



**FACULTAD DE POSTGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CAÑA DE AZÚCAR COMO
BIOMASA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA: CASO AZUCARERA LA GRECIA.**

SUSTENTADO POR:

**HERLIN DANIEL CRUZ RUBIO
INGRID YAMILETH GUILLÉN CABRERA**

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

**MÁSTER EN
DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

TEGUCIGALPA, M.D.C., HONDURAS, C.A.

MAYO, 2019

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERRECTORA ACADÉMICA

DESIREE TEJADA CALVO

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE

**RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CAÑA DE AZÚCAR COMO
BIOMASA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA: CASO AZUCARERA LA
GRECIA.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN**

DIRECCIÓN EMPRESARIAL

ASESOR METODOLÓGICO

CLAUDIA MARIA CASTRO VALLE

ASESOR TEMÁTICO

JOSÉ EFRAÍN DERAS

MIEMBROS DE LA TERNA:

**JORGE CENTENO SARMIENTO
MARIO ALBERTO GALLO SANDOVAL**



FACULTAD DE POSTGRADO

Residuos de caña de azúcar como biomasa alternativa para la generación de energía eléctrica: Caso Azucarera La Grecia.

**Herlin Daniel Cruz Rubio
Ingrid Yamileth Guillén Cabrera**

Resumen

La biomasa es un combustible para la generación de energía eléctrica, esta investigación se concentró en el aprovechamiento de las hojas y otros residuos de caña que no son aprovechados para la extracción de azúcar. Estos residuos agrícolas de caña (RAC), tiene un potencial energético mayor que el bagazo, principal combustible en la generación de energía en la industria azucarera. La cantidad de bagazo proveniente de la molienda de caña anual, no es suficiente para satisfacer la demanda de biomasa y generar energía todo el año. El anterior contexto, donde hay un mercado no satisfecho, y la falta de oferta de biomasa comerciales en el país, crea la necesidad de estudiar el RAC como una alternativa. En el estudio se estimó la cantidad de RAC potencial, que son alrededor 32 mil toneladas, en 4455 has con un rendimiento de 7.40 ton/ha. La cantidad de recursos y logística necesaria para extraer de los campos de caña cosechados mecánicamente. Se realizó una comparación de las principales características de la biomasa como combustible: poder calorífico y porcentaje de humedad. El RAC con 6200 BTU por libra y 10.84% de humedad, tiene una capacidad de generación de energía de 525 kWh por tonelada. Los resultados de los indicadores financieros fueron positivos, debido a la capacidad energética del residuo mayor al bagazo y el bajo costo comparados con la biomasa de origen forestal.

Palabras claves: (Biomasa, generación eléctrica, poder calorífico, Residuos Agrícolas de Caña "RAC,)



GRADUATE SCHOOL

Residuos de caña de azúcar como biomasa alternativa para la generación de energía eléctrica: Caso Azucarera La Grecia.

**Herlin Daniel Cruz Rubio
Ingrid Yamileth Guillén Cabrera**

Abstract

Biomass is a well-known fuel used in the generation of electricity, and this research is focus on the harness of leaves and other sugar cane residues that cannot be reclaim in the process of sugar extraction. These sugar cane agricultural residues (RAC), have an immense energetic potential compared to bagasse, which is the main source for the generation of electricity in the sugar cane industry. The amount of bagasse produced in the sugar cane process is not enough to satisfy the demand for biomass to produce energy the whole year. Therefore, the necessity of this research to study RAC as an alternative for energy production. The results showed potential for RAC production of 32,000 Tons on an area of 4455 Has, with a sugar cane yield of 7.40 Ton/Has. A comparison among the main characteristic of the biomass was made such as thermal capacity and percentage of humidity of the materials. RAC with 6200 BTU and 10.84% of humidity has the potential to generate 525 kWh per Ton. Also, the financial indicators for the use of RAC were positive, due to its greater energy capacity and low cost compared to the biomass from bagasse and forest wood

Key words: Biomass, electric generation, Sugar Cane Agricultural Residues “RAC”, Thermal capacity.

DEDICATORIA

A Dios, por habernos permitido alcanzar esta meta y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido soporte a lo largo de este proceso.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, motivación constante y por ser para nosotros, un ejemplo de perseverancia.

AGRADECIMIENTO

Le agradecemos a Dios, por ser nuestra guía y por habernos dado la fortaleza para continuar en momentos difíciles.

Le damos gracias a nuestras familias por creer en nosotros y por brindarnos todo su apoyo.

A nuestros maestros y asesores, por su tiempo, dedicación y por compartir sus conocimientos.

Gracias a nuestros compañeros, por los momentos compartidos y su valiosa colaboración a lo largo de estos dos años de lucha continua.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTO	x
ÍNDICE DE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes del Problema	1
1.3 Definición del Problema.....	2
1.3.1 Problema de investigación.....	2
1.3.2 Preguntas de investigación.	2
1.4 Objetivos del Proyecto	2
1.4.1 Objetivo general.	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Justificación.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Análisis de la Situación Actual	5
2.1.1 Biomasa a nivel mundial.	5
2.1.2 Uso de RAC en América del Sur.....	5
2.1.3 Uso de RAC en Centroamérica.	8
b.1 Potencial energético de los residuos de palma africana.....	10
b.2 Potencial de cultivos energéticos.	10
b.3 Potencial energético de los residuos forestales.....	10
2.2 Teorías de Sustento	11
2.2.1 Análisis de las metodologías	12
2.3 Conceptualización	13
2.4 Instrumentos Utilizados.....	18
2.5 Marco Legal	18
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	20
3.1 Matriz metodológica	20

3.2 Operacionalización de las variables	21
3.3 Enfoques y Métodos.....	22
3.4 Instrumentos utilizados	22
3.4.1 Estudio de mercado.	22
3.4.2 Estudio técnico.	23
3.4.3 Estudio económico-financiero.....	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
4.1 Estudio de mercado	25
4.1.5 Análisis del entorno o mercado del proyecto (sector energético).	26
4.1.6 Análisis del entorno o mercado del proyecto a nivel interno (Biomasa como producto).	33
4.2 Estudio técnico	37
F. Protocolo para la determinación del poder calorífico y humedad.....	55
4.3 Estudio Económico-financiero.....	61
CAPÍTULO V. APLICABILIDAD	74
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
6.1 Conclusiones	76
6.2 Recomendaciones.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS	82
Anexo 1. Características de las embaladoras o empacadoras para el rastrojo de RAC.	82
Anexo 2. Cotización embaladoras o empacadoras para el rastrojo de RAC.....	83
Anexo 3. Data de kilómetros por semanas proyectada para el proyecto 2018/2019.	84
Anexo 4. Cantidad de viaje (doble conformación de plataforma) proyectado para el proyecto.	85
Anexo 5. Data de los pesos promedios de las pacas.	86
Anexo 6. Comparación de biomasa de RAC y madera de pino.	87
Anexo 7. Parámetros para análisis de caracterización de biomasa	87
Anexo 8. Resultados de análisis de laboratorio La Grecia, Humedad y BTU del RAC	88
Anexo 9. Analizador de humedad rápida sin método destructivo por medio de infrarrojo	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesado de RAC.....	16
Figura 2. Estructura del sector energético.....	26
Figura 3. Estructura sugerida en la Ley General de la Industria Eléctrica.	27
Figura 4. Tendencias en el consumo de energía por fuente.....	30
Figura 5. Generación de energía por fuente.....	31
Figura 6. Energía vendida por el Sistema Integrado ENEE 2017.....	32
Figura 7. Energía vendida por el sistema ENEE 2018.....	33
Figura 8. Histórico de precipitación La Grecia.....	38
Figura 9. Recalentamiento por altas temperaturas del sistema de rodamiento (cadenas y balineras).....	39
Figura 10. Rango de temperaturas en números de días del 2015 al 2018.....	40
Figura 11. Diagrama de flujo del aprovechamiento del RAC.	41
Figura 12. Diagrama de flujo del aprovechamiento del RAC.	42
Figura 13. Participación por sistema de cosecha.	43
Figura 14. Alineamiento de rastrojo mecánico e implemento utilizado para el alineamiento mecánico.	44
Figura 15. Alineamiento de rastrojo manual por medio rastrillos.	44
Figura 16. Alineamiento de rastrojo manual por medio rastrillos.	45
Figura 17. Alce de RAC con alzadora JD1800 y plataforma con capacidad de 32 (13 a 14 toneladas).	46
Figura 18. Transporte de pacas hacia al ingenio.....	46
Figura 19. Rendimiento por tipo de área.	50
Figura 20. Porcentaje de humedad del RAC.....	51
Figura 21. Potencial calorífico.....	51
Figura 22. Elaboración propia: Comparación del poder calorífico (BTU) de la biomasa del RAC y biomasa de madera.....	53
Figura 23. Poder calorífico por tipo de biomasa.....	54
Figura 24. Peso promedio de las pacas.....	58
Figura 25. Proyección de cosecha de RAC por semana y capacidad en toneladas instalada de equipos.....	59
Figura 26. Demanda de embaladoras por semana y la cantidad promedio (8 embaladoras proyectadas).....	60
Figura 27. Curva de demanda de transporte en kilómetros durante las 19 semana de cosecha de RAC.....	61
Figura 28. Secciones del plan de negocio.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación de RAC.....	7
Tabla 2. Estimación de la cantidad total de RAC.....	7
Tabla 3. Composición y poder calorífico de hoja verde, seca, cogollo.....	8

Tabla 4. Análisis de poder calorífico.	9
Tabla 5. Matriz metodológica.	20
Tabla 6. Conceptualización y operacionalización de variables.	21
Tabla 7. Empresas generadoras a base de biomasa.	29
Tabla 8. Pliego tarifario vigente hasta marzo 2019.	31
Tabla 9. Costo de materia prima por tonelada.	34
Tabla 10. Precio kWh según fuente de generación.	36
Tabla 11. Generación de electricidad por tipo de fuente (Participación porcentual, I trimestre de cada año).	36
Tabla 12. Rendimientos por has de RAC, según su variedad y tonelada de caña producido por el lote en investigación.	48
Tabla 13. Producción estimada de RAC.	52
Tabla 14. Equipos e inversiones para la elaboración de pacas.	56
Tabla 15. Inversión en equipo y maquinaria necesario para el proyecto.	63
Tabla 16. Costo por tonelada de RAC, dividida por componente en el área agrícola.	64
Tabla 17. Estimado de ventas del RAC a industria (CELSUR).	65
Tabla 18. Flujo de efectivo de las ventas de RAC de agrícola a industria.	66
Tabla 19. Flujo de efectivo de las ventas de RAC de agrícola a industria.	67
Tabla 20. Flujo de efectivo de las ventas de RAC de agrícola a industria.	67
Tabla 21. Cuadro comparativo del costo de la biomasa de RAC y de pino.	68
Tabla 22. Cuadro comparativo de costos toneladas de biomasa, costo kWh y margen de utilidad por kWh.	70
Tabla 23. Cuadro comparativo de biomasa de RAC a precio de costo, precio fijado y biomasa de origen de pino.	71
Tabla 24. Cuadro comparativo de biomasa de RAC a precio fijado con el costo de la biomasa de pino.	72
Tabla 25. Resultados de la evaluación financiera del proyecto.	72
Tabla 26. Evaluación de proyecto incluyendo, ingresos por reducción de costo en precio por tonelada de biomasa y por diferencial en costo por kWh.	73

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

A Continuación, se presenta una descripción general sobre el problema por el cuál decidimos iniciar la presente investigación.

1.1 Introducción

Azucarera La Grecia, es una organización dedicada al procesamiento de caña de azúcar para la producción de azúcar, mieles, alcoholes y energía eléctrica.

La empresa promueve el uso de energía limpia con el fin de aumentar la sostenibilidad, la cual se mide no sólo en términos económicos sino también sociales y ambientales. Para mantener este principio, busca la utilización de biomasa alternativas para la cogeneración energética.

El estudio de factibilidad se realizará con la finalidad de determinar si el uso de rastrojo agrícola de caña (RAC), es decir, las hojas que quedan después de cosechar las fincas de caña, es una alternativa viable de cogeneración energética en comparación a la utilización del pino como fuente de biomasa.

1.2 Antecedentes del Problema

El ingenio, actualmente depende de la utilización de dos materias primas: bagazo de la caña (*Saccharum officinarum*) y aserrín generado a partir de los árboles de pino (*Pinus sp.*) afectado por el gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis*). De esta última materia prima, se demanda alrededor de 40 mil toneladas anuales.

Los bosques afectados por el gorgojo han disminuido considerablemente, y los actuales árboles afectados se descomponen, perdiendo su poder calorífico; característica importante en la generación de energía. A esto se suma la presión social y ambiental sobre el uso de este recurso.

1.3 Definición del Problema

Azucarera La Grecia, con el fin de garantizar la producción energética, ha tenido que buscar alternativas combustibles para la cogeneración de energía en sus calderas, dentro de las cuales se encuentran: plantaciones comerciales de árboles energéticos, carbón vegetal y rastrojo agrícola de caña (hojas que quedan después de cosechar las fincas de cañas).

1.3.1 Problema de investigación.

Planteado en forma de interrogante, a continuación, se presenta el problema de investigación:

¿Es factible utilizar el rastrojo agrícola de caña como alternativa al uso de pino para la generación de energía en Azucarera La Grecia?

1.3.2 Preguntas de investigación.

En base al problema de investigación planteado, surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué potencial tiene el rastrojo de caña para la cogeneración de energía?
2. ¿Cuál es el potencial en volumen de rastrojo que se podría aprovechar?
3. ¿Cuál es el costo de la tonelada de RAC en comparación al costo de la materia prima utilizada actualmente?
4. ¿Cuáles son los costos de inversión para la realización del proyecto?
5. ¿Es rentable para la empresa invertir en este proyecto?

1.4 Objetivos del Proyecto

Los objetivos propuestos son los que se presentan a continuación:

1.4.1 Objetivo general.

Para responder al problema de investigación establecido, se plantea el siguiente objetivo:

1. Realizar un estudio de factibilidad sobre el uso de RAC como alternativa de

cogeneración energética.

1.4.2 Objetivos específicos.

En base a las preguntas de investigación se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar el potencial energético del rastrojo de caña de azúcar.
2. Cuantificar la cantidad de rastrojo en toneladas por hectáreas.
3. Identificar la materia prima de menor costo para la cogeneración.
4. Cuantificar la inversión del proyecto para la recolección del RAC.
5. Aplicar criterios de evaluación de indicadores financieros.

1.5 Justificación

A continuación, se describen algunas razones por las que consideramos realizar esta investigación.

1.5.1 Relevancia.

La generación de energía eléctrica para la organización ha representado el brazo de apoyo a la baja productividad en los años donde las condiciones climáticas no han favorecido al cultivo de la caña de azúcar y cuando los precios en el mercado internacional del azúcar son desfavorables.

Además, para garantizar la generación constante de energía eléctrica y el cumplimiento de contrato de generación, es necesario asegurar la disponibilidad de la materia prima a utilizar.

1.5.2 Novedad.

La generación de energía de los ingenios se basa en el aprovechamiento de la biomasa, en este caso específico a partir del bagazo, que son los tallos de las plantas una vez extraído el jugo, representa entre un 20% a 30% del total del peso de la materia prima que ingresa al proceso industrial.

Los ingenios en Honduras y Centro América no aprovechan el rastrojo de caña, porque el enfoque es la producción de azúcar, y otros derivados. En Honduras, la mayor parte de los ingenios

realizan el corte de caña de manera manual, para lo cual es necesario quemar la caña, provocando que en los campos no quede el rastrojo de las hojas. En la organización donde se realizará el proyecto, el 55% del área se cosecha mecánicamente, que representa unas 6000 hectáreas (has), donde quedan entre 8 a 15 toneladas de rastrojo según estimaciones.

Azucarera La Grecia sería la primera empresa, en aprovechar este recurso para la generación de energía, ya que actualmente sólo se utiliza para brindar un aporte nutricional a los suelos.

1.5.3 Interés objetivo

Con la presente investigación se pretende que la empresa logre alcanzar lo siguiente:

1. Ofrecer energía renovable en periodos de verano.
2. Evitar dependencia energética.
3. Disminución de gases de efecto invernadero.
4. Procesos sostenibles para la industria.
5. Eficiencia en el aprovechamiento del cultivo de caña de azúcar.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan generalidades, definiciones y el fundamento teórico de la investigación. La información presentada se enfoca en contribuir con la comprensión del tema, considerando como base la variable de estudio: uso del rastrojo agrícola de caña (RAC) como una fuente factible para el uso en cogeneración de energía eléctrica.

2.1 Análisis de la Situación Actual

En esta sección se presenta un panorama general acerca del uso del rastrojo para la cogeneración energética.

2.1.1 Biomasa a nivel mundial.

Se estima que la producción mundial de generación energética a base de biomasa crece a un porcentaje mayor al 4% anual. Francia, es el país número uno en la producción de energía de la Unión Europea a partir de biomasa, también sobresale Dinamarca, ya que en una de sus plantas se queman 28,000 toneladas anuales de paja para producir 13 MW de electricidad. Suecia y Finlandia obtienen un 10% y 14% de energía respectivamente a partir de desechos forestales y agrícolas (Marco, s. f.). En países en vías de desarrollo, a partir del 2006 se ha observado un aumento en la generación de energía de la biomasa, principalmente en América Latina (Cogollo & Camacho, 2013).

2.1.2 Uso de RAC en América del Sur.

En América del Sur, sus principales productores de azúcar son Brasil, Colombia y Argentina. En el caso de Brasil, tiene varios años como el mayor productor de azúcar a nivel mundial, según datos de la Organización Internacional del Azúcar (ISO por sus siglas en inglés). En el caso de Colombia, no está dentro de los mayores productores de azúcar mundial, pero ocupa el primer lugar en productividad, con un promedio de 15 toneladas/hectáreas (Organización Internacional del Azúcar reduce previsión superávit a 8,5 mln ton., 2018).

En la siguiente sección se muestran hallazgos importantes en algunos países de Sur América sobre aprovechamiento de RAC para la generación de energía eléctrica.

A. Argentina.

La Región Noroeste de Argentina presenta un gran potencial para la generación de energía a partir de rastrojo agrícola de caña de azúcar. Específicamente en la provincia de Tucumán se cultivan alrededor de 220.000 ha con caña de azúcar con una producción potencial de 1.600.000 ton de azúcar.

La cantidad de RAC, varía según las condiciones de Tucumán, entre 7 y 17 toneladas de materia seca/ha. En definitiva, el aprovechamiento del RAC es una de las alternativas de Tucumán para la producción de energía renovable, ya que dichos residuos se pueden usar en las calderas de los ingenios (Feijóo, 2015).

B. Brasil

En Brasil, gracias a ciertas condiciones como ser: alta productividad agrícola, grandes extensiones de tierras, niveles altos de precipitaciones, hacen ideal la producción de energía a base de biomasa (Cogollo & Camacho, 2013).

En la Tabla 1 se compara la productividad de RAC, según el número de corte. En Brasil las plantaciones tienen duración de 3 años, la productividad en toneladas de caña se reduce según el número de año o corte. En todas las variedades se observan la tendencia de altas productividad en el primer año, conforme pasan los cortes su producción baja. Este dato es importante porque la tendencia es similar con el RAC, por ejemplo, en las variedades SP79-1011, el primer año produce un 15% con respecto a las toneladas de caña. En las otras variedades se redujo a un 11% y 13%, esto indica que existe variación entre las variedades de caña.

Entre la misma variedad existe una diferencia entre el porcentaje de relación del RAC/Ton de caña el cual aumenta. Este estudio indica que la reducción en porcentaje no es similar comparada con las toneladas de caña y el RAC.

A continuación, se presenta la estimación de producción de RAC en Brasil:

Tabla 1. Estimación de RAC.

Variedad	Etapas de corte	Productividad de caña (ton/ha)	Rastrojo (base seca)	Relación rastrojo/caña
SP79-1011	Planta de caña	120	17.8	15%
	2° corte	92	15	16%
	3° corte	84	13.7	16%
SP80-1842	Planta de caña	136	14.6	11%
	2° corte	101	12.6	13%
	3° corte	92	10.5	11%
RB72454	Planta de caña	134	17.2	13%
	2° corte	100	14.9	15%
	3° corte	78	13.6	17%
Promedio		104	14.4	14%

Fuente: Castillo, I. J. L., & Lucuara, I. J. E. (2016). Uso de residuos agrícolas de cosecha (RAC) como combustible no convencional para generar energía eléctrica en calderas de potencia, 33.

C. Colombia.

En Colombia principalmente se utilizan la cascarilla de arroz y el bagazo de caña como fuentes de biomasa. Debido a la necesidad de asegurar la disponibilidad de biomasa, además de la preocupación mundial por el desempeño ambiental de los sectores productivos ha propiciado la utilización del rastrojo agrícola de caña, considerando el cambio varietal en el sector azucarero (Cogollo & Camacho, 2013). Se estima que, en Colombia, se generan nueve millones de toneladas de residuos agrícolas de caña (peso fresco) al año, de los cuáles el 25% sería aprovechable, específicamente en la región del Valle del río Cauca, se realizó la siguiente estimación:

Tabla 2. Estimación de la cantidad total de RAC.

Variedades cosechadas	Área cosechada (ha)	Producción de RAC (ton/ha)	RAC total (t)
CC 85-92	127,592	45.3	5,779,897
CC 84-75	20,691	45.3	937,281
V 71-51	4,828	148.5	716,927
Otras	19,311	40	772,446
Total	172,421		8,206,550

Fuente: Castillo, I. J. L., & Lucuara, I. J. E. (2016). Uso de residuos agrícolas de cosecha (RAC) como combustible no convencional para generar energía eléctrica en calderas de potencia, 33.

La caña de azúcar tiene una diversidad de variedades, la utilización depende del objetivo productivo que se busque. Existen variedades de alto rendimiento y con características deseables para la industria. Además de variedades con resistencia a plagas y enfermedades, adaptación de diferentes agro ecosistemas. En la tabla 2, se analizaron 3 variedades específicas y otro grupo de variedades. Las variedades que ocupan las principales áreas de siembra de Colombia, son variedades CENGICAÑAS (CC), son variedades con 45.3 toneladas de RAC, el cual está conformado por el bagazo proveniente de la fibra de la caña después de la molienda y RAC en campo. El potencial de aprovechamiento de RAC en Colombia es alto, en un futuro se podría utilizar para la generación de energía.

Tabla 3. Composición y poder calorífico de hoja verde, seca, cogollo.

Material	Humedad Inicial (%)	Humedad residual (%)	Materia volátil	Ceniza (%)	Carbón fijo (%)	PC Superior (BTU/Lb)	Azufre (%)
Cogollo	78.61	6.04	71.21	7.13	15.62	7704.9	0.20
Hoja verde	65.7	6.22	66.88	9.75	17.11	7285.4	0.26
Hoja seca	11.97	5.94	68.57	1.59	13.9	7233.5	0.22

Fuente: Carvajal, A. (2009). Características de las mezclas bagazo/residuos como combustible de calderas, *1*, 11.

