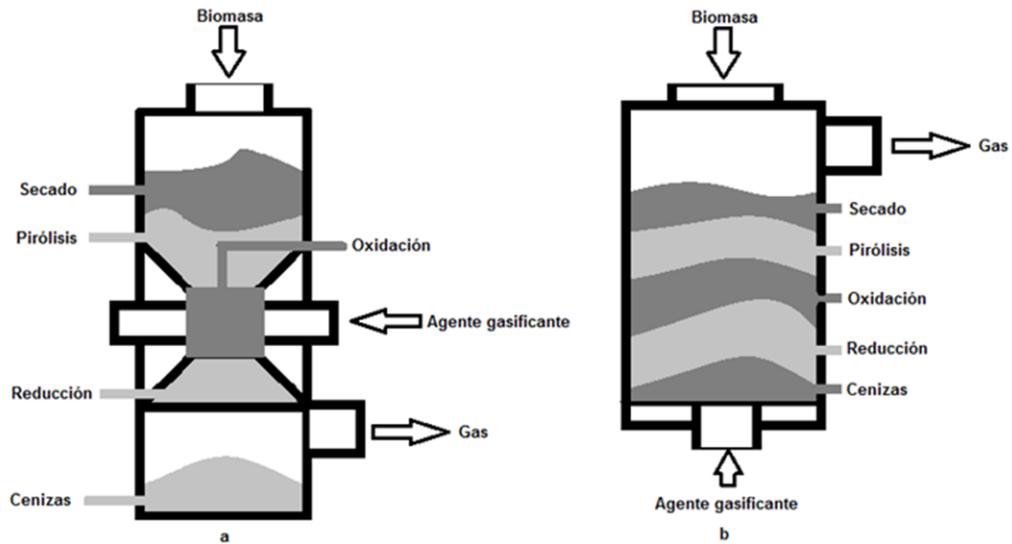
Torres, G., Carvajal, D., y Arguedas, M. (2011). Reproducción de especies arbóreas y arbustivas para la región central de Costa Rica.

Travieso, D., y Cala, R. (2007). Perspectivas de la generación de electricidad en Cuba a partir de la gasificación de biomasa. *Ingeniería Energética*, 28(3), 15-18.

Villalobos, V. (2014). Sistema tecnológico de aprovechamiento en plantaciones forestales de acacia (*Acacia mangium*). San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Recuperado de <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/handle/2238/3937>

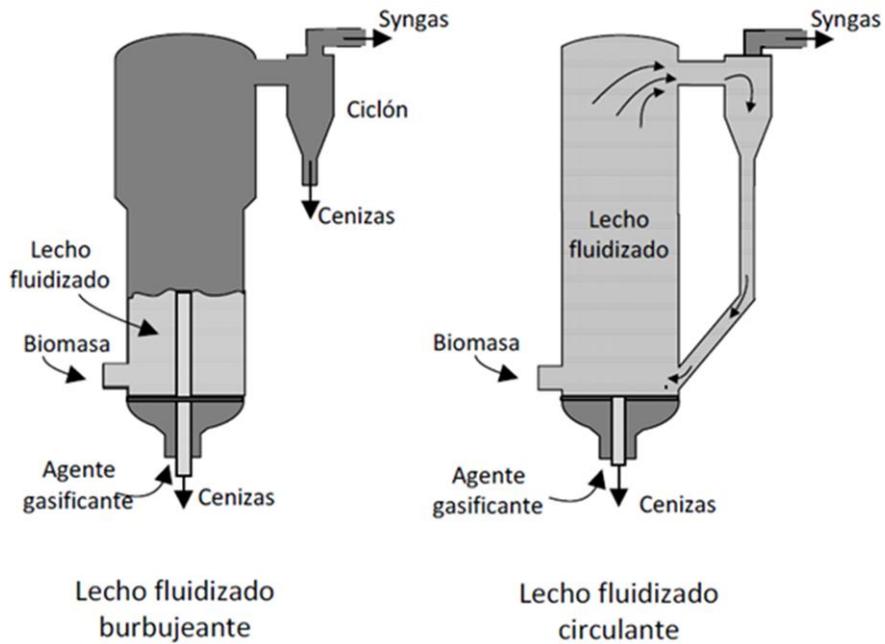
Anexos

Anexo I. Tipos de gasificadores:



Gasificadores de lecho fijo. a- Downdraft; b- Updraft.

Fuente: Adaptado de Pérez y Osorio, 2014.



Reactores de lecho fluidizado.

Fuente: Arauzo et al, 2014.