En la Tabla 3, se observa el potencial calórico de los RAC y otras características que son determinantes, como la humedad y el porcentaje de cenizas según su origen. Carvajal (2009), describe la caracterización del RAC, subdividiendo en cogollo, hoja verde y hojas seca. Las humedades iniciales son altas en hoja verde y cogollo. Las hojas secas, las cuáles son el interés del estudio en Honduras, presentan desde el inicio bajo porcentaje de humedad y en sus análisis presentaron un poder calorífico de 7233 BTU.

2.1.3 Uso de RAC en Centroamérica.

Los países Centroamericanos son productores de azúcar, en el 2013, en área, Guatemala cultiva más 240 mil hectáreas, seguidos de Nicaragua y Costa Rica con un área de 57 mil y 52 mil hectáreas. Honduras en ese mismo año, contaba con una superficie en área de 45 mil hectáreas. En cuanto al rendimiento en tonelada de caña por hectárea, en el 2013, Guatemala registra 97.30, ocupando el primer lugar, seguido de Honduras con 90.39, el rendimiento más bajo lo registra

Costa Rica con 69.68. En el 2018, Honduras, cuenta con más de 65 mil hectáreas de cultivo de caña de azúcar. La descripción del uso del RAC en Centro América, se enfoca en Guatemala, ya que el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA), ha realizado un estudio sobre uso de RAC, formulando una guía de aprovechamiento de dicha materia prima. En el caso de Honduras, existen ingenios que aprovechan la biomasa a partir de la fibra de azúcar para la generación de energía, el RAC representa una oportunidad de aprovechamiento energético aún no explotada.

A. Guatemala.

Con el objetivo de encontrar materias primas alternativas rentables para el manejo de residuos después de la cosecha de caña de azúcar, se ha recurrido a usar el rastrojo de caña como fuente de energía.

En promedio, según estimados, el corte en verde puede generar 20 toneladas de residuos por hectárea cosechada, en Guatemala hay 270,000 hectáreas sembradas con caña aproximadamente, por lo que se estima que hay un potencial teórico de 5.4 millones de toneladas de residuos por zafra (Solares, 2016) . Este potencial teórico, corresponde, si aprovechara todo el RAC de las áreas cultivadas en caña. Siendo posible, si el 100% de las áreas son cosechadas por medios mecánicos.

Tabla 4. Análisis de poder calorífico.

Combustible	Poder calorífico (BTU/lb)	kJ/Kg
RAC verde	7353	17028
RAC quemado	7531	17440
Promedio	7442	17234

Fuente: Solares, M. M. (2016). Guía para el aprovechamiento del RAC como un biocombustible, 86.

En la tabla anterior, se describe los BTU del RAC, pero en dos tipos de estado: en verde y en quemado. Considerando que el BTU es una unidad de energía, entre mayor es, más poder de generación de energía. (Solares, 2016), encontró valores promedio de BTU de 7442. La comparación entre los dos tipos de RAC, tendrá que considerar la variable de rendimiento por hectáreas, para conocer la cantidad de energía que se puede producir por área (BTU/has).

B. Honduras

La vocación agrícola y forestal de Honduras son factores que han contribuido al crecimiento del sector energético renovable. El potencial energético a base de biomasa asciende a 361.1 MW

generados a partir de fuentes como: caña, DSU, palma, residuos de bosques, cítricos, aserrín (ProHonduras, s. f.).

b.1 Potencial energético de los residuos de palma africana.

La fibra del mesocarpio y la cascarilla de la palma africana tienen condiciones apropiadas para la combustión, para la utilización del raquis se requiere un proceso especial. A continuación, se describe brevemente el aprovechamiento energético de la palma en nuestro país.

- Producción actual de energía por biomasa 19.30 MW
- Potencial de producción de energía a base de biomasa: 90 MW
- Se estima que Honduras cuenta con una capacidad productiva de palma africana 160 mil ha, representa 1,1 % del territorio nacional (Zelaya, 2016).

b.2 Potencial de cultivos energéticos.

El *King Grass* es una especie vegetal híbrida, que resulta de dos especies: *Pennisetum purpureum Schum* y *P. typhoides*, sus rendimientos son variables y dependen de condiciones y fertilidad del suelo. En nuestro país, la *Honduran Green Power Corporation* (HGPC) fue fundada en el 2010, para la generación de 43 megavatios, mediante la utilización de este cultivo (Lanza, 2017).

b.3 Potencial energético de los residuos forestales.

Los residuos se originan de la industria de transformación secundaria, es decir aquella que utiliza como materia prima, madera aserrada (construcción, elaboración de muebles) y de las actividades de aserrío (Flores, s. f.).

En la industria YODECO (Yoro), mediante estudios realizados determinaron que pueden generar 3 MW de electricidad de manera constante en el año utilizando 23,300 toneladas métricas de biomasa de pino. Lo que equivale a 7,767 toneladas métricas por año para generar un megavatio de electricidad (Calderón, 2015).

b.4 Potencial energético de residuos agrícolas.

1. Café

Durante el 2008, se tuvo a disposición 88,000 toneladas métricas de cascarilla para el uso energético, correspondientes a una generación de energía eléctrica teórica de 62,655 MWh. Actualmente, a este desecho sólo se usa para el secado del café en las centrales (Flores, s. f.).

2. Caña

Una de las fuentes de energía renovable más importantes es la industria azucarera, este sector posee un gran potencial de generación de energía por centralizar el recurso biomásico y por su alta capacidad. Según estimaciones, posee una disponibilidad teórica de generación de 163 MWh.

La productividad agrícola de caña de azúcar en Honduras es de 79.6 toneladas. El residuo de la molienda de caña de azúcar (bagazo), se utiliza para generar vapor y electricidad. Se estima que aproximadamente un 25% de la caña de azúcar que se cultiva está disponible como bagazo para la generación eléctrica (Flores, s. f.).

Hasta el momento, todos los ingenios de nuestro país desaprovechan el rastrojo de caña que queda en el campo durante la zafra, lo cual lo convierte en una fuente potencial interesante de biomasa, para generar energía renovable (Chicas, 2011).

2.2 Teorías de Sustento

Actualmente, con la búsqueda de nuevas fuentes energéticas alternativas y renovables, el uso de residuos agrícolas es una opción para la generación energética (Núñez, 2012).

La demanda energética a nivel mundial se caracteriza por un crecimiento elevado, debido a la expansión económica de los países en desarrollo, lo cual ha contribuido a que se incrementen las emisiones de CO₂ debido al uso creciente de combustibles fósiles, por lo que en los últimos años ha surgido la preocupación por el uso de la energía, dando lugar a nuevas propuestas.

Un ejemplo de lo anterior, es la energía solar, la cual es absorbida por las plantas mediante el proceso de fotosíntesis e influye en la cadena trófica que es almacenada en la biomasa residual. La luz solar es el sustento de los sistemas ecológicos, esta nunca se destruye sólo se transforma:

Ley de la termodinámica (Camargo & Williams, 2012).

Otro ejemplo lo constituye, el aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética, en donde, algunos estudios identifican que una de las fuentes de energía renovables es la combustión de biomasa, en dichos estudios se describe que mucha de las biomásas producidas en los sistemas agrícolas y forestales no son utilizadas para la producción de bioenergía debido a que existen diversas dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como insuficiente información sobre la cantidad y calidad de estos residuos (Velázquez Martí, 2006).

Las plantas tienen una alta eficiencia de almacenamiento de energía, en el caso de la caña de azúcar su eficiencia energética es mayor a la media de las plantas, con un potencial genético entre 200 a 300 ton/ha, con valores caloríficos de 17476 MJ/kg de materia seca. En el caso del rastrojo agrícola de caña (hojas, puntas y cogotes de la planta que se eliminan a través de la cosecha tradicional) en las plantaciones cañeras indica que 4 toneladas es igual a 1 tonelada de petróleo (Mesa Orama, J., 2009).

Para la evaluación de un proyecto, se requieren instrumentos que guíen la toma de decisiones, así lo describe Sapag Chaín (2012), señalando que este debe incluir los siguientes aspectos: estudio de mercado, técnico, económico-financiero.

A través de un estudio de factibilidad se profundiza la investigación, principalmente apoyándose en fuentes de información secundaria, tales como: artículos de revistas científicas, libros, páginas web institucionales.

2.2.1 Análisis de las metodologías

La metodología es una serie de procedimientos lógicos para el cumplimiento de los objetivos de una investigación (Muñoz, 2015) .

Esta investigación se apoya en un estudio de factibilidad, cual es una herramienta utilizada para disminuir el riesgo en la toma de decisiones de un proyecto. El estudio de factibilidad está conformado por los siguientes estudios: mercado, técnico y económico/Financiero. Los anteriores identificados como los instrumentos de medición de la investigación.

Para aplicación del estudio técnico, en esta investigación se revisaron metodologías empleadas en otros estudios relacionados con el tema:

1. En un estudio realizado por Balderrama (2011), describe en la metodología: la situación geográfica, condiciones climáticas y otras características importantes en el desarrollo del cultivo de donde se obtiene la materia prima para energía. En los protocolos de investigación que la empresa realiza son basados en metodologías desarrolladas por CENGICANÑA, donde establece las formas de muestreo, el tamaño de la muestra, el diseño de las áreas de muestreo, entre otras variables que pueden influir en la cantidad y calidad de datos obtenidos. Lo anterior describe aspectos de la metodología del estudio técnico.

2. Para determinar la factibilidad económica/financiera, la metodología a seguir es la obtención de todos los datos necesarios para determinar la rentabilidad del proyecto.

3. El estudio de mercado es documental, se concentra en analizar la situación actual del sector energético de nuestro país (macroentorno), así como un análisis interno de las biomásas utilizadas por el para determinar si el RAC es un producto sustituto.

2.3 Conceptualización

En este apartado se presentan conceptos básicos relacionados con el tema de investigación.

Biomasa.

Considerando su aprovechamiento energético, la biomasa se define como un grupo de productos energéticos y materia prima renovable originados a partir de materia orgánica formada biológicamente (García Garrido, 2015).

Tipos de biomasa.

Según su origen, la biomasa se clasifica en:

- Biomasa natural

Es aquella que se produce en ecosistemas naturales, sin intervención del ser humano para modificarla o potenciarla. Se trata principalmente de residuos forestales.

- Biomasa residual.

Es la generada por actividades humanas que usan materia orgánica.

La biomasa residual se divide en categorías descritas a continuación.

- Residuos agrícolas: Se refiere a los restos de cultivos herbáceos y leñosos. Su aprovechamiento se ve favorecido debido a su fácil obtención y accesibilidad. Por ejemplo, el rastrojo agrícola de caña (RAC), es decir, hojas, puntas y cogollos de la planta que se eliminan a través de la cosecha tradicional.
- Residuos forestales. Son producto de las explotaciones forestales, en donde es necesaria la intervención humana.
- Excedentes agrícolas. Se considera biomasa con fines energéticos, a aquellos excedentes no utilizados en la alimentación humana.
- Cultivos energéticos. Son aquellos específicamente utilizados a la producción de energía, los cuáles son aprovechados por su resistencia a condiciones climáticas extremas, a las enfermedades y precocidad en el crecimiento (García Garrido, 2015).

Aplicaciones de la biomasa en las industrias

La biomasa representa una fuente de energía importante para muchas industrias, entre sus aplicaciones están:

- Generación de calor
- Cogeneración: se refiere a la generación simultánea de calor y electricidad, lo cual es una alternativa más eficiente que la generación separada de calor y electricidad.
- Generación eléctrica
- Hornos industriales
- Calderas de secado.

Pre-procesado y procesado al que pueden ser sometidos los RAC para su aprovechamiento energético.

A continuación, se describe el proceso de aprovechamiento del rastrojo agrícola de caña:

1. Alce de los residuos

Consiste en recoger los rastrojos de caña que quedaron después de la cosecha (corte) y colocarlo en camiones. El alce de los RAC, se realiza después de haber alzado y transportado los tallos de caña para evitar daños a los materiales y aglomeración de maquinaria.

2. Transporte

Los RAC son dispuestos en forma de fardos para disminución de costos, luego son trasladados en camiones.

3. Desenfardado

Tomar los fardos y romperlos para descompactar los RAC, si se pretende almacenar los RAC a largo plazo, el desenfardado debe hacerse hasta que los RAC vayan a ser utilizados.

4. Picado (triturado)

Para que la biomasa tenga granulometría uniforme. A menor tamaño de partículas, mejores ventajas se obtienen en los procesos posteriores.

5. Combustión

Es la reacción química que se da entre el oxígeno y la materia orgánica (biomasa) para formar CO₂ y agua, liberando energía.

Una vez que los RAC fueron recolectados, filtrados, picados y con baja humedad pueden procesarse para aprovecharlos eficientemente como biocombustibles, en la planta de generación se mezclan con el bagazo de la caña con el fin de aumentar el combustible sólido disponible. Existen distintas maneras de llevar a cabo el procesamiento, el ingenio debe evaluar cual se adapta a su necesidad. En la Figura 1, se presenta gráficamente el procesamiento del RAC para su aprovechamiento:

A continuación, se definen algunos términos técnicos relevantes, mencionados a lo largo del proyecto, con la finalidad de facilitar la comprensión del mismo.

Bagazo.

Residuo de materia que queda, luego de que a la caña de azúcar se le extrae el jugo azucarado.

Cogeneración.

Procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor).

Embaladora.

Máquina agrícola que se usa para recoger restos vegetales y convertirlas en pacas.

Kilovatio-hora (kWh).

Unidad de trabajo o energía, que equivale a la energía producida o consumida por una potencia de 1 kilovatio en una hora.

Paca.

Fardo o lío prensado, especialmente de paja o forraje.

Poder calorífico.

Cantidad de energía en la forma de calor, liberada por la combustión de una unidad de masa.

Potencial energético

Es el resultado ponderado del poder calorífico contenido en una unidad de peso por la biomasa total a nivel de hectárea.

RAC.

Se refiere a los residuos agrícolas (hojas y tallos; pajas y granos) que permanecen en el terreno luego de la cosecha.

Variedad.

Es un rango secundario entre subespecies y formas y se utilizan para las poblaciones que difieren solo ligeramente de la especie.

Zafra.

Se refiere a la recolección de la caña de azúcar y la temporada en que se realiza.

2.4 Instrumentos Utilizados

De acuerdo a la literatura especializada, para determinar la factibilidad del uso del rastrojo de caña como alternativa de cogeneración se realizará estudio de mercado, técnico y económico-financiero.

En cuanto al estudio de mercado, se enfoca en la posibilidad de aceptación del producto. El producto en cuestión por parte del cliente interno sería el RAC, como una biomasa más en la cartera o como sustituto para algunas utilizadas actualmente.

Los estudios técnicos se enfocan en todos los factores determinantes que son necesarios para la funcionabilidad del proyecto. En este caso, los estudios determinan aspectos operacionales sobre un producto o servicio.

Los estudios económicos-financieros, necesarios para determinar la viabilidad financiera del proyecto, se tomará en cuenta la inversión, los costos e ingresos del proyecto. Se apoya de índices como la tasa interna de retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN), la relación Costo/Beneficio y el periodo de recuperación de la inversión (Puentes Montañez, 2011).

2.5 Marco Legal

Las siguientes leyes están relacionadas con la investigación.

2.5.1 Ley General de la industria eléctrica. Decreto 404-2013.

Regula actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional. A través de esta ley se les permite a los generadores nacionales como Azucarera La Grecia, renegociar los contratos con la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), lo cual ha significado para el país un ahorro millonario.

Mediante esta ley el Estado confirma la necesidad de continuar desarrollando proyectos de generación con recursos renovables.

Además, en esta ley, se nombra a la CREE (Comisión Reguladora de Energía Eléctrica), como un ente regulador del subsector quién aprobará las bases para la contratación de nueva capacidad de generación y velará por conductas anticompetitivas en dicho sector. También se establece un proceso de licitación separado para cada tipo de fuente de energía.

2.5.2 Ley de incentivos a la generación de energía con recursos renovables. Decreto 70-2007.

Promueve la inversión pública y/o privada en proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables nacionales.

Entre los incentivos más utilizados para fomentar la producción de energía renovable, se encuentran: la exoneración de impuestos y los incentivos fiscales.

Esta ley autoriza a los generadores de energías renovables vender su producción a la ENEE, con un precio base de 7.2 kilovatio/hora más el costo marginal.

2.5.3 Ley general del Ambiente. Decreto 104-93.

La protección, conservación, restauración, y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales son de utilidad pública y de interés social (Asociación Hondureña de productores de energía eléctrica, 2018).

Con esta ley, el Estado promueve la utilización racional de los recursos naturales, promoviendo la satisfacción de las necesidades básicas del pueblo hondureño sin afectar a generaciones futuras.

También menciona que todos los proyectos que incidan con el ambiente, se diseñen de tal manera que haya respeto por la interrelación de los recursos, así como la interdependencia con las personas y su entorno.

Uno de los pilares fundamentales en Azucarera La Grecia, es velar por la sostenibilidad de los recursos, a través de su explotación responsable.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En este capítulo se incluyen las variables de estudio, hipótesis y métodos de recolección de información. Es una continuación de los lineamientos de la investigación, abarca información relacionada con el diseño de la investigación, análisis de la unidad de estudio, los instrumentos aplicados y fuente de la información que sustente la investigación.

3.1 Matriz metodológica

En este apartado se puede apreciar la relación entre el problema de investigación, los objetivos propuestos y las hipótesis planteadas.

Tabla 5. Matriz metodológica.

Problema de investigación	Objetivo general	Preguntas de investigación	Objetivos específicos	Hipótesis
¿Es factible utilizar el rastrojo agrícola de caña como alternativa al uso de pino para la generación de energía de Azucarera La Grecia?	Realizar un estudio de factibilidad sobre el uso de RAC como alternativa de cogeneración	¿Es el RAC una alternativa de cogeneración competitiva?	Establecer si el uso de RAC es una alternativa competitiva para la cogeneración.	1. El uso del RAC es una alternativa competitiva en la cogeneración.
		¿Qué potencial tiene el rastrojo de caña para la cogeneración de energía?	Determinar el potencial energético del rastrojo de caña de azúcar.	2. El uso de rastrojo de caña es técnicamente viable para la cogeneración energética.
		¿Cuál es el potencial en volumen de rastrojo que se podría aprovechar?	Cuantificar la cantidad de rastrojo en toneladas por hectáreas.	
		¿Cuál es el costo de la tonelada de RAC en comparación al costo de la materia prima utilizada actualmente?	Identificar la materia prima de menor costo para la cogeneración.	3. El uso de rastrojo de caña es económica-financieramente viable para la cogeneración energética.
		¿Cuáles son los costos de inversión para la realización del proyecto?	Cuantificar la inversión del proyecto para la recolección del RAC.	

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Operacionalización de las variables

En el apartado anterior se describen las variables de investigación, a continuación, se procederá con la descripción conceptual y operacional de las mismas.

Tabla 6. Conceptualización y operacionalización de variables.

Hipótesis	Variables				Concepto	Operacional
	Independiente	Concepto	Operacional	Dependiente		
1. El uso de rastrojo de caña es técnicamente viable para la cogeneración energética	Uso de RAC de azúcar	Residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar (hojas)	Uso de los residuos agrícolas recolectados después de la cosecha de caña.	Viabilidad técnica.	Analiza la factibilidad técnica del proyecto para ponerse en marcha. Da respuesta a preguntas de operatividad y funcionamiento del proyecto. (Urbina, 2006)	-Poder calorífico -% de humedad -Periodo de corte -Variedad -Productividad del lote - Días de cosecha de RAC
2. El uso de rastrojo de caña es económica-financieramente viable para la generación de energía eléctrica.	Uso de RAC de azúcar	Residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar (hojas)	Uso de los residuos agrícolas recolectados después de la cosecha de caña.	Viabilidad económica-financiera	Determina la viabilidad económica del proyecto. La inversión para desarrollar el proyecto. Obtención de utilidades posterior a la ejecución del proyecto. (Urbina, 2006)	-TIR -Tiempo de retorno Relación beneficio-costos Análisis de sensibilidad -VPN
3. El uso del RAC es una alternativa competitiva en la generación de energía eléctrica.	Uso de RAC de azúcar	Residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar (hojas)	Uso de los residuos agrícolas recolectados después de la cosecha de caña.	El uso de rastrojo agrícola de caña para la cogeneración es una ventaja competitiva para Azucarera La Grecia	Factor diferencial percibido como único y determinante. (Porter, 2015)	-rentabilidad -costo

Fuente: Elaboración propia

3.3 Enfoques y Métodos

El estudio estará enfocado en analizar la factibilidad del uso de Rastrojo de Caña (RAC) como una alternativa para la cogeneración de energía. Los aspectos que se analizarán enmarcan desde el punto de vista de viabilidad del proyecto. Utilizando como instrumento de investigación los estudios de mercado, técnicos y económico/financiero, que son parte del estudio de factibilidad. Lo anterior marca una serie de variables que influyen directamente en los estudios antes mencionados.

Como resultado de la investigación se determinará la factibilidad del proyecto de RAC, además se establecerán conclusiones y recomendaciones para ampliar el proyecto.

Hernández Sampieri et al. (2014) menciona, que los enfoques de la investigación son de carácter cuantitativo, cualitativos o mixtos. En el caso del estudio factibilidad de RAC, se orienta en un enfoque mixto.

3.4 Instrumentos utilizados

3.4.1 Estudio de mercado.

Son un conjunto de técnicas utilizadas para el análisis de información referente a demanda, oferta, precio y comercialización de bienes y/o servicios, constituye la primera etapa para evaluar un proyecto, ya que conocer el mercado es necesario para determinar la aceptación o rechazo de la iniciativa (Fernández Luna, Mayagoitia Barragan, & Quintero Miranda, 2010).

El estudio de mercado es importante para definir el medio en que se desarrollará el proyecto, hoy en día en el mundo globalizado en que vivimos es crucial estar pendiente de las exigencias y expectativas del mercado (Sosa, 2010).

El principal objetivo del estudio de mercado es comprobar la existencia de demanda de biomasa y energía que justifique la creación del proyecto y que a su vez sea una base sólida de información para etapas posteriores de la investigación.

Este se llevará a cabo en dos etapas:

1. Análisis del entorno o mercado del proyecto a nivel externo (Sector energético-Macroentorno).
2. Análisis del entorno o mercado del proyecto a nivel interno (Biomasa-insumo).

En cuanto al macroentorno, se detalla la estructura del sector eléctrico nacional, así como el análisis de la situación actual de dicho sector, demanda, precios de compra y venta de energía.

A nivel interno se analizará la demanda de biomasa (rastrojo) requerida para la generación energética, así como los precios y la competencia, es decir (pino).

La información recolectada, se hizo por medio de fuentes secundarias internas, proporcionadas por Azucarera La Grecia, así como también de fuentes secundarias externas: como: la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Comisión Reguladora de la Energía Eléctrica (CREE) y Secretaría de Energía (SEN).

3.4.2 Estudio técnico.

En el caso de los estudios técnicos describen las condiciones del medio, como por ejemplo la localización del proyecto, la disponibilidad del insumo el cual para esta investigación es la cantidad de RAC que podría aprovecharse de las fincas de azucarera La Grecia. Los insumos necesarios para poder realizar el proyecto, el personal necesario en cantidad y competencias (Salazar, 2010).

Como describe el párrafo anterior, el primer paso en el estudio técnico es describir el contexto geográfico donde se desarrolla el proyecto. Para esto se utilizó la información proporcionada por la empresa, como los datos meteorológicos de las estaciones que poseen en las fincas.

El otro punto descrito, fue la caracterización de la materia prima. El primer paso fue describir el RAC, las cantidades disponibles de RAC. Para la determinación del RAC, fue necesario el análisis de los datos obtenidos en las pruebas comerciales realizadas durante la investigación. Los datos obtenidos fueron analizados por medio del programa estadístico Minitab, donde el principal dato fue la media de productividad de RAC. Dentro del tamaño del proyecto, se planteó determinar la cantidad de áreas disponible para el aprovechamiento del RAC. Este dato fue obtenido mediante la base de datos de la cantidad de hectáreas que son cosechadas de forma mecánica.

Con las dos variables determinadas: cantidad de hectáreas y el rendimiento promedio se obtiene la cantidad potencial total de RAC. Otras de las variables a determinar es la distancia de

las fincas potenciales de RAC, que será un factor de análisis para considerar para la determinación de los costos del transporte.

Se realizó una caracterización del RAC, tomando las variables de poder calorífico y porcentaje de humedad. Estos datos obtenidos de los muestreos realizados por la empresa a la biomasa a diario, de inicios de diciembre a inicios de marzo.

El estudio técnico cuantifica las inversionistas del proyecto, se determinó la cantidad de maquinaria y equipo.

Finalmente se hizo una comparación entre la biomasa en estudio y las otras biomásas a base de pino que se utiliza.

3.4.3 Estudio económico-financiero.

En este apartado se expone la metodología empleada para la realización de los cálculos de los diferentes tipos de costos e inversiones. Para posterior uso en los diversos flujos que evaluarán la viabilidad del proyecto (Sapag Chain, 2012). En resumen, se evaluará las salidas de efectivo (egresos) y entradas de efectivos (ingresos).

Dentro de los egresos se pueden diferenciar aquellos que constituyen una inversión y los de operación. En el caso de RAC, se considera los egresos de inversión: maquinarias y equipos. Dentro de los egresos de operación se encuentran: mano de obra, materiales, servicios externos e internos. Los servicios externos es la clasificación que recibe la renta de maquinaria y equipo por horas, que corresponde a una división de mantenimientos y administración de recursos.

Una vez identificando las entradas y salidas de efectivo, se realizaron los estados de ventas e ingresos, considerando la venta de biomasa interna y la venta de energía. Los costos y gastos que implicaría aprovechar el RAC potencial identificado en el estudio técnico. Tomando en cuenta la tasa de descuento que la empresa utiliza para la evaluación de los proyectos de inversión. Finalmente, el análisis de los flujos generados del proyecto en un horizonte de diez años por medio de indicadores financieros como el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de la inversión.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Estudio de mercado

El estudio de mercado es la primera etapa en la evaluación de proyectos, a continuación, se detallan aspectos relevantes del sector energético nacional (análisis externo) así como el análisis interno enfocándose en las fuentes de generación que utiliza Azucarera La Grecia.

4.1.1 Objetivos.

4.1.1.1 Analizar demanda energética nacional.

4.1.1.2 Determinar si existe mercado para el RAC en el proceso de generación en Azucarera La Grecia.

4.1.2 Justificación.

Las empresas de manera constante deben tomar decisiones que pueden impactar de manera positiva o negativa sobre el éxito de sus negocios, por lo que el conocimiento del mercado resulta necesario para dar curso a la aceptación o rechazo a la asignación de recursos a la iniciativa de emplear el rastrojo agrícola de caña como materia prima alternativa para la generación de energía.

4.1.3 Metodología.

El estudio de mercado es de alcance descriptivo, ya que se pretende delinear las características del mercado y su funcionamiento (Malhotra, 2008).

Los datos se recolectaron a través de fuentes secundarias internas: son aquellas generadas en Azucarera La Grecia, así como también de fuentes secundarias externas, como: Boletines publicados por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Comisión Reguladora de la Energía Eléctrica (CREE) y Secretaría de Energía (SEN).

4.1.4 Limitaciones.

La utilización de instrumentos, como encuestas, grupos focales, entrevistas, es decir la recolección de fuentes primarias de datos, no aplica en este estudio debido a las características particulares del sector energético, entre ellas:

1. Empresa Nacional de Energía Eléctrica y su monopsonio (comprador y distribuidor único).
2. El origen de la energía generada no impacta de manera directa en el precio que paga el consumidor de este servicio.

4.1.5 Análisis del entorno o mercado del proyecto (sector energético).

A continuación, se describen aspectos relevantes del sector energético nacional.

A. Organización del sector energético en Honduras.

La SEN (Secretaría de Energía) es el ente rector de todo el sector energético nacional y de la integración energética regional e internacional. Entre sus funciones, destacan: formulación, planificación, coordinación, ejecución, seguimiento y evaluación de las estrategias y políticas del sector energético hondureño

La CREE, vela porque el mercado en el subsector eléctrico sea a base de costos y no de precios, es decir se encarga de promover la eficiencia y transparencia. (CEPAL, 2018).

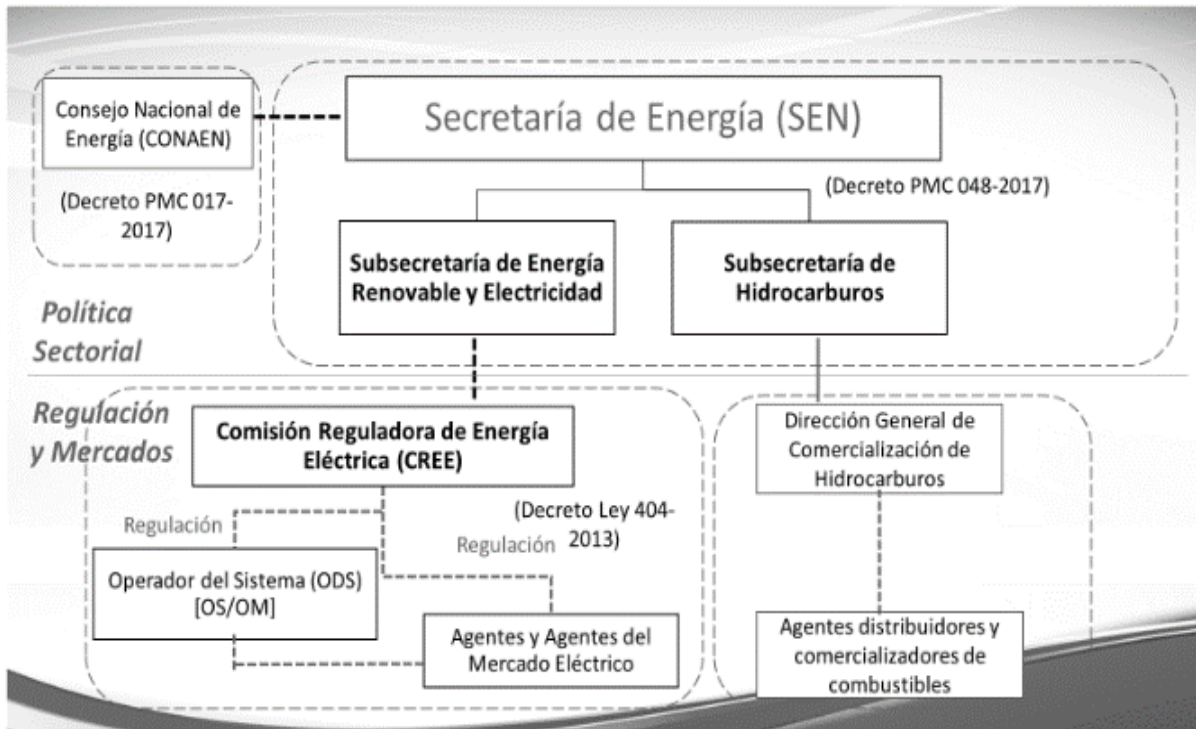


Figura 2. Estructura del sector energético.

Fuente: CEPAL (2018). Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de Honduras. Recuperado de https://www.giz-cepal.cl/files/S1800542_es.pdf

B. Estructura de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica.

Actualmente la ENEE está en proceso de modificación en su estructura legal, para proceder a la división de la empresa según lo estipulado en la Ley General de la Industria Eléctrica, la ENEE será la empresa matriz. Se pretende, que, en un futuro, la Empresa de Generación y Comercialización de Electricidad (EGECO), administre el sistema de generación de energía; la Empresa de Transmisión y Operación (EMETO), realice mantenimiento e inversión en las instalaciones de transmisión eléctrica y la Empresa de Distribución y Comercialización de Electricidad (EDCO), actualmente esta tarea la realiza la Empresa Energía Honduras (EEH) mediante un contrato de concesión o Alianza Público Privada (APP) por 7 años, es decir, del 2016 al 2023 (Diario El Heraldo, 2018).

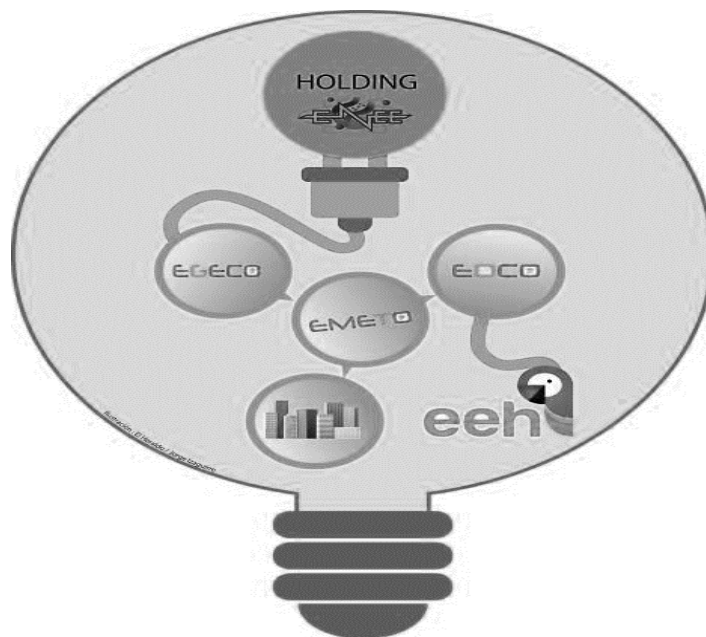


Figura 3. Estructura sugerida en la Ley General de la Industria Eléctrica.

Fuente: Diario El Heraldo. (2018). Conozca cómo se divide la Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado 21 de marzo de 2019, de Diario El Heraldo website: <https://www.elheraldo.hn/economia/1228509-466/conozca-cómo-se-divide-la-empresa-nacional-de-energía-eléctrica>

C. Organización del mercado eléctrico.

Este está administrado por el operador del sistema y se compone de: un mercado de contrato y un mercado de oportunidad.

c.1 Mercado de contratos.

Los agentes compradores, firman contratos de potencia firme, energía y servicios complementarios con generadoras y comercializadoras, estos pueden durar desde meses hasta varios años.

c.2 Mercado de oportunidad.

Está basado en las unidades de mínimo costo en las unidades de generación. los precios de la energía a corto plazo en este mercado, están determinados hora a hora en cada nodo del sistema principal de transmisión. Los costos se calculan acuerdo a las tecnologías utilizadas (Diario Oficial La Gaceta, 2015).

D. Situación actual.

En Honduras, es de gran importancia, el sector energético para el desarrollo social y económico. Cabe destacar que una de las ventajas de este sector es la disponibilidad de recursos para generar electricidad, así como también el marco legal del subsector eléctrico.

En nuestro país, acorde a la tendencia en la generación de energía eléctrica a nivel mundial ha logrado posicionar a la energía limpia como la principal fuente, tal que la matriz energética nacional está conformada por un 29% de energía térmica y 71% energía renovable, gracias a la incorporación al sistema de plantas generadoras a base de biomasa, geotérmica, eólica y fotovoltaica (Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Gobierno de la República de Honduras, 2019).

Azucarera La Grecia, participa en el sector de las energías renovables con una producción de 34 mega watts de energía de los cuáles, 12 son para su consumo y 22 son enviados a las plantas distribuidoras del Estado para suplir la demanda de los abonados de la zona Sur de Honduras.

d.1 Análisis de la demanda.

La demanda promedio de energía eléctrica en Honduras es de 1500 MW, en el 2017 tuvo un incremento del 3%, es decir 45 MW (Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Gobierno de la República de Honduras, 2019).

La demanda energética varía según la estación del año, por ejemplo, en los meses más calurosos como ser: mayo y abril, la demanda energética es de 1600 MW en las horas pico. También influye el sector del país, para el caso en San Pedro Sula, la demanda aumenta en abril y en Tegucigalpa la demanda máxima se alcanza en diciembre, además hay que considerar también los horarios; en la madrugada, la demanda disminuye, pero esta aumenta a medio día y a partir de las 6 pm.

d.2 Análisis de la competencia

Además de azucarera La Grecia, hay otras plantas que participan en la generación de energía utilizando biomasa, las cuáles se presentan a continuación:

Tabla 7. Empresas generadoras a base de biomasa.

Empresa generadora a partir de biomasa	Planta/Proyecto	Precio de compra de la ENEE por kWh (\$)
Tres Valles	Biomasa Tres Valles	0.05572
EECOPALSA	EECOPALSA	0.11629
HPGC	Planta de biomasa HGPC 1	0.15215
Cubagua	Cubagua	0.15487
M.P. P	Merendón	0.15302
Tres Valles	CATV	0.13914

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la ENEE.

d.2.1 Azucarera Tres Valles.

San Juan de Flores, Francisco Morazán Honduras. Es una Sociedad Anónima de Capital Variable dedicada a la agroindustria es decir al cultivo de caña de azúcar para obtener el producto final que es el azúcar Vitaminada de clase A, azúcar Caña Miel nombre con el que actualmente se le conoce, melaza, energía limpia.

d.2.2 EECOPALSA.

Es una organización de la industria palmera, sus orígenes comienzan con la iniciativa de los socios de Palmas Centroamericanas S.A (PALCASA) de buscar una alternativa para aprovechar los residuos de la extracción del aceite de la palma.

d.2.3 Honduran Green Power Corporation (HGPC).

Esta empresa se dedica a la generación de energía utilizando King Grass, inició con el proceso de generación en 2016, la energía que genera es para autoconsumo y el excedente lo vende a la ENEE, actualmente está generando 43 mega watts.

E.3 Análisis de la generación.

En la figura 4, se aprecia la reducción del consumo de carbón, un aumento en la generación con biomasa en los ingenios azucareros (cogeneración), también se observa el ingreso de la energía eólica al sistema de la generación eléctrica en el 2011 y su crecimiento, y la entrada de la energía solar fotovoltaica en 2015.

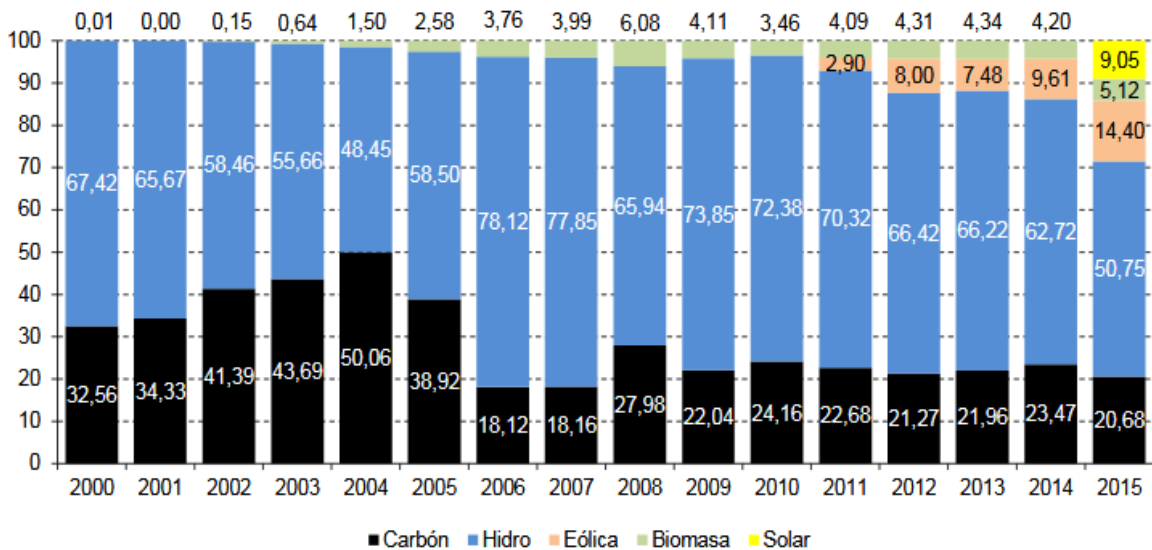


Figura 4. Tendencias en el consumo de energía por fuente.

Fuente: CEPAL. (2018). Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de Honduras. Recuperado de https://www.giz-cepal.cl/files/S1800542_es.pdf

Azucarera La Grecia, participa en el segmento de la generación a base de biomasa con 21 MW, de los cuáles le vende 16 MW a la ENEE mientras haya disponibilidad de biomasa.

La generación de energía eléctrica en nuestro país ha evolucionado de una alta dependencia en el uso de derivados del petróleo a una mayor participación del sector renovable, esto se puede apreciar de manera clara en la figura 5.

Hasta octubre 2018, el 64.35% de la energía generada proviene de fuentes renovables y el 35.65 proviene de fuentes térmicas como bunker, diésel y carbón.

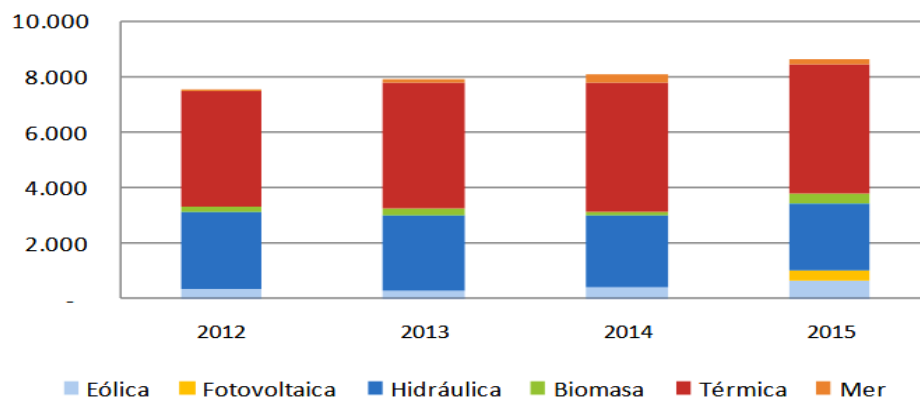


Figura 5. Generación de energía por fuente.

Fuente: ENEE. (2016). Plan Estratégico Empresa Nacional de Energía eléctrica. Recuperado de http://www.enee.hn/planificacion/2017/boletines/PEI%20ENEE%202016-2020_dic_1_MRPV.pdf

F.4 Análisis de precios

La Comisión reguladora de Energía Eléctrica, revisa trimestralmente el pliego tarifario, las tarifas son fijadas y revisadas tomando en consideración los cambios en los precios de los combustibles, la tasa de cambio y el despacho hidrotérmico tomando en consideración la estacionalidad.

Tabla 8. Pliego tarifario vigente hasta marzo 2019.

Sector	Rango	Cargo (Lempiras)
Comercial	0++	4.7373
Altos consumidores	0+	3.0883
	demanda	262.8404
Gobierno	0+	2.8755
	Demanda	219.9137
Residencial	0-50	3.643
	51++	4.7404
Gastos de comercialización		54.57

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la ENEE.

En la tabla 8, aparecen los precios de venta de la ENEE por sector, nótese que los gastos de comercialización es un monto fijo que aplican por el uso del cableado perteneciente a la ENEE.

G. Tendencias en el consumo de energía.

El sector residencial y comercial son los de mayor consumo a nivel nacional, presentándose la mayor demanda en la zona del Litoral, seguido de la zona Centro Sur y Nor-Occidente. En cuanto al sector industrial, la zona donde se registra el mayor consumo es en la zona Nor-Occidente (ENEE, 2018).

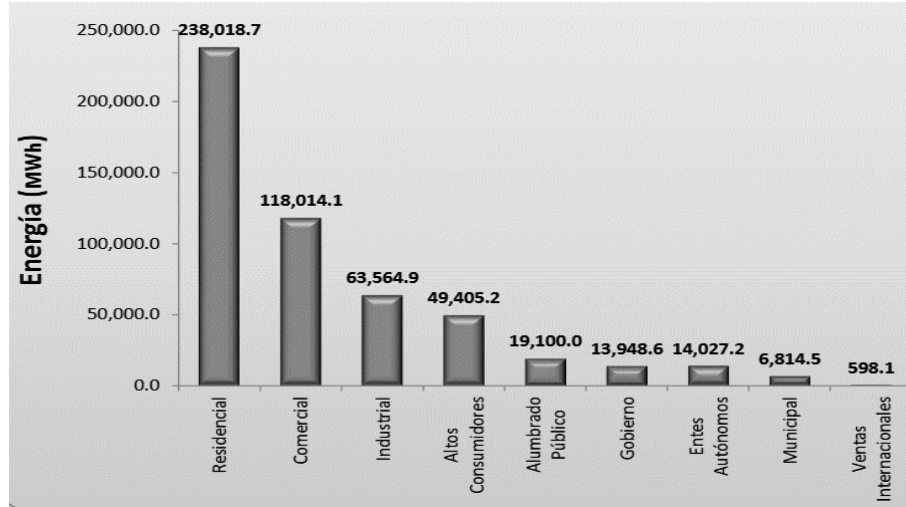


Figura 6. Energía vendida por el Sistema Integrado ENEE 2017.