Anexo II. Encuesta del precio de compra del terreno.

Cuadro 12. Encuesta a productores agropecuarios de Coopevega, San Carlos, Costa Rica.

Código	Vecino de la zona	Posee terrenos en la zona	Desarrolla actividades agropecuarias	Valor de la hectárea (¢)
A_C	No	Sí	Sí	1500000
U_C	No	Sí	Sí	1000000
H_M	Sí	No	Sí	1000000
O_M	No	Sí	Sí	2000000
M_V	No	No	Sí	1900000
F_L	Sí	No	Sí	1400000
W_P	Sí	Sí	Sí	1300000
L_M	Sí	Sí	Sí	1800000
F_D	Sí	Sí	Sí	2000000
C_A	Sí	Sí	Sí	1000000
A_Q	Sí	Sí	Sí	2000000
E_M	Sí	Sí	Sí	1000000
Promedio				1491667
Desviación estándar				431611
*Limite Confianza Superior				1735869
*Limite Confianza Inferior				1247464

*Nivel de confianza 95 %

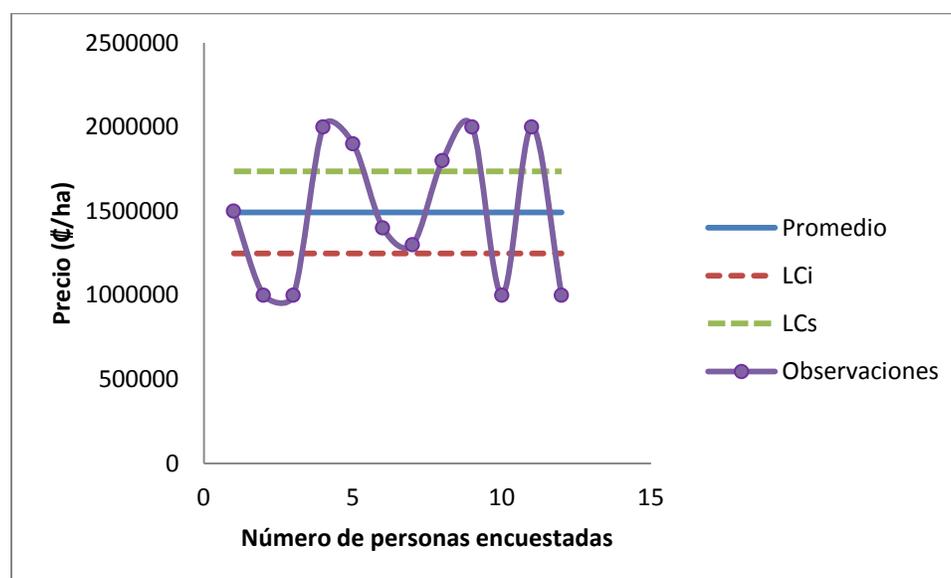


Figura 6. Distribución de la opinión de los productores agropecuarios encuestados.

Anexo III. Empresas con tecnologías de producción energética a partir de combustibles fósiles en Costa Rica.

Cuadro 13. Empresas con tecnologías de producción energética a partir de Bunker en Costa Rica.

Industrias	Link
ALIMER S.A.	
AQUACORPORACION INTERNACIONAL	
ARCELORMITTAL COSTA RICA	
CAJA COSTARRICENSE DE	
CAJA COSTARRICENSE DE	
CEMEX COSTA RICA	
CENTRAL DE PEDDLER	
CENTRO INTERNACIONAL DE	
CHIQUITA TROPICAL	
COCA COLA FEMSA DE	
COMPAÑÍA INDUSTRIAL ACEITERA	
CONGELADOS DEL MONTE	
CONSTRUCTORA SANCHEZ CARVAJAL	
COOPERATIVA DE PRODUCTORES DE LECHE	
COOPERATIVA MATADERO NACIONAL	
COROCAL DE PACUARE LTDA.	
CORPORACION DE DESARROLLO	
CORRUGADORA DE COSTA RICA	http://www.amprensa.com/2016/07/conozca-el-nombre-de-las-90-empresas-que-subsidian-los-ticos-a-traves-de-la-gasolina/
CORRUGADOS BELEN	
CORRUGADOS DEL ATLANTICO	
CORRUGADOS DEL GUARCO	
COSTA RICA COUNTRY CLUB	
COSTA RICAN COCOA PRODUCTS	
CVG ALUMINIOS NACIONALES	
DEL ORO SOCIEDAD	
DISTRIBUIDORA DE PETROLEOS	
EL GALLITO INDUSTRIAL, S.A.	
ELASTICA SURQUI S.A.	
EMBOTELLADORA	
FACTOR TERMICO ICE	
FIDEOS PRECOCIDOS DE COSTA RICA	
FRUCTA CR SOCIEDAD ANONIMA	
GERBER INGREDIENTS	
GRUPO AGROINDUSTRIAL	
INOLASA INDUSTRIA OLEAGINOSAS	
INSTITUTO COSTARRICENSE DE	