Fuente: ENEE. (2017). *Boletín estadístico mes de diciembre*. Recuperado de <https://gastomios.000webhostapp.com/pdf/Boletin-Estadistico-Diciembre-2017.pdf>

El crecimiento de la industria, el aumento en la población y la estación del año son factores que provocan incrementos en el consumo de energía eléctrica. En la figura 6 y figura 7, se presenta el consumo de energía por sector registrado hasta diciembre 2017 y diciembre 2018 respectivamente.

Según la ENEE (2019), el consumo de energía eléctrica varía cada mes, registrándose un mayor consumo de 6pm-8 pm, lo que se conoce como hora pico. Además, el mes de abril se mantiene como el mes de mayor consumo de electricidad en nuestro país.

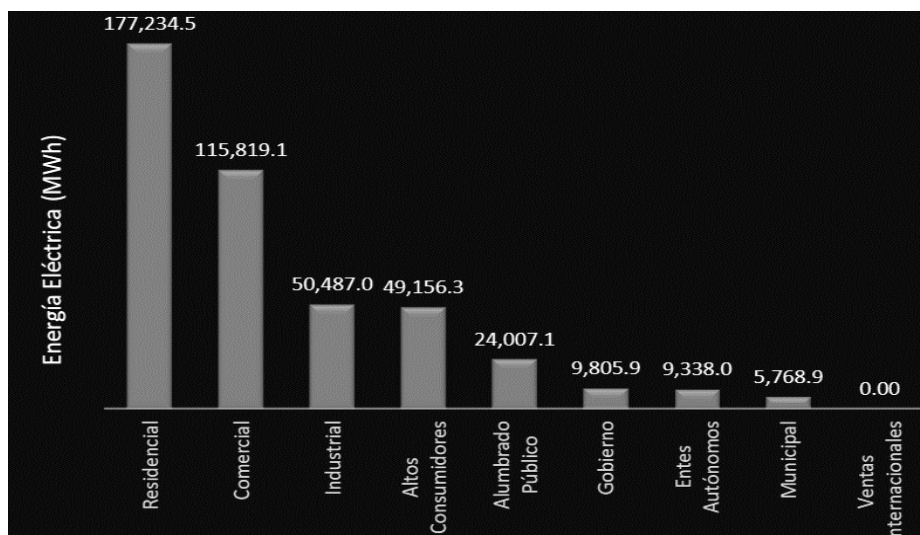


Figura 7. Energía vendida por el sistema ENEE 2018.

Fuente: ENEE. (2018). *Boletín estadístico diciembre*. Recuperado de <http://www.enee.hn/planificacion/2019/Boletin%20Estadistico%20Diciembre2018.pdf>

4.1.6 Análisis del entorno o mercado del proyecto a nivel interno (Biomasa como producto).

El cliente, quien en este estudio es azucarera La Grecia tiene una demanda de 900 toneladas de biomasa de origen de bagazo, con un poder calorífico de 4000 BTU, con lo cual se aseguran 130 días de generación de energía eléctrica. Con esta biomasa la caldera de generación produce un total de 384 MWh. Existe una oferta de 117 mil toneladas de bagazo fijo que serán utilizadas por las calderas de cogeneración y generación. Las calderas de cogeneración consumen alrededor de 1500 toneladas de bagazo por día, la cual esa energía en forma de vapor sirve para el proceso de transformación de jugos de caña en azúcar. El resto del bagazo es utilizado por la caldera de generación (Azucarera La Grecia, 2018).

La empresa tiene un contrato de entrega de 16 MWh por día (2012-2024), sin la obligación a cumplir todo el año. La energía entregada depende de la cantidad de biomasa disponible. Por eso es necesario disponer de otras fuentes de biomasa para asegurar la generación a lo largo del tiempo.

Anteriormente, se han utilizados: carbón, aserrín, chip de madera entre otras. Algunas de estas fuentes tienen precios altos, otras no están disponibles en el mercado. En los últimos dos años la empresa ha utilizado el pino proveniente del bosque afectados por el gorgojo. El uso de esta fuente es limitado, además su utilización tiene implicaciones a nivel social y puede contribuir al

deterioro de la imagen de la organización como una empresa responsable.

Lo descrito en los párrafos anteriores, crea una oportunidad de mercado porque existe una demanda insatisfecha de recurso biomásico.

A continuación, se analizan aspectos relevantes de las materias primas en cuestión:

1. Costo.

En la tabla 9, se puede apreciar que existe una diferencia considerable entre el costo del RAC y del pino como fuentes de generación, siendo el RAC la fuente más atractiva en ese sentido.

El costo del kWh generado a base de RAC es 0.08 \$/kWh, en el caso del pino 0.09 \$/h.

Tabla 9. Costo de materia prima por tonelada.

Biomasa	Costo en Patio (\$/ton)	Costo de picado (\$/ton)	Costo Total (\$/ton)	kWh/Ton	Costo (\$/ kWh)	Precio (\$/ kWh)	Diferencia (\$/ton)
RAC - a LG	13.91	8.75	22.66	525.00	0.04	0.15	0.11
RAC-a fabrica	35	8.75	43.75	525.00	0.08	0.15	0.07
Madera de pino	40	15	55.00	600.00	0.09	0.15	0.06

Fuente: Elaboración propia, con datos de azucarera La Grecia.

2. Producto.

Las siguientes, son fuentes de biomasa utilizadas en Azucarera La Grecia.

A. Bagazo.

Son los restos de caña de azúcar que quedan luego de que ésta es triturada para extraer el jugo de sus tallos, y expuesta al sol para eliminar la humedad, para posteriormente ser almacenado para su próxima utilización en la generación energética. Si bien es cierto, el bagazo es un residuo que se obtiene del proceso de fabricación del azúcar, para la empresa se genera un costo de transporte hasta la fábrica, el cual es de 15 dólares por tonelada.

B. Madera chipeada.

Durante el tiempo que el gorgojo descortezador invadió los bosques hondureños, la empresa tomó a bien comprar toneladas del pino afectado. Luego de realizar el proceso de chipeado, se mezcla con el bagazo para la generación de energía.

En cuanto a sus características técnicas destaca su poder calorífico (6671.9 BTU/lb) y el porcentaje de humedad (22.35).

C. RAC.

El rastrojo agrícola de caña de azúcar (RAC), se refiere a los residuos agrícolas (hojas y tallos; pajas y granos) que permanecen en el terreno luego de la cosecha.

Una vez que el RAC es recolectado mecánicamente, es llevado en forma de paca hacia el campo, donde espera ser utilizado en la generación. El promedio de peso de la paca es de 0.417 toneladas.

Las características técnicas del RAC de mayor importancia son: el poder calorífico (6,204.5 BTU/lb) y el porcentaje de humedad (10.84).

Si bien es cierto, que al comparar el poder calorífico de la madera de pino con el del RAC este último es menor, el RAC continúa perfilándose como la materia prima adecuada, ya que su porcentaje de humedad es inferior a la del pino, por lo que se requiere menor cantidad de calor para quemarla, convirtiendo al RAC en la materia prima de mayor eficiencia.

4.1.6.1 Precios de venta a la ENEE

Se detallan a continuación el rango de precios de venta de energía por kWh, según la fuente de generación, apreciándose que la energía renovable, a excepción de la hidroeléctrica, tiene un rango de precios menor.

El precio del kilovatio está compuesto por el costo marginal de corto plazo, más el 10 % de incentivo aprobado en el decreto 70-2007, sumado a esto también hay otros premios por utilizar ciertas tecnologías, como el cargo fijo a una planta eólica. Este incentivo aplica dentro de los primeros 15 años contados a partir de la fecha de inicio de la planta y para aquellos proyectos que no hayan iniciado su operación comercial al momento de entrar en vigencia el decreto mencionado

anteriormente.

Tabla 10. Precio kWh según fuente de generación.

Fuente	Precio kWh (Dólares)
Hidroeléctrica	Entre 0.2598 y 0.6093
Eólica	Entre 0.13132 y 0.15326
Biomasa	Entre 0.13914 y 0.15487
Solar	Entre 0.13925 y 0.14231
Geotérmica	0.11517
Térmica	0.2598 y 0.6093

Fuente: Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Gobierno de la República de Honduras. (2019). Recuperado 2 de marzo de 2019, de <http://www.enee.hn/index.php/component/content/article/156-periodistas/1527-matriz-energetica-renovables-remontan-generacion-termica-71-por-ciento-de-la-generacion-nacional-proviene-de-plantas-de-energia>.

En la tabla 10, se puede apreciar que el precio de generación energética, a base de biomasa, fijado por la ENEE es de los más bajos comparado con la energía térmica e hidroeléctrica, además de que constituye una fuente de generación neutral respecto a las emisiones de carbono.

Tabla 11. Generación de electricidad por tipo de fuente (Participación porcentual, I trimestre de cada año).

Fuente	2017	2018
Energía Renovable		
Hidroeléctrica	29.5	33.8
Eólica	8.1	13.2
Biomasa	10.0	13.7
Solar	10.7	11.2
Geotérmica	-	3.1
Total	58.3%	75%
Energía Térmica		
Bunker y diésel	35.7	18.8
Carbón	6.0	6.2
Total	41.7%	25%

Fuente: Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Gobierno de la República de Honduras. (2019). Recuperado 2 de marzo de 2019, de <http://www.enee.hn/index.php/component/content/article/156-periodistas/1527-matriz-energetica-renovables-remontan-generacion-termica-71-por-ciento-de-la-generacion-nacional-proviene-de-plantas-de-energia>

Según ENEE (2019), entre 2017 y 2018, las fuentes renovables aumentaron su participación en un 5.1 % en la matriz energética nacional.

La ENEE ha desarrollado acciones para optimizar el servicio eléctrico, por medio de la generación de energía limpia, en la siguiente tabla se observa que la tendencia en cuanto al uso de generación de energía eléctrica va orientado a la utilización de fuentes renovables.

La utilización de fuentes renovables de energía impacta positivamente en el desarrollo de la industria y la zona de instalación de la planta. En Honduras las energías alternativas son vitales, de hecho, en 2015 las energías renovables superaron a las térmicas en uso, por un 2% (51 a 49).

4.1.7 Conclusiones.

a. La demanda energética a nivel nacional va en aumento con el paso del tiempo, por lo que la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, debe asegurar la compra de energía para garantizar el suministro a sus clientes, la energía a base de biomasa resulta una opción atractiva debido a su bajo costo y por su característica de ser energía limpia.

b. Existe demanda de RAC, ya que es la alternativa más barata en el modelo productivo, teniendo un costo de producción de \$43.75 por tonelada, permitiendo generar a un costo de \$ 0.08 el kWh.

4.2 Estudio técnico

En este apartado se describe todos los aspectos técnicos relacionado con la utilización del RAC para la cogeneración. La sección del estudio técnico define los procesos de producción y la tecnología. El estudio técnico debe contemplar: localización, tamaño del proyecto, inversiones, materia prima, costos de operación y producción (Fernández, 2007).

A. Localización

Realizado en Azucarera La Grecia, ubicada en la Zona Sur de Honduras, en el municipio de Marcovia, Choluteca. Las condiciones climáticas en esta región son tropicales, con característica

de trópico seco. En este departamento la temperatura media anual es de 27.8 ° C.

Esta zona está bien definida la estación seca, comprendida en los meses de diciembre a abril. Las precipitaciones anuales son de 1500 mm, concentrada en los meses de mayo a noviembre. En la figura 8, se presenta las precipitaciones mensuales entre los años de 2015 a 2018, tomados de las estaciones meteorológicas de la empresa. El inicio de las lluvias se presenta en abril, con ligeras precipitaciones al final del mes. En el 2018, los meses más lluviosos fueron mayo, agosto, septiembre y octubre. El inicio y final de las lluvias es un factor determinante en la recolección de RAC, por una serie de eventos técnicos que facilitan o dificultan la actividad. La cosecha de caña se realiza en el periodo seco (finales de noviembre a finales de abril), donde según los datos de precipitación son nulos, de esta forma facilita el corte mecanizado de la caña, de donde proviene el RAC como un subproducto. Este periodo de zafra determinara el inicio y final de la cosecha.

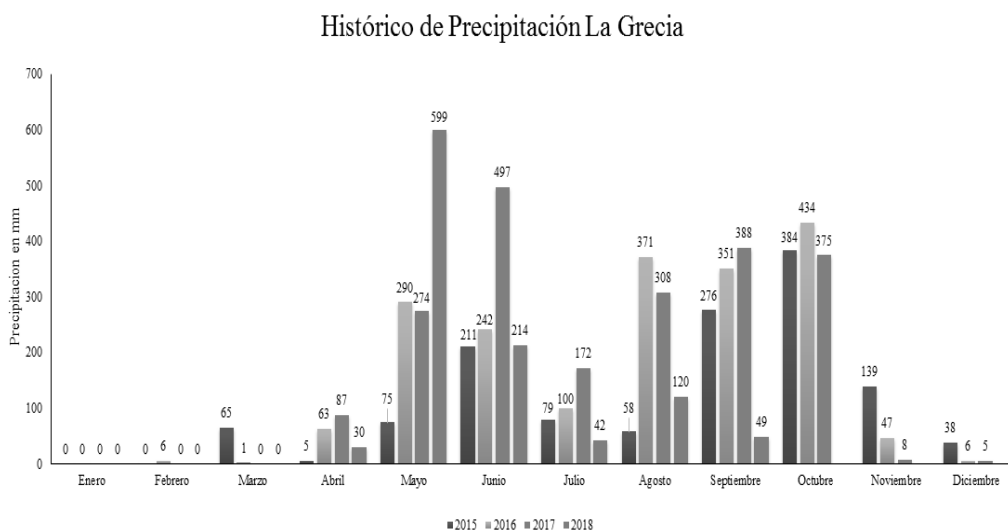


Figura 8. Histórico de precipitación La Grecia.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

Este periodo seco es cuando se programa el periodo de corte de la caña de azúcar (zafra). En los datos de las estaciones meteorológicas de Azucarera La Grecia, representado en la figura 8, se observa ese patrón de periodo sin lluvia en cuatro años consecutivos. Esta característica de la zona facilita las labores de recolección de RAC, además de asegurar un material con baja humedad por deshidratación natural del sol, sin el riesgo de lluvias.

Las altas temperaturas son característico de esta zona (figura 10), puede provocar inconvenientes en la operación de recolección del RAC.

Por ejemplo, durante la operación se presentaron recalentamiento en las partes de rodamiento (cadenas y balineras) de las embaladoras. Esto al estar en contacto con el RAC combinado con su porcentaje bajo de humedad (figura 18), puede provocar incendios (figura 9) Irrarazabal (2017), describe, que el mantenimiento de un equipo o maquinaria depende de: la operación adecuada, mantenimiento periódico y regular, finalmente la protección de la maquinaria de las condiciones medioambientales.

En la operación mecánica del RAC, involucra los tres puntos. La operación adecuada, el operador es responsable de la revisión periódica de las condiciones del equipo. El mantenimiento más frecuente de la maquinaria contribuirá en una mayor vida útil del equipo y reducir problema en la operación (Irrarazabal, 2017).



Figura 9. Recalentamiento por altas temperaturas del sistema de rodamiento (cadenas y balineras).

Este efecto se produce cuando las cadenas y balineras de las embaladoras entran en contacto con el RAC, estos rodamientos secos, combinados con las altas temperaturas puede provocar incendios.

Las temperaturas máximas se dan en los meses de marzo a abril con promedio de 34°C a 35 °C. En la figura 10, se presenta el rango de temperaturas del 2015 al 2018 en cantidad de días por rango de temperatura. La mayor cantidad de días en la zona se mantienen sobre los 34 °C. Estas temperaturas pueden influir en la operación de la cosecha del RAC, descrito anteriormente.

En las propiedades del material como el porcentaje de humedad. Solares, 2016, describe

que el porcentaje de humedad disminuye en los primeros dos días después del corte, y posterior se mantiene constante.

En otro apartado de la investigación se presenta el comportamiento de la humedad en el RAC en pruebas realizadas en el 2016, así como las mediciones de húmeda realizadas en los meses de diciembre del 2018 a febrero del 2019, periodo de la investigación.

Rango de temperaturas en número de días del 2015 al 2018

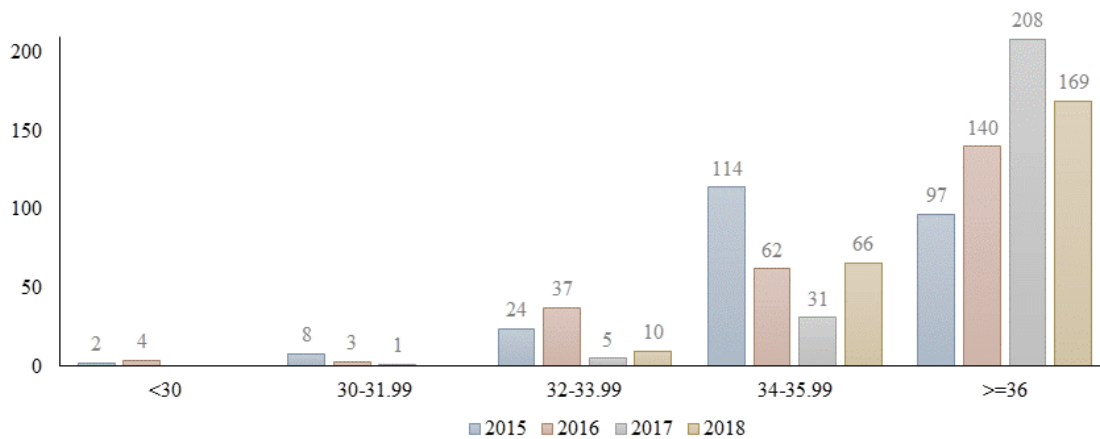


Figura 10. Rango de temperaturas en números de días del 2015 al 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

B. Tamaño del proyecto.

El fin del proyecto es aprovechar el rastrojo de las hojas de cañas después de la cosecha mecanizada. La empresa cuenta con una superficie actual en cosecha mecanizada de alrededor de las 5700 has, según datos de la última zafra (figura 7). Estas áreas están distribuidas en los departamentos de Choluteca y Valle (anexo 4. Mapa de distribución de las fincas/lotes con cosecha mecanizada). La distancia de las fincas está entre 1 a 60 km de distancia, variable que se tomará en cuenta al analizar los costos del RAC, referente al transporte (anexo 3). Distribución de fincas según distancia a la planta de cogeneración. Se plantea el aprovechamiento de la mayor parte de las áreas de la empresa, excluyendo aquellas áreas donde la cosecha se realiza de forma manual.

Para efecto del estudio se tomará en cuenta, las fincas que están a 15 km de distancia del ingenio que se cortan mecánicamente.

El proceso inicia desde el establecimiento del cultivo de la caña de azúcar (adecuación, preparación de suelo y siembra), posterior al manejo agronómico de la plantación, establecido en el paquete tecnológico que la empresa maneja. La edad de corte esta entre los periodos de 11 a 13 meses, con un promedio de 12 meses (figura 6). El anterior periodo se clasificará como el periodo de producción, que según CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y capacitación de la caña de azúcar) es el ciclo productivo del cultivo.

Posterior se realizará la cosecha de la caña. Los métodos utilizados por la empresa son cosecha en verde por medio de cosechadoras especializada en el corte de caña. Y la otra metodología de corte es manual, realizada con recurso humano, donde la caña es quemada antes de ser cortada. Al finalizar el proceso de cosecha mecanizada de los lotes, comenzara el proceso del RAC. Este proceso se divide en tres procesos: Agrícola: que abarca desde la producción de caña hasta la cosecha mecanizada, un proceso intermedio seria encargado de la recolección de RAC y finalmente el proceso Industrial el encargado del manejo y aprovechamiento del RAC. En el diagrama de flujo (figura 11) se describe el proceso de RAC.

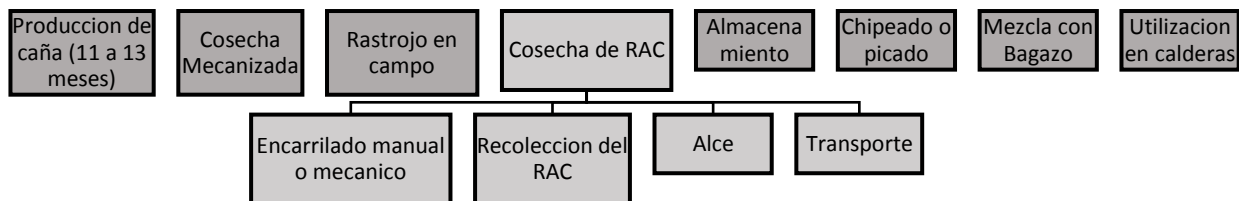


Figura 11. Diagrama de flujo del aprovechamiento del RAC.

Fuente: Elaboración propia.

C. Proceso agrícola

Proceso encargado del establecimiento y cosecha de las plantaciones de caña de azúcar. El proceso agrícola se divide en dos procesos: producción agrícola y cosecha. El proceso de producción a través de un paquete tecnológico de prácticas agrícolas propias de la organización busca alcanzar el potencial genético de caña de azúcar. La caña de azúcar a través de la fotosíntesis produce carbohidratos, celulosa y otros materiales.

El principal producto es la azúcar, producto extraído del jugo de la sacarosa, el cual es extraído y cristalizado en los ingenios. La caña de azúcar produce otros derivados como melaza (miel incristalizable) y el bagazo (fibra) (CONADESUCA, 2015)

Cosecha, proceso que realiza el corte de la caña, el cual la literatura describe que se realiza entre los once a dieciséis meses de plantación, dependiendo una diversidad de factores. En el caso de la empresa donde se realizó el estudio, el periodo de cosecha esta entre los 10 a 12 meses. En la figura 12, muestra las cantidades de has cortada según la edad de corte.

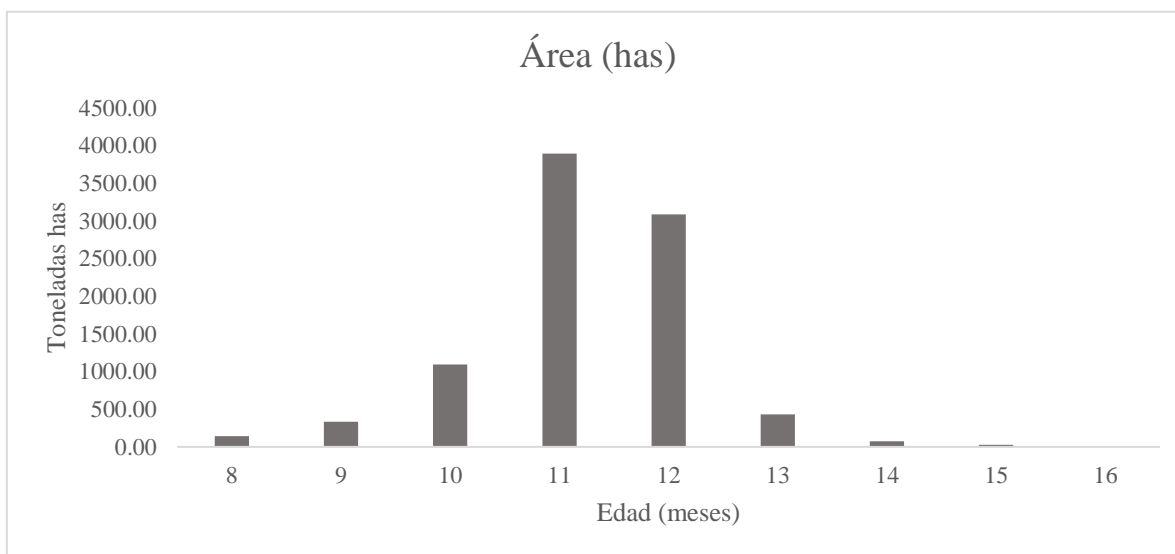


Figura 12. Diagrama de flujo del aprovechamiento del RAC.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

En la empresa se maneja dos modalidades de corte: corte manual y corte mecánico. El corte manual se realiza con personas y la caña es previamente quemada, reduciendo la cantidad de hojas, por esta razón no es interés de estudio para el RAC. En el caso de la cosecha mecánica, el corte se realiza con cosechadoras diseñadas para el cultivo de caña azúcar. En esta modalidad de corte, es donde se genera el rastrojo que se utilizara para la cogeneración.

En la azucarera La Grecia, la cosecha mecánica ha aumentado la participación con respecto al área. En la figura 8. se observa el crecimiento en la participación de la cosecha mecánica en los últimos 5 años.

En la empresa se maneja dos modalidades de corte: corte manual y corte mecánico. El corte manual se realiza con personas y la caña es previamente quemada, reduciendo la cantidad de hojas,

por esta razón no es interés de estudio para el RAC. En el caso de la cosecha mecánica, el corte se realiza con cosechadoras diseñadas para el cultivo de caña azúcar. En esta modalidad de corte, es donde se genera el rastrojo que se utilizara para la cogeneración.

En la azucarera La Grecia, la cosecha mecánica ha aumentado la participación con respecto al área. En la figura 8. se observa el crecimiento en la participación de la cosecha mecánica en los últimos 5 años.

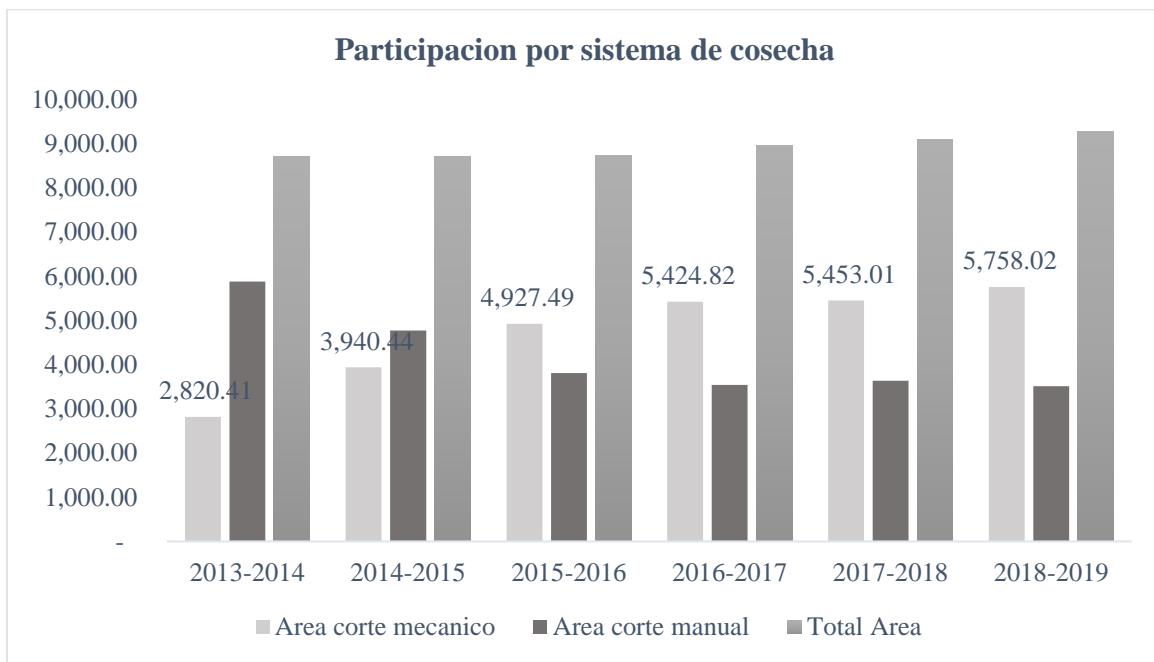


Figura 13. Participación por sistema de cosecha.

Fuente: Elaboración propia, con la información de reporte de cortes terminados.

Tomando en consideración el crecimiento de los últimos años de la cosecha mecanizada en las áreas del ingenio, utilizando el área total de cosecha mecánica de la última zafra (2017/2018). Podríamos crear una hipótesis que existe la oportunidad de poder aprovechar el RAC, con el apoyo logístico y financiero necesario para realizarlo.

El potencial en área es de 5800 has que se cosechan de forma mecanizada en verde. Esta sería el área total de las cuales se puede aprovechar el rastrojo de la hoja de caña de azúcar, sin tomar en cuenta la variable distancia. El crecimiento de la cosecha de caña en verde, trae como consecuencia el aumento en la disponibilidad de RAC. Estos residuos pueden ser utilizados por los ingenios como un biocombustible rentable y sostenible (Solares, 2016, p.87).

El tamaño del proyecto determinara la logística y los recursos necesarios para poder aprovechar el rastrojo.

D. Producción de RAC

Recolectado de los campos por medios mecánicos a través de máquinas diseñadas para esta labor. En el caso de la investigación se realizó utilizando maquinaria por medio de rastrillos de accionamiento mecánico (figura 9) y encarrilado de forma manual por medio de personas (figura 10) con rastrillos diseñados para paja, embalado mecánico, el alce y transporte.

La utilización del encarrilado mecánico se redujo a cero, por las complicaciones mecánicas del implemento, producto de las condiciones físicas del lote, presencia de piedra. El encarrilado manual presenta otras ventajas como evitar las cantidades de polvo y piedra, mejor recolección del RAC.



Figura 14. Alineamiento de rastrojo mecánico e implemento utilizado para el alineamiento mecánico.



Figura 15. Alineamiento de rastrojo manual por medio rastrillos.

Posterior al encarrilado del RAC, procede a la recolección. Se realiza con las embaladoras, que formaran las pacas de acuerdo las especificaciones que permita un manejo logístico de transporte adecuado. Para esta investigación se utilizaron cuatro embaladoras John Deere 469, a las cuales se le midieron rendimientos, que serán presentados posteriormente en el estudio. En la figura 11, se muestra una embaladora y las pacas hechas por esta máquina.

Mediante un proceso de prensado, las embaladoras comprimen el rastrojo, hasta formas las pacas, que tendrán un tamaño entre las 50 a 53 pulgadas de diámetro. Con un peso promedio de 0.40 toneladas, según los datos de las mediciones realizadas en La Grecia. Posterior se analizan estos datos medidos durante la investigación.



Figura 16. Alineamiento de rastrojo manual por medio rastrillos.

Posterior a realización de las pacas, es necesario el acarreo del RAC en forma de paca hacia donde está el equipo que las transportara al patio de almacenamiento de biomasa. Para esto se utiliza una alzadora o cargadora diseñada para caña de azúcar. Esta alzadora levanta y mueve cargas, en este caso pacas. Funciona por medio de sistemas hidráulicos que son maniobrados por el operador de la máquina. Cuando las pacas están dentro del lote, la alzadora levanta y coloca sobre un troco (*balle-buggy* o plataforma), cuidando de no crear pisoteo o compactación sobre la cepa de caña de azúcar, esto aplica a lotes que no se renovaran o sembraran. Una vez cargado en el *balle buggy*, se transporta a donde está el cabezal o camión con plataforma. En la figura 17 se observar el proceso de alce y movimiento interno de las pacas. El alce a las plataformas y la

colocación de las pacas.



Figura 17. Alce de RAC con alzadora JD1800 y plataforma con capacidad de 32 (13 a 14 toneladas).



Figura 18. Transporte de pacas hacia al ingenio.

El proceso agrícola culmina con el transporte de las pacas hacia el ingenio. La capacidad de cada plataforma es 32 pacas del tamaño que fue programada la embaladora. Los camiones asignados para esta operación tienen la capacidad de acarreo de más 150 toneladas. La cantidad de plataforma dependerá de las condiciones de camino y el reglamento que aplique a la ruta.

El tamaño del proyecto será un indicador de la maquinaria necesaria para desarrollarlo, y la proyección de producción de RAC que se le puede ofrecer. Para esto se tiene que tomar en cuenta las 5800 hectáreas de caña que la empresa cosecha en verde como base del potencial de RAC en campo.

Con el rendimiento proyectado promedio por hectáreas de RAC, se podrá calcular la cantidad de RAC que se puede extraer de una hectárea física de caña de azúcar. Este estimado de producción se tomó en cuenta, utilizando los rendimientos promedios de los lotes donde se recolectó el RAC (tabla 7.).

Un factor determinante es la distancia, en el análisis económico/financiero se analizará el impacto de los costos de logística de transporte de acarreo de toneladas. La cantidad de plataforma dependerá de las condiciones de camino y el reglamento que aplique a la ruta.

En los resultados obtenidos de las cantidades de RAC obtenido de los campos, será una pauta para conocer la cantidad total de RAC, poder realizar el balance de maquinaria necesario. En estudios realizados en Argentina por ingenio Ledesma, estima aportaciones de hojarasca entre 18 a 20 toneladas por hectáreas.

En el 2016, en ensayos realizado por Ingenio La Grecia, midió la cantidad de RAC en campo en 90 has. Los resultados promedio de RAC extraído de estas áreas fue de 8.5 toneladas. En los campos aún queda RAC sin recoger, esto debido a las dificultades técnicas para extraer de los campos en su totalidad. En esta investigación se consideró la medición de la variable de RAC en campo después de cosechado. Los rendimientos de RAC, obtenidos de los campos en el periodo de investigación fueron de 7.40 ton/has.

En total se consideraron 40 lotes, equivalente a 464.07 has del cual se obtuvieron un 3433.37 toneladas de RAC. En la tabla 10. se muestra los rendimientos de RAC, así como las variedades de caña correspondiente al lote, el tonelaje de caña por hectáreas.

También se realizó una clasificación según el destino que tendrá el lote después de la cosecha: renovación o plantación comercial. Los rendimientos por lote son variables, posteriormente este estudio se mostraron los estadísticos de esta variable y las comparaciones entre las variables que se presenta en la investigación.

Tabla 12. Rendimientos por has de RAC, según su variedad y tonelada de caña producido por el lote en investigación.

Finca	Lote	Tipo	Área	Toneladas	Rendimiento	Toneladas	Variedad
				Reales RAC	por ha de RAC	caña (TCH)	
30044	1	Renovación	8.09	85.81	10.61	90.97	CP72-2086
30044	6	Renovación	4.13	34.67	8.39	73.43	CP72-2086
30044	7	Renovación	5.65	47.43	8.39	80.58	CP72-2086
30044	8	Renovación	4.54	38.11	8.39	62.54	CP72-2086
30001	27	Renovación	10.28	86.29	8.39	80.54	CP72-2086
30001	25	Renovación	8.63	72.44	8.39	54.61	CP72-2086
30001	81	Renovación	9.84	82.33	8.37	76.20	CG00-102
30005	1	Renovación	15.86	129.56	8.17	118.33	CP72-2086
30005	5	Renovación	22.27	225.18	10.11	108.06	CP72-2086
30005	6	Renovación	13.49	106.12	7.87	75.89	CP72-2086
30016	1	Renovación	18.47	177.03	9.58	133.46	CP72-2086
30005	11	Renovación	9.78	57.05	5.83	108.12	CP72-2086
31015	1	Renovación	5.16	37.81	7.33	39.79	CP72-2086
30058	2	Renovación	3.00	27.74	9.25	123.6	CP72-2086
31014	1	Renovación	4.00	24.39	6.10	39.69	CP72-2086
30021	19	Renovación	16.28	102.53	6.30	75.13	CP72-2086
30011	3	Renovación	8.00	35.87	4.48	53.65	CP72-2086
30018	2	Renovación	8.15	37.54	4.61	90.28	CP72-2086
31178	1	Comercial	6.32	72.33	11.44	103.83	CP72-2086
30008	7	Comercial	14.33	65.54	4.57	71.19	CP00-1101
30060	1	Renovación	17.06	124.47	7.30	86.78	CP72-2086
30060	2	Renovación	13.76	75.82	5.51	72.56	CP72-2086
30060	4	Renovación	7.91	78.40	9.91	62.84	CP72-2086
30010	6	Comercial	2.00	11.76	5.88	112.39	CP88-1165
31129	1	Renovación	29.45	142.71	4.85	56.72	Mex79-431
30010	6	Comercial	4.78	45.41	9.50	112.39	CP88-1165
31166	1	Comercial	13.43	103.79	7.73	59.21	Mex79-431
31134	1	Comercial	9.67	49.87	5.16	73.78	Mex79-431
31197	1	Comercial	10.61	49.87	4.70	57.49	CP72-2086
31159	1	Comercial	1.50	7.70	5.14	56.64	CP72-2086
31159	1	Comercial	10.05	46.22	4.60	56.64	CP72-2086
30014	3	Comercial	27.35	227.04	8.30	79.94	CP72-2086
30014	5	Comercial	30.88	251.77	8.15	71.69	CP72-2086

31174	1	Renovación	9.57	38.92	4.07	38.43	CP72-2086
30014	10	Renovación	10.00	79.87	7.99	82.82	CP72-2086
30014	10	Renovación	6.55	35.28	5.39	82.82	CP72-2086
30014	14	Renovación	21.94	172.62	7.87	89.55	CP72-2086
30014	13	Comercial	9.06	91.14	10.06	86.34	CG98-78
30014	16	Comercial	19.22	161.70	8.41	69.84	CP72-2086
30014	21	Renovación	13.01	93.24	7.17	74.98	CP72-2086
Total			464.07	3,433.37	7.40		

Fuente: Elaboración propia con datos de azucarera La Grecia en los ensayos comerciales realizados entre diciembre y marzo.

Se analizó como las variedades de caña influye en la cantidad de RAC que se genera. Los resultados que se muestra en la figura 14, marca una tendencia del posible comportamiento de la cantidad de biomasa por variedad.

En el caso de la variedad CP72-2086, es de la variedad que más lotes se cosecho RAC, muestra una media de 7.88 ton/has. En el caso de la variedad que más lotes se obtuvieron datos, la desviación estándar es 2.32 toneladas, describe que se encontraron lotes con mínimo de 4.07 ton/has a 15.2 ton/has de RAC.

La variabilidad de la cantidad de biomasa en campo, no depende del tipo de variedad, también entran en juego una serie de variables agroecológicas del cultivo, rendimientos, edad de corte (que se analizara en posterior estudio).

A continuación, en la Figura 19, se muestra los resultados de 27 lotes que forman partes del programa de renovación, los resultados de los descriptivos estadísticos muestran una media de 7.48 ton/has Con máximo de toneladas de RAC de 10 ton, y la variabilidad 1.83 ton/has.

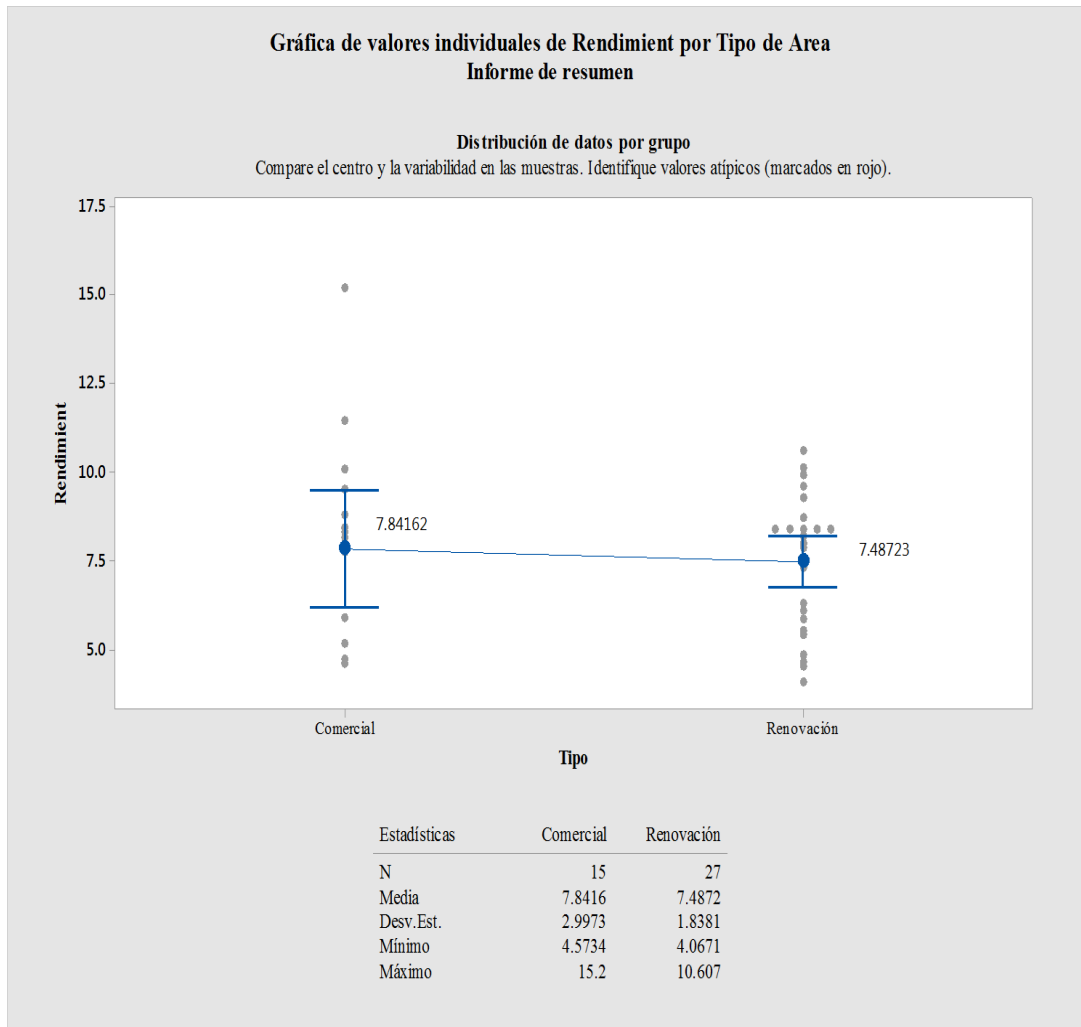


Figura 19. Rendimiento por tipo de área.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

Otras de las variables que se midieron en esta práctica fue el porcentaje de humedad y el poder calorífico. El porcentaje promedio de los rastrojos de campo fue de 13.5% de humedad después de dos días de cosecha.

Solares (2016), en estudios realizados encontró una variación entre el 10% al 20 % de humedad. En la figura 20, se muestra el comportamiento de la humedad en veinte mediciones de humedad realizadas al azar del RAC que ingreso a las calderas.

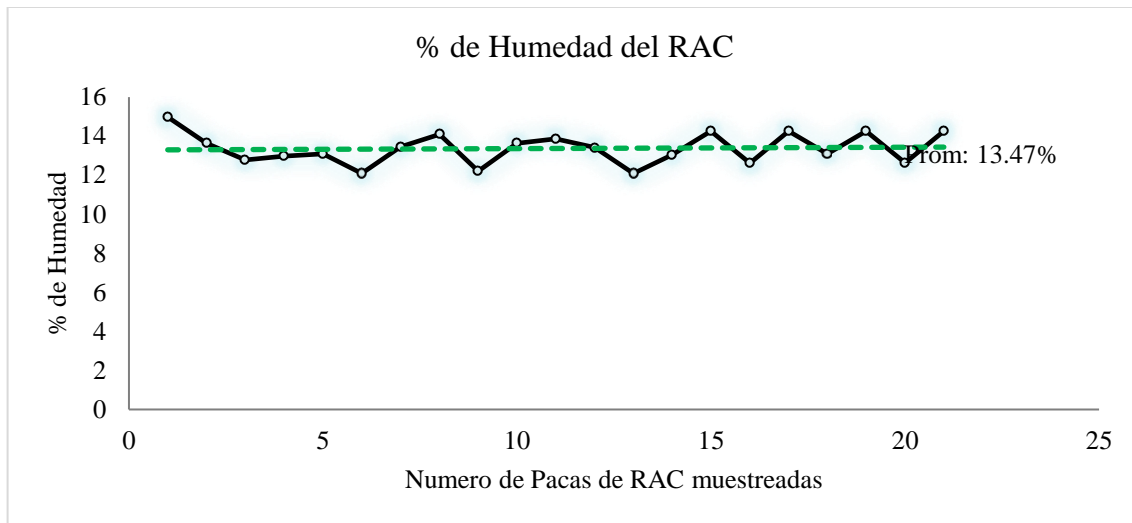


Figura 20. Porcentaje de humedad del RAC.

Fuente: Elaboración propia, datos 2016 realizados en el laboratorio de La Grecia.

Con respecto al poder calorífico en las pruebas preliminares los resultados fueron variables desde muestra con 6600 BTU/libra a 6900 BTU/libra, en caso de bagazo de caña es de 3991 BTU/libra, el chip de madera es de 6159 BTU/libra (datos de laboratorio La Grecia, 2016). En la figura 16, se muestra el comportamiento en poder calorífico del RAC.

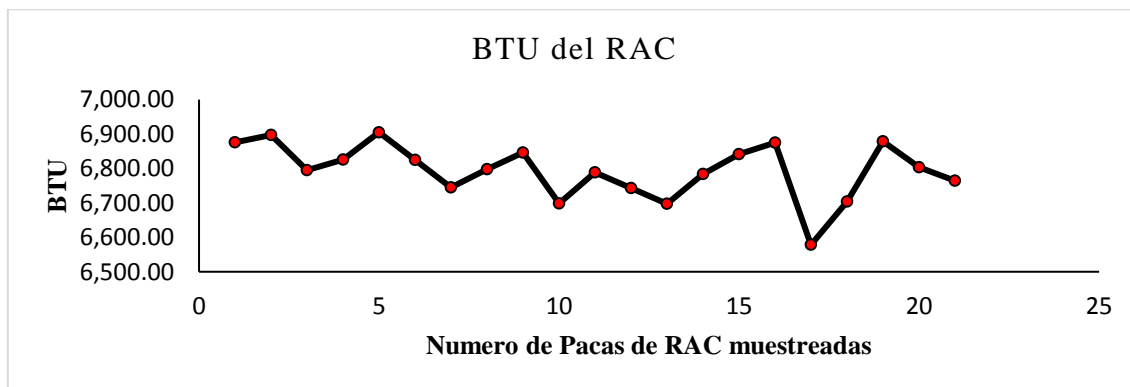


Figura 21. Potencial calorífico.