INSTITUTO COSTARRICENSE DE
IREX DE COSTA RICA
JOSE GERARDO RAMIREZ CASTRO
LIGA AGRICOLA INDUSTRIAL
MATADERO DEL VALLE
NATURAL ALOE DE COSTA RICA S.A.
PRODUCTORA LA FLORIDA
PRODUCTOS FLORIDA SOCIEDAD
PROQUINAL COSTA RICA
RICARDO JOSE ELIZONDO GARCIA
SERVICIOS DE CARGA NACIONALES
SIGMA ALIMENTOS COSTA RICA
SUR QUIMICA SOCIEDAD ANONIMA
TABACALERA COSTARRICENSE SOCIEDAD
TICOFRUT SOCIEDAD ANONIMA
TRANSPORTES ELIZABETH
TRANSPORTES LA PISTA SOCIEDAD
TRANSPORTES TOC LIMITADA
TROPICAL PARADISE FRUITS
VIDRIERA CENTROAMERICANA

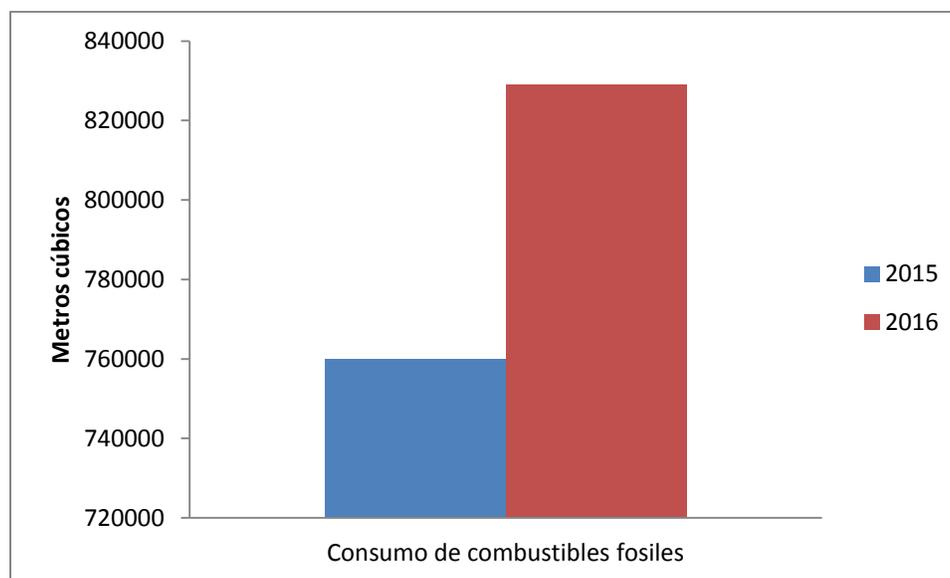


Figura 7. Consumo de combustibles fósiles del I trimestre del 2015 versus I trimestre del 2016.

Fuente: RECOPE (2016). Link: <https://www.recope.go.cr/consumo-de-combustibles-crecio-un-9-en-el-primer-trimestre/>

Según RECOPE (2016) solo el Instituto Costarricense de Electricidad demandó 13820 m³ de Bunker Bajo Azufre en el mes de marzo del 2016 para ser utilizado en la generación eléctrica.

Anexo IV. Inversión inicial del proyecto.

PRESUPUESTO PARA SISTEMA 2.1 Mw, FILTRADO DEL GAS EN SECO

PROYECTO : ITCR 2.1 MW

GASIFICADOR : 2 X WBG1500 DGCS

PLANTA DE GENERACIÓN : 3 X SFGLD 560 GUASCOR(726 Kw)