Fuente: Elaboración propia, datos 2016 realizados en el laboratorio de La Grecia.

Tomando en cuenta el potencial promedio en toneladas por hectárea de RAC, obtenido en los ensayos realizados en el 2016. Se estimará en 7.40 toneladas por hectáreas. Si el potencial en área es 5,800 has, el total volumen sería de 45,000 toneladas. Se estima aprovechar el 77% del área, que corresponde a las fincas que se encuentra a una distancia de 15 kilómetros del ingenio. En el cuadro. se describe los valores de productividad de RAC.

Tabla 13. Producción estimada de RAC.

Área Potencial del proyecto (has)	5,800.00
Área Aprovechamiento de RAC (has) a 15 km de distancia al Ingenio	4,455.89
Rendimiento (ton RAC/has)	7.40
Total de RAC	34,336.00
Días de cosecha	130.00
Toneladas de RAC/día	264.12

Fuente: Elaboración propia, con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

El estimado de producción es de 34,000.00 toneladas de RAC, con un periodo de cosecha de 130 días (equivalente al periodo de zafra). Tomando en cuenta el estimado anterior con el tiempo de cosecha, equivale a 262.00 toneladas por días, entre el peso promedio de las pacas de 0.4173 toneladas (ver figura 24) es el equivalente a 628 pacas diarias.

Para lograr cosechar esta cantidad de biomasa, se necesita alrededor de 7 embaladoras con su respectivo tractor. El cálculo de las embaladoras se realizó tomando en cuenta la capacidad promedio en toneladas por máquina. Los datos de la medición fueron obtenidos en las pruebas realizadas en los ensayos de producción del proyecto en el 2019. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 15.

E. Comparación técnica de las biomásas

Uno de los objetivos de la investigación es demostrar que tan factible técnicamente, es utilizar el RAC para la cogeneración de energía eléctrica. En las siguientes figuras, se realizó una comparación entre las biomásas de origen de RAC y madera.

Considerando el poder calorífico y el porcentaje de humedad. Para hacer una comparación estadística, se utilizó el software MINITAB17, para la realización de los análisis. Los resultados se observan en la figura 18 y figura 19.

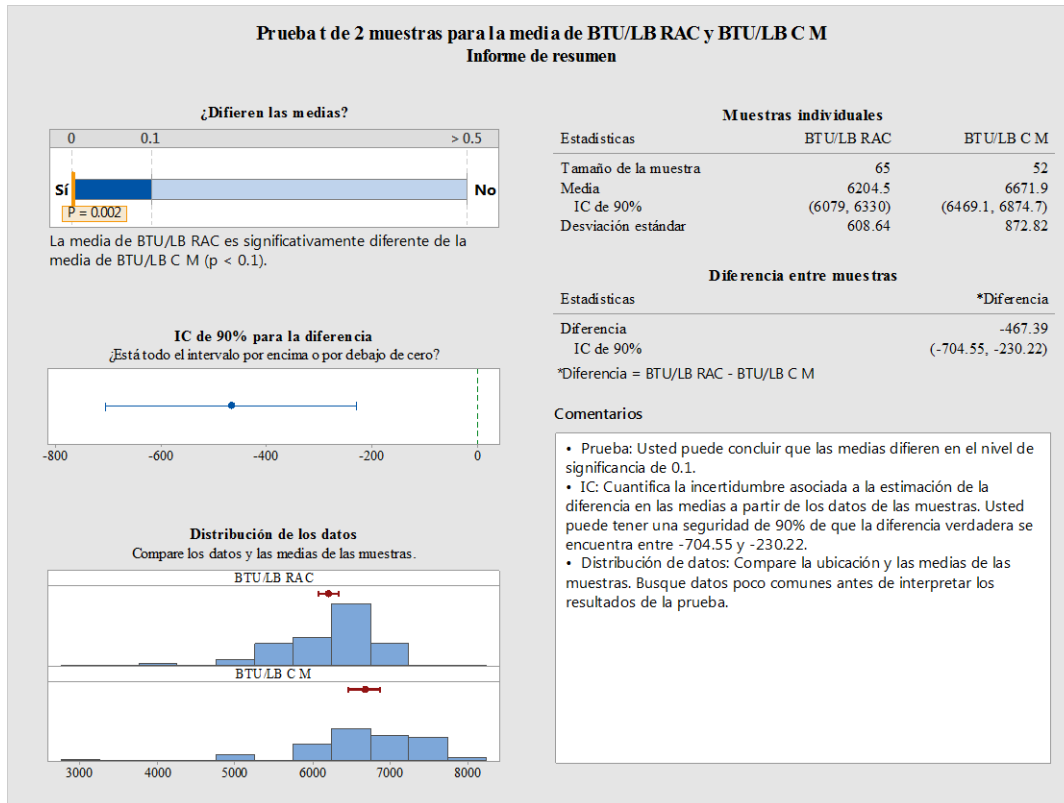


Figura 22. Elaboración propia: Comparación del poder calorífico (BTU) de la biomasa del RAC y biomasa de madera.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Azucarera La Grecia.

En la figura 22, se muestran los resultados obtenidos con la comparación del poder calorífico del RAC con la madera. Se utilizó el programa estadístico Minitab17, por medio de una prueba t, con el fin de determinar las diferencias estadísticas entre ambas biomásas.

La media del BTU del RAC fue de 6204.5 y la media de la madera fue de 6671.90. Con un nivel de significancia del 0.1 existe diferencias entre las medias.

La desviación estándar indica que existe una mayor dispersión de los datos con respecto a la media, en el caso biomasa de madera fue de 872.82 y en el caso del RAC fue de 608.64.

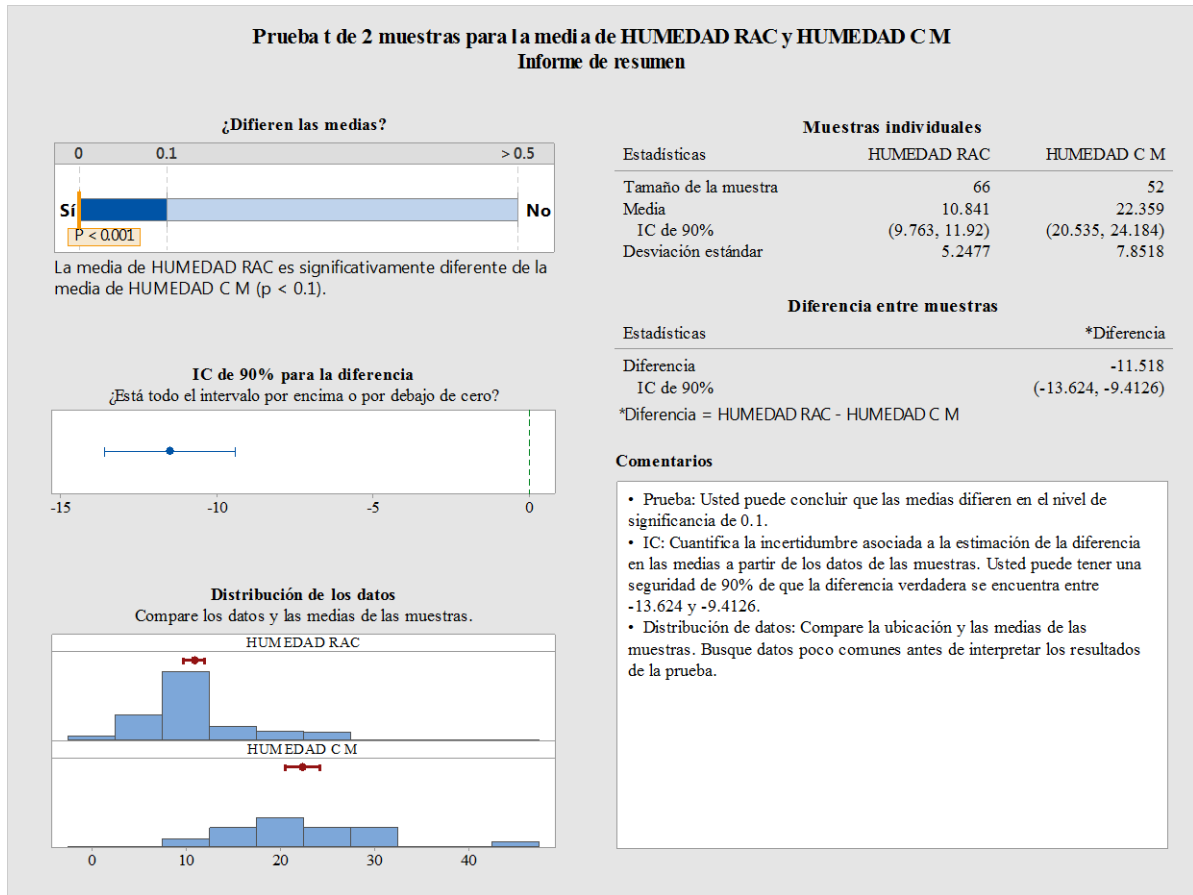


Figura 23. Poder calorífico por tipo de biomasa

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de azucarera La Grecia.

Otras de las características físicas medidas en la investigación fue el porcentaje de humedad. Por medio de una prueba T, se compararon las medias del porcentaje de humedad de la biomasa de RAC y la madera. La humedad es un factor determinante en la biomasa, se define como la cantidad de agua con respecto a su peso expresado en porcentaje. Este factor es parte de las características físicas deseables en la biomasa. Cuando la biomasa se quema, lo que se necesita primero es evaporar el agua, antes de que el calor esté disponible. Con los datos de los muestreos realizado en el laboratorio de la Azucarera La Grecia, se compararon el porcentaje de humedad de la biomasa de madera con humedad del RAC. Con una prueba t, se compararon las diferencias entre las medias del porcentaje de humedad.

F. Protocolo para la determinación del poder calorífico y humedad.

Para determinar el porcentaje de humedad y el poder calorífico, la empresa cuenta con equipos que miden a partir de muestras de biomasa estas características físicas que son importantes en la generación de energía. El departamento de Laboratorio Químico y Físico es el responsable de realizar estas mediciones.

Con las tres biomásas que maneja la empresa se realizan pruebas diarias como parte de los protocolos de calidad y conformidad. En el caso del RAC, se realizaba una medición diaria en laboratorio.

Procedimiento del muestro

Durante los meses de diciembre a enero, se transportaron al ingenio más 4500 pacas o el equivalente a 1,900 toneladas de RAC. El cual fue almacenado en los patios de biomasa. La muestra está compuesta de varias sub muestras extraídas de las pacas almacenadas seleccionadas al azar.

De cada paca se obtenía aproximadamente 200 a 300 gramos de sub muestra, en total la muestra estaba compuesta por 2,000 gramos. La muestra de 2 kg, pasaba un proceso de cuarteo o reducción del tamaño de la muestra, para dejar el equivalente a 400 gramos. Esta muestra es llevada al laboratorio donde se realizan las mediciones, con los equipos diseñados para el análisis de estos datos.

Para el caso de la humedad se utiliza un equipo que por medio de infrarrojo es capaz de obtener la humedad, sin necesidad de utilizar métodos tradicionales como el horno (anexo 9). En el caso del poder calorífico la empresa cuenta con equipo conocido como bomba calorimétrica el cual mide la liberación de calor por el combustible que se está realizando el análisis.

Para la determinación de la humedad y el poder calorífico se tomaron 66 muestras a partir del 15 de diciembre al 13 de marzo (tabla anexo 8). Los resultados de la biomasa de madera son en el mismo periodo de fecha, proporcionados por la organización.

Los resultados de las muestras en poder calorífico y humedad eran inversamente proporcionales. El poder calorífico aumentaba en los muestreos a diario y el porcentaje de

humedad se reducía. Este efecto, este asociado al aumento de temperatura durante las fechas de muestro y el aumento de materia seca.

G. Inversiones

Las inversiones necesarias para la recolección del RAC es en equipo y maquinaria, que se describe en la tabla 14. El cálculo de los equipos necesarios, fue tomando en cuenta la cantidad de RAC proyectado en el apartado del tamaño del proyecto. En el caso de las embaladoras se le considero un rendimiento por toneladas por horas, y una disponibilidad de horas por días.

Tabla 14. Equipos e inversiones para la elaboración de pacas.

Equipo	Cantidad (Unidad)	Operación
Embaladoras	7	Elaboración de pacas
Tractores 150 HP- encabinados	7	Transporte de las embaladoras
Alzadora de 150 HP	2	Alce de pacas
Tractores mov. interno 90 HP	2	Transporte de pacas

Fuente: Elaboración propia.

Embaladoras

Para lograr cosechar esta cantidad de biomasa, se necesita alrededor de 7 embaladoras con su respectivo tractor. El cálculo de las embaladoras se realizó tomando en cuenta la capacidad promedio en toneladas por máquina. Los datos de la medición fueron obtenidos en las pruebas realizadas en los ensayos de producción del proyecto en la zafra 2018/2019. Los datos obtenidos se muestran en tabla 14.

Tabla 15. Capacidad de las embaladoras en toneladas por maquinas. Capacidad de la embaladora

Pacas/horas	9
Horas efectivas	11
Pacas totales	99
Pesos por pacas (ton/pacas)	0.417
Toneladas/días	41.283

Fuente: Elaboración propia.

Con la capacidad de pacas por horas de la máquina, se estima la cantidad que puede generar en un día, por un factor de horas efectivas de trabajo, considerando el peso promedio de las pacas de los ensayos realizados en 2018/2019. Para razón de cálculo, se estima una producción de 11 horas de un turno de 20 horas, se excluye las 4 horas de alimentación, tiempo descanso y mantenimiento. Una capacidad efectiva de trabajo baja equivalente al 55%. Con esta capacidad de trabajo, se estima la producción de 700 pacas/días o 289 toneladas por días, arriba del promedio de toneladas por días que se estimó en la tabla 12, de 262 ton/día. Al considerar el promedio como una medida para medir la demanda de maquinaria, podría cometerse el error de no considerar las demandas altas de maquinaria, en la figura 26 se muestra dos semanas donde la capacidad de las 7 embaladoras no alcanza para la cosecha del RAC disponible. En estos casos las horas efectivas de las máquinas tienen que incrementar su participación para cosechar en estas semanas.

El peso promedio de las pacas, el cual se muestra unos estadísticos de los datos obtenidos (figura 19). Donde el peso promedio de las pacas fue 0.4173 toneladas, con una desviación estándar de 0.0409

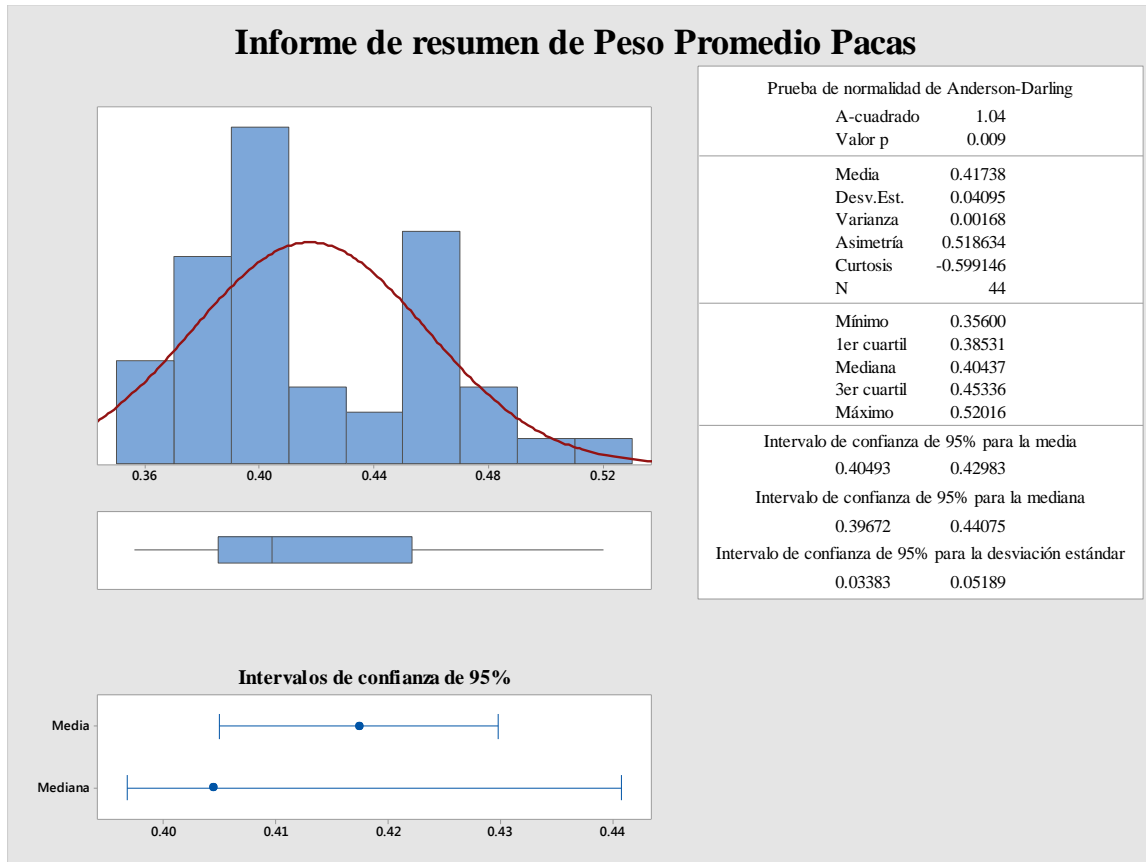


Figura 24. Peso promedio de las pacas.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

Con la capacidad de las máquinas de 41.28 toneladas por días, con el estimado de 289 toneladas por días. La cantidad de embaladoras necesaria son siete embaladoras que se presentan en el cuadro 14.

Cantidad de embaladoras: Cantidad de RAC día promedio/Capacidad de las embaladoras (ton/día).

Cantidad de embaladoras: $289/41.28 = 7.00$ embaladoras.

Esta cantidad de embaladoras es calculada, considerando una cosecha uniforme de RAC durante todo el periodo de cosecha, que son alrededor de las 19 semanas. Tomando en consideración el programa de cosecha de caña mecanizada, las cantidades de RAC es variable por semana. En los anexos 3 y la figura 25, se muestra el programa de cosecha de RAC, donde se observa que las cantidades de RAC por semana o días es variable.

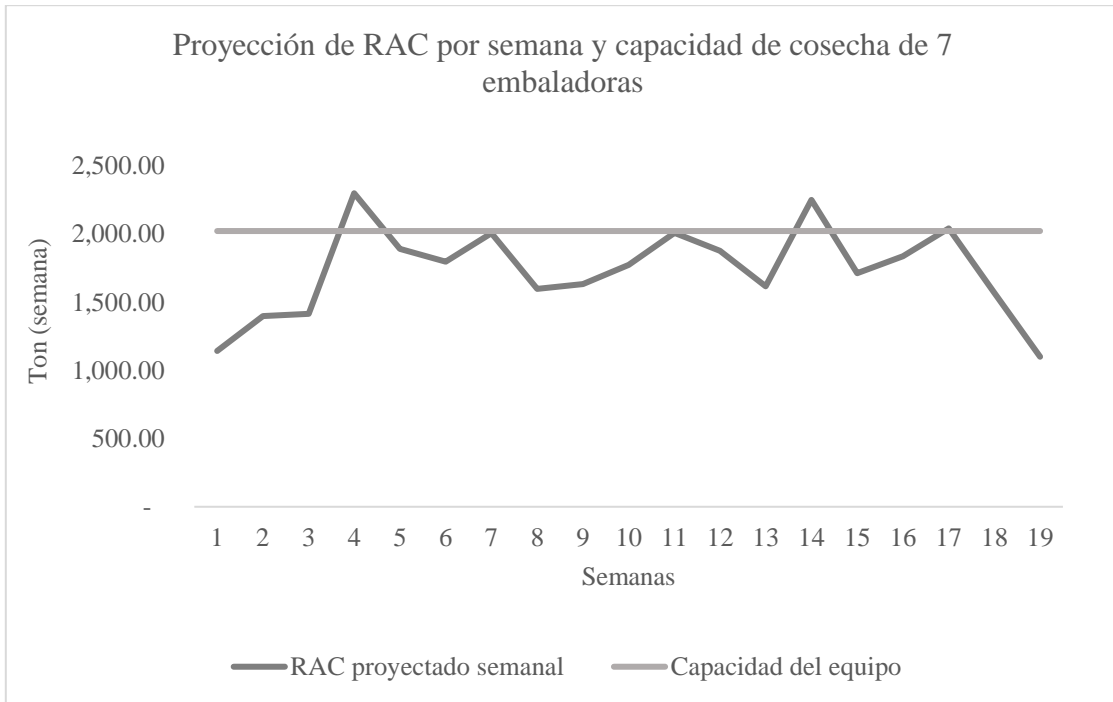


Figura 25. Proyección de cosecha de RAC por semana y capacidad en toneladas instalada de equipos.
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

Esta tendencia es similar con la demanda de embaladoras para aprovechar el RAC disponible en estas 4455.89 has. Tomando como parámetro la distancia del ingenio hacia las fincas que tiene una distancia de 30 km (ida y regreso). En la figura 26, se puede observar la demanda de embaladoras por semana necesarias para cosechar el RAC.

La tendencia semanal no es fija, existen demandas altas donde para poder cosechar es necesario las 8 embaladoras. En otras semanas la demanda es menor al promedio de embaladoras que se estimó anteriormente. Este ajuste es necesario realizarlo durante la planificación del programa de cosecha, que depende de otros factores propios de la organización.