A-1: SUPPLY OF EQUIPMENTS BY THE CONTRACTOR FROM INDIA, INCLUDING ITS SERVICES		2 x WBG1500 with Guascor ENGINE	
Sr. No.	Description	Unit	Ex-Works Price in USD
1-A	Biomass Conveying System for Rotary Dryer – (Conveying system for feeding wood chips into the Dryer will be supplied, however feeding on the conveyor will need to be done by the Owner)	Lump sum	\$2.073.555
1-B	Rotary Biomass Dryer (for reducing moisture content in the sized woody biomass from about 40% to about 20%)	Lump sum	
1-C	Biomass Conveying System – This will comprise of Interim bin, Belt Conveyors and Belt to feed Biomass from Dryer to Skip Charger	Lump sum	
1-D	Skip Charger – This is to feed Biomass from Ground Level to Top of Gasifier	Lump sum	
2	Ankur' Biomass Gasifier Model WBG-1500 along with basic accessories and auxiliaries. The Gasifier system will consist of the following:	1 Sets	
	· Reactor and Hopper with various proprietary and patented devices and interventions.		
	· Automated feed door.		
	· Provision of automatic shut-off of nozzles with the help of compressor and air tank.		
	· Dry Ash Char Removal System with Water Cooled Screw Conveyor.		
	· Necessary alarm/annunciation system along with provision for emergency shutdown.		
	· Wood Level Sensor		
	· Moisture meter		
	· PLC based Control Panel		
	State-of-the-Art Dry Filtering System consisting of the following:		
· Start up sub system			
· High Temperature Filtering Equipment			
· Condensate removal sub system			
· Mist Eliminator.			
· Fine Filter, Pleated Filter, Parallel line of filter			

	<ul style="list-style-type: none"> · Dry Blower. · Header Box · All necessary fittings and connections between the listed equipment items · State-of-Art Flare system consisting of: <ul style="list-style-type: none"> o Flare Head with flame arrestor and spark ignition system with auto ignition. o Flare Valves assembly with swing valve, pneumatic isolation valve, manual valve and a motorized valve. o The middle portion connecting the above two will be in Owner scope as per site requirement or as per local laws (in terms of routing and final height etc.). The Owner will also need to provide HT wire for the spark ignition system supplied as part of flare head 		
3	Gasifier Cooling Tower – Clean Water	Lump sum	
4	Condensate Evaporation System	Lump sum	
5	Flow Meter	1 Nos.	
6	Saw Dust Machine	1 No.	
7	Suitable Blower for Engine exhaust with its related accessories <i>(All exhaust piping, air piping, hot air piping, insulation etc. to be done locally there.)</i>	Lump Sum	
8	Nitrogen Plant – all piping and insulation to be done locally	Lump sum	
9	Additional Cost for High Pressure needed for Guascor Engine	Lump sum	
10	Cost towards Essential and Insurance Spares to be kept in stock for this Project		
11	Engineering charges for Power Plant	Lump sum	
12	Supervision for Erection & Commissioning Charges for Gasifier Portion for supplied from India #	180 Man-days	\$90.000
13	Local Man-Power, Material handling equipment, Welder, Fitter, Electrician, etc. required for Erection & Commissioning for supplied equipments		\$100.000,00

Packing & Transportation			
1	Packing Charges 5%	\$101.353	
2	FOB Charges up to Mumbai, India (Containers for stuffing needs to be provide at ICD Dashrath, Vadodara at Owner's cost) for Gasifier Portion	\$97.000	
3	Container Requirement (This is indicative and can be confirmed at time of dispatch and accordingly FOB Charges will be Charged)	26 Nos. of 40ft HQ and 4 Nos. of 40ft FR will be needed for Gasifier system	
4	Containers shipping from Mumbai Port, India for Gasifier Portion to any Major Port in Costa Rica(\$3,200.00 HQ 40', \$10,000.00 Flat Rack 40' precios aprox)		\$131.000,00
TOTAL CIF VALUE FOR GASIFIER AND RELATED ACCESSORIES			\$2.592.908
B: SUPPLY OF GAS ENGINE GENSETS FROM Spain			Guascor 3 X 726 Kw
Sr. No.	Description	Unit	Price in Dollars
1	Guscor Engine 726 KW	3 NOS	\$1.155.000,00
4	Supervision for Erection & Commissioning Charges for Engines	For 3 Engines	\$50.000,00
2	Container Requirement	4 Nos. of 40ft HQ	
3	CABLES, AIR EXTRACTORS, AND ELECTRICAL INSTALLATION		\$60.000,00
4	Containers shipping from Spain for Gensets to any Major Port in Costa Rica(\$4,500.00 HQ 40')		\$18.000,00
TOTAL VALUE FOR ENGINE SCOPE OF SUPPLY			\$1.283.000,00
C: SUPPLY OF CARRIER CHILLER USA			-
Sr. No.	Description	Unit	Price in USD
1	CARRIER CHILLER 88 TON & Isolated Piping and Accesories	1 Nos.	\$88.000
2	Shipping from USA Port for Chiller to any Major Port in Costa Rica Container portion		\$3.500,00
3	Commissioning Charges for chiller		\$7.500,00
TOTAL VALUE FOR CHILLER SCOPE OF SUPPLY			\$99.000

D: SUPPLY OF SUBSTATION 480 TO 13,800 MEXICO & USA		SUBSTATION	
Sr. No.	Description	Unit	Price in USD
1	Celda de baja tensión que incluye: - Interruptor de tensión nominal 480 VAC, capacidad de corto circuito superior de 30 KA. - Transformador de corriente de 3000 A / 5 A con tensión de aislamiento de 1000 VAC."	1	\$120.500
2	Transformador tipo exterior con las siguientes características: - Potencia nominal: 2.75 MVA - Tensión nominal en el lado primario: 13.8 KV - Tensión nominal en el lado secundario: 480 VAC - Tipo de instalación: Exterior	1	
3	Recloser COOPER con las siguientes características: - Tensión nominal: 13.8 KV - Corriente nominal: 630 A - Tipo de instalación: Exterior	1	
4	Transformador de potencial con las siguientes características: - Tensión nominal de operación: 13.8 KV - Cantidad de núcleos: 1 de protección; 1 de medición	3	
5	Transformador de corriente con las siguientes características: - Tensión nominal de operación: 13.8 KV - Relación de transformación: 800:5 (multirelación) - Cantidad de núcleos: 1 de protección; 1 de medición	3	
6	Gabinete de control y protección incluyendo los siguientes equipos: - Relé de protección de transformador SEL 387T o similar - Relé de control de bahías, automatización, protección de respaldo y telemetría SEL 351 o similar.	1	
7	KPF o desconectador para permitir mantenimientos en recloser	1	
8	Cables, accessories and connectros		\$95.000,00
9	Shipping from USA/Mexico Port for Chiller to any Major Port in Guatemala Container portion		\$4.500,00
10	Installation Charges for substation		\$25.000,00
TOTAL VALUE FOR SUBSTATION SCOPE OF SUPPLY			\$245.000,00

E: SUPPLY OF SYNGAS ANALYZER CHINA		-	
Sr. No.	Description	Unit	Price in USD
1	GAS BOARD & SPARE PARTS	1 NOS	\$19.000
2	Piping and accesories	1 Nos.	\$500,00
3	Shipping from CHINA Exwork for analyzer to any Major Port in Costa Rica Container portion		\$1.500,00
4	Installation Charges for syngas analyzer		\$700,00
TOTAL VALUE FOR SYNGAS ANALYZER SCOPE OF SUPPLY			\$21.700,00
F: SUPPLY OF LAIMET WOOD CHIPPING MACHINE FINLAND		-	
Sr. No.	Description	Unit	Price in EUROS
1	LAIMET WOOD CHIPPING MACHINE MODEL HP-25LS 120 HP	1 Nos	€ 40.857
2	In Feed Belt Conveyor	1 Nos	€ 10.404
3	Discharge Conveyor	1 Nos	€ 10.584
4	Extra Spare Screw	1 Nos	€ 3.321
5	Spare Kit	1 Nos	€ 761
6	Shipping from FINLAND Exwork for wood chipping to any Major Port in Costa Rica Container portion		€ 4.500,00
7	Installation Charges & Cables for wood chipping		€ 2.000,00
TOTAL VALUE FOR WOOD CHIPPING MACHINE SCOPE OF SUPPLY			€ 72.427,00
G: SUPPLY OF COMPRESOR COSTA RICA		-	
Sr. No.	Description	Unit	Price in Q
1	Compresor Ingersol Rand 20 HP	1 Nos.	\$13.000,00
2	Air Dryer	1 Nos.	
3	Particulates Filter	2 Nos.	
4	Water Drain	1 Nos.	
5	Piping and accesories		\$1.700,00
6	Installation Charges for compresor & cables		\$1.800,00
TOTAL VALUE FOR COMPRESOR SCOPE OF SUPPLY			\$16.500,00