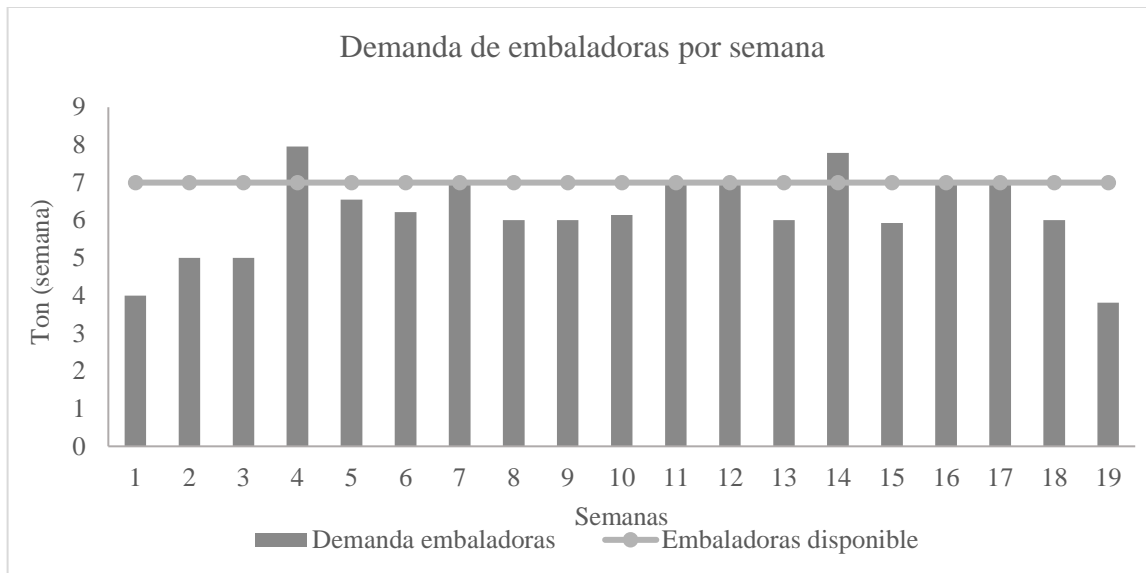


Figura 26. Demanda de embaladoras por semana y la cantidad promedio (8 embaladoras proyectadas).

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

Tractores para las embaladoras

En las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto se utilizaron tractores de 180 hp. El fabricante recomienda que la potencia del tractor en el PTO se ha. El seleccionar el tamaño ideal de la maquinaria es importante porque va a determinar la futura tarifa de uso (alquiler interno), el consumo de combustible y las futuras reparaciones. En el caso de las embaladoras, se utilizará un tractor de 150 hp, para elaboración del estudio se utilizará un tractor de la serie 6155J. Para el caso de estudio se consideró este modelo, pero podrían considerarse otras marcas con sus respectivos modelos. La cantidad de estos tractores depende de la cantidad de embaladoras a utilizar.

Tractores para movimiento interno

Para esto es necesario un tractor entre los 70 a 100 hp, este equipo acarrea a un *balle buggy* o una plataforma pequeña, donde son transportadas las pacas de las partes internas de los lotes hacia donde están el equipo de transporte.

Logística y transporte

El transporte de las pacas se realiza por medio de plataformas (figura 18). Estas tienen la capacidad de transportar treinta y dos pacas. La conformación de las plataformas con respecto a los camiones, varían de una a tres plataformas. Los viajes pueden variar entre a 32 a 96 pacas.

Esta dependerá, de las rutas de donde se transportará el equipo. En el anexo 3, se presenta la tabla de kilometrajes por lotes de RAC. En el anexo muestra la cantidad total de kilómetros proyectados para el 2018/2019, que son 71,000 kilómetros. En la figura 27, se muestra la cantidad de kilómetros necesarios por semana, necesarios para el transporte de las pacas.

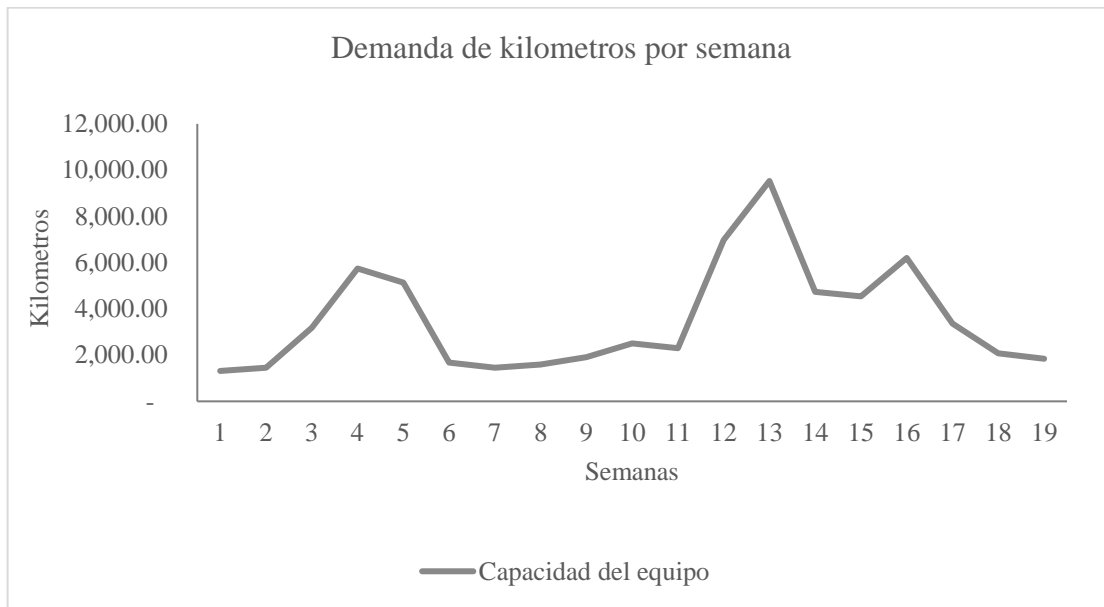


Figura 27. Curva de demanda de transporte en kilómetros durante las 19 semana de cosecha de RAC.
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

4.3 Estudio Económico-financiero.

En este capítulo se expone las variables financieras que fueron establecidas en el cuadro operacional (tabla 6). Con la finalidad de dar respuesta a la hipótesis planteada: si el proyecto es viable financieramente.

La evaluación económica implica la comparación de beneficios, costos de inversiones y su evaluación de indicadores financieros que determinar el impacto del proyecto. El proceso de evaluación económica consiste en modificar y complementar el flujo financiero para transformarlo en un flujo económico, (Sapag Chaín, Sapag Chaín, & Sapag Puelma, 2014).

Se determina la rentabilidad financiera a partir de los indicadores como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio – costo (B/C) (Sapag Chaín et al., 2014).

Antes de determinar los anteriores indicadores financieros es importante considerar las variables que determinan la entrada y salida de flujos como: las inversiones, los costos de operación, los ingresos del proyecto. Además de considerar que beneficio trae el proyecto a la organización. Los beneficios en la organización donde se realizó el estudio se enfocan en: aumento de la productividad y la reducción de costo.

En el caso del uso del RAC como una alternativa para la cogeneración de energía, se enfoca en la reducción de costo, si representa una nueva alternativa para generación de energía. También influye directamente en los ingresos de la empresa, porque representa más biomasa que puede ampliar el periodo de generación eléctrica.

Esto por el diferencial de precio que tendría al compararlo con la otra biomasa de origen de pino, que se describe en el estudio de mercado. Este diferencial en costo por el total de toneladas que se sustituya a la madera, daría como resultados los ingresos totales por concepto de reducción en costos.

El párrafo anterior describe las entradas de dinero para la organización. Pero los flujos tienen salidas de efectivo, en este caso son las inversiones iniciales que se realicen para iniciar la operación. Sumado a lo anterior, el costo de operación del proyecto, los costos financieros, otras series de gastos.

En el estudio técnico se determinó el potencial de la recolección del RAC en campo. Este dato será el punto de partida para el cálculo de las inversiones, costos y gastos de operación.

A. Inversión

La inversión del proyecto de RAC dependerá de las cantidades de hectáreas que estimen cada año cosechar. En el estudio técnico se determinó que las has de RAC con potencial para ser cosechada son 5,800 has. En el estudio técnico describe, que del total de las 5,800 has, alrededor del 23% están arriba de 15 km de carreta ida hacia el ingenio. Con estimado de producción de

7.40, el total de RAC a cosechar 32,973.59 toneladas. El equipo necesario calculado en el estudio técnico, se describe en la tabla 15.

Tabla 15. Inversión en equipo y maquinaria necesario para el proyecto.

Equipo	Costo (\$/unidad)	Cantidad (unidad)	Total (\$)
Embaladoras	35,000.00	7	245,000.00
Tractores 150 HP- con cabinas	120,000.00	7	840,000.00
Alzadora de 150 HP	80,000.00	2	160,000.00
Tractores movimiento. interno 90 HP	55,000.00	2	110,000.00
Plataforma para movimiento interno 5 ton	3,000.00	2	6,000.00
Total			1361,000.00

Fuente: Elaboración propia

Este es la principal salida de efectivo, la compra de equipo y maquinaria para la cosecha de RAC. Al final del periodo del proyecto, se considera un precio de venta de los equipos a un valor de mercado. Para efectos de análisis financiero se considera el 20% como valor terminal de la inversión.

B. Variables del proyecto

El proyecto inicia en 2019, con un horizonte de 10 años. La producción estimada es de 32,973.59 toneladas/has, el cual fue calculado en el estudio técnico. Se considera que la inversión es con capital propio, aportado por los socios como parte del programa de inversión anual. La estimación de los ingresos se dividió en dos partes: para el proceso agrícola y el proceso industrial.

La rentabilidad para el área agrícola como parte de un nuevo producto generado del proceso, que comercializara a fabrica. En el estudio mercado se describe que es una alternativa de biomasa para la generación de energía.

En el caso del área industrial el diferencial en utilidad con respecto a la biomasa de origen de madera, como factor de comparación.

El área agrícola entrega como producto la caña de azúcar al ingenio. El RAC representa un nuevo producto para comercializar, para esto se estimó un precio de 35 \$/toneladas. El precio de biomasa de origen de pino es de 40 \$/ton. En ambos precios se considera, colocada la biomasa en patio de biomasa del ingenio, sin considerar los costos de chipeado o picado. Este último costo se tomará en cuenta en el análisis financiero, desde la perspectiva de fábrica, como producto final flujo de energía.

B. Costos y gastos de Operación

La estimación de los costos y gastos de operación, fueron proporcionados por el área de finanzas de Azucarera La Grecia, con el apoyo de programa de SAP y PIMS. Para esto se proporcionó un centro de costo y operación donde eran dirigidos los gastos referentes al aprovechamiento del RAC. En la tabla 16, se observa el resumen de los gastos. La división de los costos es: mano obra, materiales, servicios externos y servicios internos.

Tabla 16. Costo por tonelada de RAC, dividida por componente en el área agrícola.

Meses	Diciembre			Enero			Febrero			Acumulado		
Descripcion	Costo (\$/ton)	Toneladas	Monto (\$)	Costo (\$/ton)	Toneladas	Monto (\$)	Costo (\$/ton)	Toneladas	Monto (\$)	Costo (\$/ton)	Toneladas	Monto (\$)
Mano de Obra	5.32	775	4,121	7.55	1,107	8,356	7.05	1,912	13,473	6.84	3,794	25,950
Materiales	3.03	775	2,352	4.25	1,107	4,704	4.99	1,912	9,535	4.37	3,794	16,591
Servicios Externos	1.69	775	1,307	0.68	1,107	748	0.18	1,912	348	0.63	3,794	2,403
Servicios Internos	3.33	775	2,578	2.01	1,107	2,222	1.58	1,912	3,030	2.06	3,794	7,829
Grand Total	13.36	775	10,357	14.48	1,107	16,031	13.8	1,912	26,386	13.91	3,794	52,774

Fuente: Elaboración propia, datos del departamento de finanzas de La Grecia.

La mano de obra se considera el salario de los operadores y del personal que colabora con el encarrilado manual del RAC. En los materiales se consideró los repuestos consumibles para mantenimiento preventivo, lubricantes y combustible, cabuya, etc. En los servicios externos se considera el alquiler de la maquinaria agrícola para la elaboración y transporte de pacas. Los servicios internos se considera alquiler de maquinaria interna. En el caso de la investigación se tomó el costo acumulado de los tres meses para estimar el costo por tonelada de RAC. El costo por tonelada de RAC es de 13.91 \$ para el año uno. En los demás años se considera un aumento de los costos de un 4%, el cual es considerado para el análisis del proyecto.

C. Ingresos por venta de RAC.

En este apartado se considera los ingresos de la venta del RAC, como una biomasa alternativa para el ingenio. A un precio de venta fijo de 35 dólares por tonelada de parte del proceso agrícola al proceso industrial.

Con esto la generación de energía del ingenio, se asegura estas 32,973.59 toneladas de biomasa a un precio fijo, a un costo menor que la biomasa de madera. En la tabla 17. se muestra los ingresos por venta de RAC, en un horizonte de 10 años.

Tabla 17. Estimado de ventas del RAC a industria (CELSUR).

Ingreso brutos por venta de RAC a Fabrica					
(\$/años)	1	2	3	4	5
Capacidad de producción de RAC	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59
Precio (\$/toneladas)	35	35	35	35	35
Total ingreso	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65
Ingreso brutos por venta de RAC a Fabrica					
(\$/años)	6	7	8	9	10
Capacidad de producción de RAC anual	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59
Precio (\$/toneladas)	35	35	35	35	35
Total ingreso	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

En la utilidad neta, durante todos los años del horizonte del proyecto es positiva. En el año uno presenta la mayor utilidad, esto porque el costo de operación es menor, conforme pasan los años aumenta por el efecto de la inflación estimada del 4%. Al establecer un precio fijo de la biomasa durante los diez años que se evalúa el proyecto, reduce la utilidad.

En el cuadro 17, se describe la cantidad de capital por concepto de venta de RAC del proceso agrícola al industrial. En el cuadro 16, se muestra la costos y gastos por mes. Tomando en cuenta estas dos variables, se podrá obtener un análisis que posteriormente se mostrarán.

C. Análisis del estado de resultados

En el estado de resultados se incluye el total de los ingresos percibidos por la venta del RAC. Se considera como salidas de activos a: depreciaciones y gastos financieros, los costos y gasto. Como entrada de efectivo la venta del RAC a la fábrica.

Tabla 18. Flujo de efectivo de las ventas de RAC de agrícola a industria.

Ingreso brutos por venta de RAC a Fabrica					
(\$/años)	1	2	3	4	5
Ingresos	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65
Costos y Gastos					
Total Gastos	458,332.85	476,666.16	495,732.81	515,562.12	536,184.60
Depreciaciones	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00
Gastos financieros					
Utilidad antes ISR	559,642.80	541,309.49	522,242.84	502,413.53	481,791.05
ISR	167,892.84	162,392.85	156,672.85	150,724.06	144,537.31
Utilidad Neta	391,749.96	378,916.64	365,569.99	351,689.47	337,253.73
(\$/años)	6	7	8	9	10
Ingresos	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65	1154,075.65
Costos y Gastos					
Total Gastos	557,631.99	579,937.27	603,134.76	627,260.15	652,350.55
Depreciaciones	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00
Gastos financieros					
Utilidad antes ISR	460,343.66	438,038.38	414,840.89	390,715.50	365,625.10
ISR	138,103.10	131,411.52	124,452.27	117,214.65	109,687.53
Utilidad Neta	322,240.56	306,626.87	290,388.63	273,500.85	255,937.57

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

C. Flujo de efectivo

Al analizar los ingresos y salidas del efectivo, para determinar la capacidad del proyecto de generar efectivos. En todos años del horizonte del proyecto genera flujos de cajas positivos. Considerando los resultados de la utilidad neta que está influenciada por el precio fijo de venta de la biomasa de RAC y del aumento del costo por una tasa de inflación anual de 4%, durante todo el horizonte del proyecto. En el caso del valor residual, se considera el 20% del valor total de la inversión.

Tabla 19. Flujo de efectivo de las ventas de RAC de agrícola a industria.

Meses	0	1	2	3	4	5
Resultado del Ejercicio	391,749.9632	378,916.6435	365,569.9911	351,689.4725	337,253.7332	
Depreciaciones	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00
Flujo de Efectivo Operativo	527,849.9632	515,016.6435	501,669.9911	487,789.4725	473,353.7332	
(-) Inversiones	1361,000.00					
(+) Prestamos						
(-) Abono a Capital						
(+) Recuperación de Capital de Trabajo						
(+) Valor Residual de las Inversiones						
Flujo de Caja Neto (FCN)	-1361,000.00	527,849.96	515,016.64	501,669.99	487,789.47	473,353.73

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

Tabla 20. Flujo de efectivo de las ventas de RAC de agrícola a industria.

Meses	6	7	8	9	10
Resultado del Ejercicio	322,240.5644	306,626.8687	290,388.6253	273,500.8521	255,937.5680
Depreciaciones	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00	136,100.00
Flujo de Efectivo Operativo	458,340.5644	442,726.8687	426,488.6253	409,600.8521	392,037.5680
(-) Inversiones					
(+) Prestamos					
(-) Abono a Capital					
(+) Recuperación de Capital de Trabajo					
(+) Valor Residual de las Inversiones					272,200.00
Flujo de Caja Neto (FCN)	458,340.56	442,726.87	426,488.63	409,600.85	664,237.57

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Azucarera La Grecia.

C. Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recorte de la inversión.

Con el flujo de efectivo generado por las ventas de RAC por agrícola al proceso de fábrica, y considerando las salidas de efectivos como la inversión, costos y los gastos. Fue una herramienta para analizar el proyecto con otros indicadores financieros.

En el caso del valor presente neto (VPN), considerando los flujos de los 10 años, con una tasa de descuento del 10.10%, la cual es utilizada por la organización para el análisis de proyecto, el resultado fue positivo, creando valor para la organización. El valor del VPN fue de arriba de 1.5 millones dólares, es mayor a cero, por lo tanto, genera mayor utilidad que la que rentabilidad esperada.

Al analizar la tasa interna de retorno (TIR), considerando las siguientes afirmaciones: Si la TIR, es mayor o igual al retorno esperado por la organización, la cual es del 10.10%. El proyecto se considera viable. Si la TIR es menor a la tasa de retorno esperada, la mejor decisión sobre el proyecto es no hacerlo. Con los flujos obtenidos, la TIR del proyecto es de 40%, mayor a la tasa esperada de retorno. Considerando esta variable el proyecto es viable.

Al analizar la tasa interna de retorno (TIR), considerando las siguientes afirmaciones: Si la TIR, es mayor o igual al retorno esperado por la organización, la cual es del 10.10%. El proyecto se considera viable. Si la TIR es menor a la tasa de retorno esperada, la mejor decisión sobre el proyecto es no hacerlo. Con los flujos obtenidos, la TIR del proyecto es de 40%, mayor a la tasa esperada de retorno. Considerando esta variable el proyecto es viable.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI), es otras de las variables que se estimaron con el fin de evaluar el proyecto. Para esto se tomó los flujos generados cada año, y restarlo a la inversión inicial. En la tabla muestra los resultados del PRI.

Análisis financiero - generación eléctrica

Anteriormente se analizó el RAC, desde su planificación, producción y comercialización de agrícola. El RAC según los costos para agrícola es de 14 \$/toneladas. Este es un 65% menos costos que la biomasa de origen de madera.

El anterior costo es incluir el picado, el cual para la biomasa de pino es de 15 \$/toneladas y en el caso del RAC es de 8.75 \$/tonelada, este según datos del departamento de energía de Azucarera La Grecia. En total los costos de biomasa antes de entrar a caldera, se describe en el cuadro en tabla 21.

Tabla 21. Cuadro comparativo del costo de la biomasa de RAC y de pino.

Biomasa	Costo en Patio (\$/ton)	Costo de Picado (\$/ton)	Costo Total (\$/ton)
RAC - a LG	13.91	8.75	22.66
RAC-a fabrica	35	8.75	43.75
Madera de pino	40	15	55.00

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por azucarera La Grecia.

En el cuadro anterior, el RAC presenta dos costos, el primero RAC-LG, es el costo para La Grecia. El segundo es el costo, para la fábrica, aquí va incluido el margen de utilidad que agrícola le obtiene a beneficio del proceso productor.

Según el departamento de energía de azucarera La Grecia, para hacer la comparación de biomásas es necesario tener un punto de partida. En este caso será el bagazo, esto porque la caldera de generación de energía está diseñada para bagazo.

La caldera demanda una cantidad de 900 toneladas por día de bagazo, el cual tiene un poder calorífico de alrededor de los 4000 BTU/lb. Con esta cantidad de bagazo el sistema tiene una capacidad de generación de 420,000 kWh por día. Es decir,

$$kWh. ton bagazo = \frac{420,000 kWh}{900 ton bagazo} = 466 kWh. bagazo$$

En los resultados del estudio técnico, el RAC tiene un poder calorífico de 6200 promedio es decir un 55% más que el bagazo.

$$Relación \frac{RAC}{bagazo} = \frac{6204.5 BTU}{4000 BTU} = 1.55$$

La energía que se puede generar con el RAC es mayor que con el bagazo, se ilustra en la siguiente operación:

$$kWh. toneladas de RAC = 1.55 \times 466 kWh = 722$$

Con una tonelada de RAC, en términos teóricos se genera 722 kWh. En el departamento de energía tienen este número estandarizado a 600 kWh por tonelada de RAC, esto por ciertas características físicas y químicas del RAC (que no fueron parte del estudio). Esto por la pérdida de energía en la eficiencia del sistema de 0.875, este factor fue proporcionado por el departamento técnico de energía de La Grecia.

$$kWh RAC = 600 \times 0.875 = 525 kWh$$

Con el estimado de 525 kWh por la cantidad de potencial de RAC (32,973 ton), se generaría 17,311,132.65 kWh o el equivalente a 40 días más de generación de energía con una producción diaria de 420,000 kWh.

En el caso de biomasa de pino, el cual el estudio técnico, describe que su BTU promedio es de 6600. Con respecto a esta biomasa, el departamento de energía, tiene estimado 600 kWh por tonelada de biomasa de pino.

El precio por cada kWh es de 0.15\$, es decir,

$$\text{\$ energia. ton RAC} = 525 kWh \times 0.15\$/kWh = 78.75\text{\$}$$

En el caso de la madera de pino sería de 90.00 \$ toneladas.

Lo anterior describe, los ingresos de estas biomásas por tonelada utilizada. A continuación, se describe, el costo de este kWh según estos dos tipos de biomasa. Para esto se tomará en cuenta los dos costos de RAC que se mencionan en la tabla 22.

Tabla 22. Cuadro comparativo de costos toneladas de biomasa, costo kWh y margen de utilidad por kWh.

Biomasa	Costo en Patio (\$/ton)	Costo de picado (\$/ton)	Costo Total (\$/ton)	kWh/Ton	Costo (\$/kWh)	Precio (\$/kWh)	Diferencia (\$/ton)
RAC - a LG	13.91	8.75	22.66	525.00	0.04	0.15	0.11
RAC-a fabrica	35	8.75	43.75	525.00	0.08	0.15	0.07
Madera de pino	40	15	55.00	600.00	0.09	0.15	0.06

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por azucarera La Grecia.

En la tabla anterior, describe que la madera tiene mayor capacidad de generación de energía (kWh/tonelada), pero el costo es mayor por la misma unidad de medida, en el caso de RAC los márgenes de utilidad es mayor al precio de 35\$ toneladas, tiene un margen 0.01 centavos de dólar.

Desde el punto de vista de la empresa, estableciendo el costo del RAC, sin un margen de utilidad del proceso donde se generó, es de 0.05 centavos de dólar mayor que la madera.