G: SUPPLY OF BASCULA TOLEDO CAMIONES		-	
Sr. No.	Description	Unit	Price in \$\$
1	Váscula Mettler Toledo VTC205	1 Nos.	\$44.375,00
2	INSTALACION		\$20.000,00
TOTAL VALUE FOR BASCULA			\$64.375,00
H: OBRA CIVIL		-	
Sr. No.	Description	Unit	Price in \$\$
1	OBRA CIVIL, PUENTE GRUA	1 Nos.	\$670.000,00
2	ADMINISTRACION GERTEK		\$125.000,00
TOTAL VALUE OTHERS			\$795.000,00
NOTE FOR ALL IMPORTED GOODS			
Taxes, Duties etc. at either side		Artículo 17, ley 7200	
Clearing charges in Costa Rica		(Exento)	
Local Transport charges in Costa Rica 36 Containers(\$650.00)			\$23.400,00
Piping, Bins, accesories, thermal isolation			\$125.000,00
			\$148.400,00

	RESUMEN DE PROYECTO POR MONEDA	EURO	DOLARES
	GASIFICADOR WBG1500 CON MOTOR GUASCOR Y ACCESORIOS	€ 72.427	\$5.265.883,00
	TASA DE CAMBIO EUROS A DOLARES	1,13	
	TOTAL DOLARES GASIFICADOR WBG1500 CON MOTORES GUASCOR		\$5.347.726

Anexo V. Análisis financiero escenario de venta de electricidad al ICE.

Cuadro 14. Parámetros del escenario de venta de electricidad al ICE.

Parámetros del Proyecto	
Técnicos	
Capacidad Instalada (kw)	2.178
Generación 100% FP (kwh)	19.079.280
Mantenimientos anuales (hrs)	450
Factor de planta c/mant	94,86%
Autoconsumo	16,0%
Potencia Máxima (kw)	1.830
Autoconsumo FP	3.052.685
Generación - Autoconsumo (kwh)	16.026.595
Factor de Planta Antes Restricciones	94,86%
Generación anual con autoconsumo	17.812.990,8
Restricciones	
Reserva Rodante Regulante	0%
Restricciones externas	1%
Pérdidas por transformación	0,5%
Factor de Planta C/Restricciones	93,36%
Variable modificable FP	0,0%
Generación Anual FP Proyección (kwh)	14.962.912,27
Energía a Inyectar Licitación	14.962.912,27
Energía Excedente	0,00
Biomasa	
Consumo Diario BASE SECA (TON)	46,36
Humedad	20%
Consumo Diario BASE HÚMEDA (TON)	61,82
Humedad	40%
Consumo Anual (TON)	22.563,12
Consumo kg/kwh 20%	0,95
Consumo kg/kwh 40%	1,27
Precio (USD/TON)	\$ 40,00
Económicos	
Energía	\$0,1001
O&M (USD/kwh)	\$0,0150
Utilidad energía (USD/kwh)	\$0,0851
Energía Excedente (USD kwh)	
Monómico FP (USD/kwh)	\$0,1001
Monómico SIN FP (USD/kwh)	\$0,1001
Índice IPP/US Indexación	1,25%

Análisis financiero. Escenario de venta de electricidad al ICE.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ingresos										
Ingresos Operativos		\$ 1.497.787,52	\$ 1.500.593,06	\$ 1.503.433,68	\$ 1.506.309,80	\$ 1.509.221,88	\$ 1.512.170,35	\$ 1.515.155,68	\$ 1.518.178,33	\$ 1.521.238,76
Gastos y Costos Operativos		\$ 1.362.244,75	\$ 1.367.991,25	\$ 1.373.809,58	\$ 1.379.700,64	\$ 1.385.665,34	\$ 1.391.704,60	\$ 1.397.819,34	\$ 1.404.010,52	\$ 1.410.279,09
Utilidades Brutas	\$ (5.367.211,00)	\$ 135.542,76	\$ 132.601,81	\$ 129.624,10	\$ 126.609,16	\$ 123.556,54	\$ 120.465,76	\$ 117.336,34	\$ 114.167,81	\$ 110.959,67
Intereses	\$ 101.350,83	\$ 236.157,28	\$ 217.815,47	\$ 198.464,87	\$ 178.049,97	\$ 156.512,26	\$ 133.789,98	\$ 109.817,97	\$ 84.527,49	\$ 57.846,05
Pago de Deuda		\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42
DCSR		0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21
Utilidad Antes de Impuestos	\$ (577.699,94)	\$ (562.299,09)	\$ (545.926,19)	\$ (528.526,23)	\$ (510.041,15)	\$ (490.409,64)	\$ (469.567,04)	\$ (447.445,11)	\$ (423.971,80)	\$ (400.000,00)
ISR (30%)	\$ (173.309,98)	\$ (168.689,73)	\$ (163.777,86)	\$ (158.557,87)	\$ (153.012,34)	\$ (147.122,89)	\$ (140.870,11)	\$ (134.233,53)	\$ (127.191,54)	\$ (120.000,00)
Utilidades Netas	\$ (1.073.442,20)	\$ (404.389,96)	\$ (393.609,36)	\$ (382.148,33)	\$ (369.968,36)	\$ (357.028,80)	\$ (343.286,75)	\$ (328.696,93)	\$ (313.211,57)	\$ (296.780,26)

Análisis financiero. Escenario de venta de electricidad al ICE.

Año	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos											
	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Ingresos Operativos	1.524.337,4 5	1.527.474,8 7	1.530.651,5 1	1.533.867,8 5	1.537.124,4 0	1.540.421,6 6	1.543.760,1 3	1.547.140,3 4	1.550.562,7 9	1.554.028,0 3	1.557.536,5 8
Gastos y Costos Operativos	\$ 1.416.626,0 2	\$ 1.423.052,2 9	\$ 1.429.558,8 8	\$ 1.436.146,8 0	\$ 1.442.817,0 8	\$ 1.449.570,7 3	\$ 1.456.408,8 0	\$ 1.463.332,3 5	\$ 1.470.342,4 5	\$ 1.477.440,1 7	\$ 1.484.626,6 1
Utilidades Brutas	\$ 107.711,43	\$ 104.422,59	\$ 101.092,63	\$ 97.721,05	\$ 94.307,33	\$ 90.850,93	\$ 87.351,33	\$ 83.807,99	\$ 80.220,35	\$ 76.587,87	\$ 72.909,98
Intereses	\$ -										
Pago de Deuda	\$ -										
DCSR											
Utilidad Antes de Impuestos	\$ 107.711,43	\$ 104.422,59	\$ 101.092,63	\$ 97.721,05	\$ 94.307,33	\$ 90.850,93	\$ 87.351,33	\$ 83.807,99	\$ 80.220,35	\$ 76.587,87	\$ 72.909,98
ISR (30%)	\$ 32.313,43	\$ 31.326,78	\$ 30.327,79	\$ 29.316,32	\$ 28.292,20	\$ 27.255,28	\$ 26.205,40	\$ 25.142,40	\$ 24.066,10	\$ 22.976,36	\$ 21.872,99
Utilidades Netas	\$ 75.398,00	\$ 73.095,81	\$ 70.764,84	\$ 68.404,74	\$ 66.015,13	\$ 63.595,65	\$ 61.145,93	\$ 58.665,59	\$ 56.154,24	\$ 53.611,51	\$ 51.036,98

Cuadro 15. Indicadores financieros escenario de venta de electricidad al ICE.

TIR PROYECTO	-21,15%
VPN PROYECTO	\$(2.022.802,64)
RELACIÓN C/B	\$ 1,07

Anexo VI. Análisis financiero del escenario de autoconsumo.

Cuadro 16. Parámetros del escenario de autoconsumo.

Parámetros del Proyecto	
Técnicos	
Capacidad Instalada (kw)	2.178
Generación 100% FP (kwh)	19.079.280
Mantenimientos anuales (hrs)	450
Factor de planta c/mant	94,86%
Autoconsumo	16,0%
Potencia Máxima (kw)	1.830
Autoconsumo FP	3.052.685
Generación - Autoconsumo (kwh)	16.026.595
Factor de Planta Antes Restricciones	94,86%
Generación anual con autoconsumo	17.812.990,8
Restricciones	
Reserva Rodante Regulante	0%
Restricciones externas	1%
Pérdidas por transformación	0,5%
Factor de Planta C/Restricciones	93,36%
Variable modificable FP	0,0%
Generación Anual FP Proyección (kwh)	14.962.912,27
Energía a Inyectar Licitación	14.962.912,27
Energía Excedente	0,00
Biomasa	
Consumo Diario BASE SECA (TON)	46,36
Humedad	20%
Consumo Diario BASE HÚMEDA (TON)	61,82
Humedad	40%
Consumo Anual (TON)	22.563,12
Consumo kg/kwh 20%	0,95
Consumo kg/kwh 40%	1,27
Precio (USD/TON)	\$ 40,00
Económicos	
Energía	\$0,1706
O&M (USD/kwh)	\$0,0150
Utilidad energía (USD/kwh)	\$0,1556
Energía Excedente (USD kwh)	
Monómico FP (USD/kwh)	\$0,1706
Monómico SIN FP (USD/kwh)	\$0,1706
Índice IPP/US Indexación	1,25%

Análisis financiero. Escenario de autoconsumo.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ingresos										
Ingresos Operativos		\$ 2.552.672,83	\$ 2.555.478,38	\$ 2.558.319,00	\$ 2.561.195,12	\$ 2.564.107,19	\$ 2.567.055,67	\$ 2.570.041,00	\$ 2.573.063,65	\$ 2.576.124,08
Gastos y Costos Operativos		\$ 1.362.244,75	\$ 1.367.991,25	\$ 1.373.809,58	\$ 1.379.700,64	\$ 1.385.665,34	\$ 1.391.704,60	\$ 1.397.819,34	\$ 1.404.010,52	\$ 1.410.279,09
Utilidades Brutas	\$ (5.367.211,00)	\$ 1.190.428,08	\$ 1.187.487,13	\$ 1.184.509,41	\$ 1.181.494,48	\$ 1.178.441,85	\$ 1.175.351,07	\$ 1.172.221,66	\$ 1.169.053,13	\$ 1.165.844,99
Intereses	\$ 101.350,83	\$ 236.157,28	\$ 217.815,47	\$ 198.464,87	\$ 178.049,97	\$ 156.512,26	\$ 133.789,98	\$ 109.817,97	\$ 84.527,49	\$ 57.846,05
Pago de Deuda		\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42	\$ 477.085,42
DCSR		1,67	1,71	1,75	1,80	1,86	1,92	2,00	2,08	2,18
Utilidad Antes de Impuestos		\$ 477.185,37	\$ 492.586,23	\$ 508.959,12	\$ 526.359,08	\$ 544.844,17	\$ 564.475,67	\$ 585.318,27	\$ 607.440,21	\$ 630.913,52
ISR (30%)		\$ 143.155,61	\$ 147.775,87	\$ 152.687,74	\$ 157.907,72	\$ 163.453,25	\$ 169.342,70	\$ 175.595,48	\$ 182.232,06	\$ 189.274,06
Utilidades Netas	\$ (1.073.442,20)	\$ 334.029,76	\$ 344.810,36	\$ 356.271,39	\$ 368.451,36	\$ 381.390,92	\$ 395.132,97	\$ 409.722,79	\$ 425.208,15	\$ 441.639,46

Análisis financiero. Escenario de autoconsumo.

Año	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos											
Ingresos Operativos	\$ 2.579.222,7	\$ 2.582.360,1	\$ 2.585.536,8	\$ 2.588.753,1	\$ 2.592.009,7	\$ 2.595.306,9	\$ 2.598.645,4	\$ 2.602.025,6	\$ 2.605.448,1	\$ 2.608.913,3	\$ 2.612.421,9
Gastos y Costos Operativos	\$ 1.416.626,0	\$ 1.423.052,2	\$ 1.429.558,8	\$ 1.436.146,8	\$ 1.442.817,0	\$ 1.449.570,7	\$ 1.456.408,8	\$ 1.463.332,3	\$ 1.470.342,4	\$ 1.477.440,1	\$ 1.484.626,6
Utilidades Brutas	\$ 1.162.596,7	\$ 1.159.307,9	\$ 1.155.977,9	\$ 1.152.606,3	\$ 1.149.192,6	\$ 1.145.736,2	\$ 1.142.236,6	\$ 1.138.693,3	\$ 1.135.105,6	\$ 1.131.473,1	\$ 1.127.795,2
Intereses	\$ -										
Pago de Deuda	\$ -										
DCSR											
Utilidad Antes de Impuestos	\$ 1.162.596,7	\$ 1.159.307,9	\$ 1.155.977,9	\$ 1.152.606,3	\$ 1.149.192,6	\$ 1.145.736,2	\$ 1.142.236,6	\$ 1.138.693,3	\$ 1.135.105,6	\$ 1.131.473,1	\$ 1.127.795,2
ISR (30%)	\$ 348.779,02	\$ 347.792,37	\$ 346.793,38	\$ 345.781,91	\$ 344.757,79	\$ 343.720,87	\$ 342.670,99	\$ 341.607,99	\$ 340.531,70	\$ 339.441,95	\$ 338.338,59
Utilidades Netas	\$ 813.817,72	\$ 811.515,53	\$ 809.184,56	\$ 806.824,46	\$ 804.434,85	\$ 802.015,37	\$ 799.565,65	\$ 797.085,31	\$ 794.573,96	\$ 792.031,23	\$ 789.456,70

Cuadro 17. Indicadores financieros escenario de autoconsumo.

TIR PROYECTO	17,68 %
VPN PROYECTO	\$ 5.227.111,03
RELACIÓN C/B	\$ 1,82