Tabla 23. Cuadro comparativo de biomasa de RAC a precio de costo, precio fijado y biomasa de origen de pino.

Biomasa	Toneladas Biomasa	kWh/Ton	kWh potencial proyecto	Precio (\$ kWh)	Total venta (\$)	Costo (\$/kWh)	Costo Total (\$/ton)	Utilidad (\$)
RAC - a LG	32,973.59	525.00	17311,132.65	0.15	2596,669.90	0.04	747,181.46	1849,488.44
RAC-a fabrica	32,973.59	525.00	17311,132.65	0.15	2596,669.90	0.08	1442,594.39	1154,075.51
Madera de pino	32,973.59	600.00	19784,151.60	0.15	2967,622.74	0.09	1813,547.23	1154,075.51

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por azucarera La Grecia.

Cuando se hace el análisis de comparación de la capacidad energética de las biomásas en comparación, incluyendo la variable de capacidad de generación por tonelada según su poder calorífico y el costo de cada biomasa.

Se observa que, si el proyecto se lograra aprovechar el 77% del potencial de RAC es decir unas 32,973 ton de RAC, comparado con la biomasa de pino con el mismo volumen un margen de utilidad de (\$1,849,488.44-\$1,154,071.51) de 645 mil dólares. Lo anterior para un periodo, para el estudio en el tiempo tiene considerarse la variabilidad del costo de ambas biomásas u otra que ofrezca el mercado. Con el precio establecido en el contrato.

En la tabla 23, se muestra los resultados de comparación de la biomasa de pino y RAC a un periodo de 10 años. Para esto se estableció un precio fijo del RAC de 35\$/ton y 40\$/ton de pino. El precio del picado en dólares por toneladas de RAC de 8.75 y el de pino de 15.00, con un incremento en costo del 4%. La generación de energía por tonelada de biomasa se muestra en la tabla 23. Con una base de cantidad de biomasa, la calculada en el estudio técnico de 32,973.59 toneladas de biomasa.

Tabla 24. Cuadro comparativo de biomasa de RAC a precio fijado con el costo de la biomasa de pino.

Variables	Comparación a 10 años de biomasa de RAC y Pino									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio fijado RAC (\$/ton)	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Costo del picado RAC (\$/ton)	8.75	9.10	9.46	9.84	10.24	10.65	11.07	11.51	11.97	12.45
Costo Total RAC (\$/ton)	43.75	44.10	44.46	44.84	45.24	45.65	46.07	46.51	46.97	47.45
Costo pino (\$/ton)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Costo picado pino (\$/ton)	15.00	15.60	16.22	16.87	17.55	18.25	18.98	19.74	20.53	21.35
Costo total pino (\$/ton)	55.00	55.60	56.22	56.87	57.55	58.25	58.98	59.74	60.53	61.35
Costo RAC (\$/Kwh)	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Costo pino (\$/Kwh)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Toneladas proyectadas	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59
Energía por RAC (Kwh)	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65
Energía por pino (Kwh)	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60
Costo energía RAC (\$)	1442,594.39	1454,135.14	1466,137.53	1478,620.01	1491,601.79	1505,102.84	1519,143.93	1533,746.67	1548,933.52	1564,727.84
Costo energía pino (\$)	1813,547.23	1833,331.38	1853,906.90	1875,305.44	1897,559.92	1920,704.58	1944,775.02	1969,808.29	1995,842.88	2022,918.86
Ingresos energía RAC (\$)	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90
Ingresos energía pino (\$)	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74
Utilidad energía RAC (\$)	1154,075.51	1142,534.75	1130,532.37	1118,049.89	1105,068.11	1091,567.06	1077,525.96	1062,923.23	1047,736.38	1031,942.06
Utilidad energía pino (\$)	1154,075.51	1134,291.36	1113,715.84	1092,317.30	1070,062.82	1046,918.16	1022,847.72	997,814.45	971,779.86	944,703.88
Delta de utilidad (\$)	-	8,243.40	16,816.53	25,732.59	35,005.29	44,648.89	54,678.25	65,108.77	75,956.52	87,238.18

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por azucarera La Grecia.

En la siguiente tabla, se describe los análisis financieros, por medio de una plantilla de análisis valuación de proyectos, utilizada por la organización. Se tomó en cuenta los ingresos en reducción de costo por toneladas de biomasa, comparando los precios de la tonelada de Pino y RAC antes de entrar a caldera. Otros, de los ingresos, fue el diferencial en utilidad por precio kWh por ambas biomasa. La tasa de descuento que se utilizo fue de 10.10%, la cual es utilizada por la organización para evaluar los proyectos de inversión, a un plazo de 10 años. Con valor terminal de la inversión del 20%, impuestos sobre la renta del 30% y utilizando la depreciación lineal en la inversión.

El resultado de la evaluación del proyecto se presenta en la tabla 25, calculada a partir de los flujos presentados en la tabla 26.

Tabla 25. Resultados de la evaluación financiera del proyecto.

Resultados del Análisis		
NPV	US\$K	\$ 2,430,385
IRR	%	48.79%
EBITDA	US\$K	\$ 688,362.00
<i>Payback</i> (años)	años	2.1

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por azucarera La Grecia.

Tabla 26. Evaluación de proyecto incluyendo, ingresos por reducción de costo en precio por tonelada de biomasa y por diferencial en costo por kWh.

		Valuación de Inversión										
Inversión	US\$	1361,000										
Tiempo de Depreciación	Años	10										
% Mantenimiento	%	0%										
% Mantenimiento Sistema de riego	%											
Tasa de Crecimiento en Mantenimiento	%	3%										
Tax Rate	%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Ingreso marginal azúcar	US\$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingreso marginal melaza	US\$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingreso marginal energía	US\$	1154,076	1142,535	1130,532	1118,050	1105,068	1091,567	1077,526	1062,923	1047,736	1031,942	
Ingreso marginal Potencia	US\$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ingreso por Reducción de Costo	US\$	695,743	677,409	658,343	638,514	617,891	596,444	574,138	550,941	526,816	501,725	
Ingreso Marginal Proyecto	US\$	-	1849,818	1819,944	1788,875	1756,563	1722,959	1688,011	1651,664	1613,864	1574,552	1533,667
Mantenimiento Marginal	US\$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Costo Materiales + Costo Fabricación	US\$	-	865,557	865,557	865,557	891,523	918,269	945,817	974,192	1003,417	1033,520	1064,525
Costo M.O CAT	US\$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Costo Operativo	US\$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Costos Marginales	US\$	-	865,557	865,557	865,557	891,523	918,269	945,817	974,192	1003,417	1033,520	1064,525
EBITDA Marginal	US\$	-	984,262	954,388	923,319	865,040	804,690	742,194	677,473	610,447	541,032	469,142
Depreciación	US\$	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100
EBIT Marginal	US\$	-	848,162	818,288	787,219	728,940	668,590	606,094	541,373	474,347	404,932	333,042
Impuestos Marginales	US\$	-	254,449	245,486	236,166	218,682	200,577	181,828	162,412	142,304	121,480	99,913
Utilidad Neta Marginal	US\$	-	593,713	572,801	551,053	510,258	468,013	424,266	378,961	332,043	283,452	233,129
Utilidad Neta	US\$	-	593,713	572,801	551,053	510,258	468,013	424,266	378,961	332,043	283,452	233,129
(+) Depreciaciones	US\$	-	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100	136,100
(-) Inversión 2018	US\$	1361,000										
Flujo de Caja Libre	US\$	(1361,000)	729,813	708,901	687,153	646,358	604,113	560,366	515,061	468,143	419,552	369,229
Flujo de Caja Acumulado	US\$	(1361,000)	(631,187)	77,715	764,868	1411,226	2015,339	2575,704	3090,765	3558,908	3978,460	4347,689
Valor Terminal	20% US\$											272,200,00
Flujo de Caja Libre para Valuación	US\$	(1361,000)	729,813	708,901	687,153	646,358	604,113	560,366	515,061	468,143	419,552	641,429

Fuente: La Grecia, modelo financiero de valuación de proyecto.

La tabla anterior, es un modelo para la evaluación de proyecto. La inversión es el capital necesario para la compra del equipo y maquinaria para labor de la fabricación de las pacas en campo. Los ingresos se dividen en dos partes: el primer ingreso es el equivalente al diferencial de costo entre la biomasa de madera comparada con el costo de realizar la biomasa de RAC. El segundo ingreso es por generación de energía a partir de las 33 mil toneladas de RAC, el cual es de más 17 millones de kWh, por el precio fijado en contrato. En el modelo financiero, se incluye los costos de generación el cual, según el departamento de energía de la empresa, ronda en los 0.05 \$/kWh, este costo se le aplicó un aumento del 3% anual. Los costos de elaboración de las pacas, ya están incluidos en el ingreso marginal por reducción de costo. La depreciación de los equipos y maquinaria para las pacas y le valor terminal de un 20% al final del periodo. A lo largo de horizonte del proyecto se observa flujos positivos, los resultados que se muestra en la tabla 25.

CAPÍTULO V. APLICABILIDAD

Este proyecto confirma que existen alternativa para la generación de energía eléctrica en Honduras. La energía a base de biomasa es una fuente renovable, cultivos como la caña de azúcar son una fuente de aprovechamiento de la energía proveniente del sol. Honduras es un país de vocación agrícola, y se ha limitado a la producción de materias primas. Por medio de estudios, se puede determinar el potencial de Honduras en producir material bioenergético, diversificar la producción agrícola. Honduras, podría establecerse metas a un mediano plazo de convertirse en un país, donde su dependencia energética sea a base de recursos naturales renovables.

Para la industria azucarera también ofrece una alternativa en la cartera de negocios. La creación de ingresos que mejore las finanzas, con la variabilidad de los precios del azúcar en el mercado.

Los datos arrojados en el estudio de factibilidad del uso de rastrojo agrícola de caña como biomasa alternativa en la generación de energía eléctrica, constituyen la base para la elaboración de un plan de negocios para Azucarera La Grecia, el cuál puede ser útil como instrumento de control y evaluación, mediante la comparación de resultados obtenidos con los esperados, también permitirá planificar el uso de los recursos y pasos a seguir para lograr la eficiencia del proyecto.

El plan de negocios es una herramienta cuya función es informar y orientar el proceso de la toma de decisiones en la empresa. Además, puede considerarse un instrumento capaz de convencer a los inversionistas sobre la bondad de la iniciativa (Balanko-Dickson, 2008).

Se sugiere que el plan de negocio incluya las siguientes secciones:

1. Resumen ejecutivo.

En él se resumen todas las secciones del plan, incluye una descripción breve de la iniciativa, las razones, la inversión necesaria y la rentabilidad del proyecto.

2. Aspectos generales de la empresa.

Por ser una empresa con trayectoria, describir de forma general las actividades desarrolladas hasta la fecha y detallar productos vendidos.

3. Análisis del mercado.

Este apartado deberá contener, los aspectos más relevantes del mercado energético, que, debido a las características particulares del sector eléctrico nacional, el análisis de mercado se

orienta desde dos puntos de vista: Desde el punto de vista externo, mediante análisis de demanda de energía a nivel nacional y tendencias en la compra de energía según la fuente de generación, así como precios de venta del kWh a la ENEE. Desde el punto de vista interno, se analiza las fuentes de biomasa utilizadas por la empresa, incluyendo costos, características y rendimiento, *partners* (otras plantas que venden a la ENEE).

4. Operaciones y administración.

Muestra cómo se administrará el proyecto, estructura (personal necesario en el proceso productivo/puesto de trabajo/cantidad), responsabilidades y funciones. Este incluye una descripción breve de la localización, tamaño del proyecto, inversiones (listado de maquinaria con posibles proveedores).

5. Plan de implementación.

Explica como utilizará al personal y al equipo.

Además, debe incluir el diagrama de procesamiento del RAC.

6. Plan financiero.

Incluye estados financieros, costos de operación y producción, estado de resultado, flujo de caja y análisis de indicadores financieros, como: VPN y TIR.

7. Plan de contingencia.

Se identifican los riesgos potenciales de la utilización del RAC y su plan para reducirlos o eliminar los riesgos y amenazas identificadas.

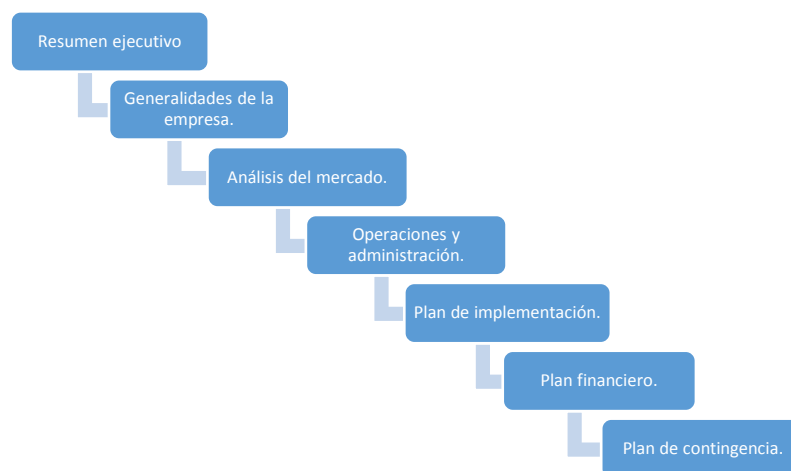


Figura 28. Secciones del plan de negocio.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

a. En la parte técnica, el RAC, se estudiaron las variables como el poder calorífico, el porcentaje de humedad, el periodo de cosecha, las cantidades potenciales de RAC, los rendimientos por unidad de área. En el caso del poder calorífico la media fue de 6200 BTU por libra de biomasa, comparada con el bagazo supera. Al comparar el poder calorífico del RAC con la madera de pino es menor, pero su porcentaje de humedad es menor, esto contribuye a la eficiencia del combustible. La humedad promedio fue de 10.83% un 13 % menos a la humedad de madera.

b. Existe una oportunidad en campo de poder cosechar más de 32 mil toneladas de RAC, para esto es necesario realizar una inversión cercana a los \$1.4 millones en equipo y maquinaria. En área representa 4,400 has a una distancia que no excede a los 30 km del ingenio. El rendimiento por hectáreas en los lotes donde se extrajo el RAC durante la investigación fue de 7.2 toneladas/has.

c. En el estudio financiero se tomaron en cuentas variables como el costo de las biomásas para para generación de energía. Estableciendo un costo de RAC antes del proceso de picado de 13.91 \$/tonelada esto para el proceso agrícola, dueño de áreas donde se extrajo el RAC. Además el responsable de la cosecha, alce y transporte de este material al ingenio. Para establecerle un retorno al área agrícola se estableció un precio de venta de 35 \$/ton, el cual es 5 dólares menos que el costo de la tonelada de pino. Para esto es necesario que agrícola realice la inversión. Los flujos generados, dan como resultados una TIR: 35%, un VPN de: \$ 1,663,164.84.

d. La inversión necesaria para poder aprovechar todo el potencial de RAC, de las más de 4400 has o de las 32 mil toneladas de RAC es de alrededor de los 1,37 millones de dólares, que serviría para la compra de equipo y maquinaria para la cosecha del RAC.

e. Al incluir la oportunidad de generación de energía a un menor costo, las variables financieras mejoran. En el técnico se estableció que la madera de pino tiene mejor eficiencia de generación de energía. Una tonelada de RAC, genera 525 kWh, la tonelada de la madera de pino genera 600 kWh. El costo del kWh generado por RAC, tiene un valor de 0.08 centavos de dólar al

precio de 35\$ que vendería agrícola al ingenio, en el caso del pino es de 0.09 centavos de dólar. Este diferencial en costo, según los análisis financieros mayores rendimientos en las utilidades. Los indicadores financieros mejoraron al incluir estos ingresos.

Al unir los ingresos por reducción de costo en la compra de biomasa más barata y el excedente en utilidades por la venta de energía a un menor costo de biomasa. La TIR del proyecto fue del 48.79%, con un VAN de 2,430,385\$.

g. En base al análisis de los hallazgos en el estudio de mercado, técnico y financiero se puede inferir que el uso de RAC para la generación de energía eléctrica en Azucarera la Grecia es una alternativa competitiva y viable tanto en el aspecto técnica como en el económico-financiero por lo que se aceptan las hipótesis planteadas.

6.2 Recomendaciones

a. Es estrictamente necesario la realización de mantenimiento preventivo de los equipos y una frecuente revisión mecánica para evitar fricciones entre el rastrojo y las partes de rodamientos de las máquinas.

b. Se preciso la implementación del encarrilado alineado utilizando personal, para disminuir la cantidad de suelo que es arrastrado durante la recolección del rastrojo

c. Es necesario realizar un estudio de caracterización de la biomasa donde se puedan conocer otras características físicas y químicas importantes en los biocombustibles (ver anexo 7).

d. Analizar financieramente si lotes con bajo porcentaje de biomasa por hectáreas es recomendable realizar la labor de embalaje. Realizar un umbral de cuantas toneladas por has, es factible cosechar el RAC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Hondureña de productores de energía eléctrica. (2018). Marco Legal Sector Eléctrico de Honduras. Recuperado 16 de febrero de 2019, de ASOCIACION HONDUREÑA DE PRODUCTORES DE ENERGIA ELECTRICA website: <http://www.ahpeehn.org/marco-legal/>
- Azucarera La Grecia. (2018). *Informe del departamento de Energía*. Marcovia, Choluteca.
- Balanko-Dickson, G. (2008). *Cómo preparar un plan de negocios exitoso*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191874>
- Calderón, A. (2015). *Estimación de la disponibilidad de biomasa forestal para la generación de energía eléctrica en 10 zonas priorizadas*. Recuperado de <http://clifor.hn/wp-content/uploads/2016/07/Informe-final-estudio-biomasa-ACalderon-final.pdf>
- Camargo, N., & Williams, D. (2012). Using agricultural waste for the production of biofuels (departamento del Meta - Colombia). *Tecnura*, 16(34), 142-156.
- Muñoz, C. (2015). *Metodología de la investigación*. Recuperado de https://books.google.hn/books?id=DflcDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=investigacion&f=false
- Carvajal, A. (2009). *Características de las mezclas bagazo/residuos como combustible de calderas*. 1, 11.
- Chicas, J. M. (2011). Bioenergy International nº10. Recuperado 15 de febrero de 2019, de Issuu website: https://issuu.com/avebiom/docs/bie_n_10_online
- Cogollo, J. P. B., & Camacho, Y. S. H. (2013). *Análisis de viabilidad de la utilización de biomasa para la generación de energía en la sede Utopía de la Universidad de la Salle*. 97.

- CONADESUCA. (2015). *Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tcnica_Ca_a_de_Azucar.pdf
- Córdoba Padilla, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3197583>
- Diario El Heraldo. (2018). Conozca cómo se divide la Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado 21 de marzo de 2019, de Diario El Heraldo website: <https://www.elheraldo.hn/economia/1228509-466/conozca-cómo-se-divide-la-empresa-nacional-de-energía-eléctrica>
- Elías Castells, X. (2012). *Biomasa y bioenergía*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3201239>
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Gobierno de la República de Honduras. (2019). Recuperado 2 de marzo de 2019, de <http://www.enee.hn/index.php/component/content/article/156-periodistas/1527-matriz-energetica-renovables-remontan-generacion-termica-71-por-ciento-de-la-generacion-nacional-proviene-de-plantas-de-energia>
- ENEE. (2018). *Boletín estadístico diciembre*. Recuperado de <http://www.enee.hn/planificacion/2019/Boletin%20Estadistico%20Diciembre2018.pdf>
- Feijóo, E. (2015). Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de caña de azúcar de Tucumán. Recuperado 20 de febrero de 2019, de ResearchGate website: https://www.researchgate.net/publication/312032116_Caracteristicas_energeticas_de_los_residuos_agricolas_de_la_cosecha_en_verde_de_cana_de_azucar_de_Tucuman

- Flores, W. C. (s. f.). *El sector energético de Honduras: Diagnóstico y política energética*. 21.
- García Garrido, S. (2015). *Centrales Termoeléctricas de Biomasa* (1.^a ed., Vol. 1). Renovetec.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3224545>
- Irrarazabal, M. (2017). *Método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas: caso municipalidad distrital de Colquepata*. (San Agustín de Arequipa.). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5336/IIMcairmg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lanza, O. (2017). El gorgojo genera ganancias extraordinarias - Diario La Tribuna. Recuperado 9 de marzo de 2019, de <http://www.latribuna.hn/2017/02/15/gorgojo-genera-ganancias-extraordinarias/>
- Marco, L. (s. f.). *Generación de Energía eléctrica a partir de biomasa, experiencias y actualidad en Argentina*. 20.
- Organización Internacional del Azúcar reduce previsión superávit a 8,5 mln ton. (2018). Recuperado 25 de marzo de 2019, de <https://lta.reuters.com/articulo/azucar-conferencia-iso-idLTAKBN1IA291-OUSLB>
- Porter, M. E. (2015). *Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior* (2a. ed.). Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4824579>
- ProHonduras. (s. f.). Recuperado 9 de marzo de 2019, de <http://prohonduras.hn/index.php/espanol/34-energia>

Puentes Montañez, G. A. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios*.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3197336>

Salazar, I. P. (2010). *Guía práctica para la identificación, formulación y evaluación de proyectos*. Universidad del Rosario.

Sapag Chaín, R. (2012). *Preparación y evaluación de proyectos: nociones básicas*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4735066>

Solares, M. M. (2016). *Guía para el aprovechamiento del RAC como un biocombustible*. 86.

Velázquez Martí, B. (2006). *Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética*. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3168128>

Zelaya, R. (2016). *Energy Use and Recovery from Biomass and Biogas*. 37, 6.

ANEXOS

Anexo 1. Características de las embaladoras o empacadoras para el rastrojo de RAC.

Empacadora 569 Serie 9	
TAMAÑO DEL ROLLO	
Diámetro	813 a 1829 mm
Ancho	1565 mm
Peso máximo	1100 kg
DIMENSIONES	
Largo con compuerta cerrada	3708 mm
Largo con compuerta abierta	4750 mm
Alto con compuerta cerrada	2794 mm
Alto con compuerta abierta	3683 mm
Ancho con cubiertas alta flotación	2845 mm
RECOLECTOR NORMAL	
Ancho – Interior	1560 mm
Ancho – Exterior	1803 mm
Cantidad de barras/dientes	4/96
Separación entre dientes	66 mm
Diámetro de barra limpiadora	254 mm
RECOLECTOR MEGAWIDE PLUS™	
Ancho – Interior	1950 mm
Ancho – Exterior	2200 mm
Cantidad de barras/dientes	4/120
Separación entre dientes	66 mm
Diámetro de barra limpiadora	254 mm
CORREAS DE FORMACIÓN	
Cantidad	8
Ancho	178 mm
Tipo	De nylon y poliéster, tres telas, superficie romboidal, empalmes con pasadores planos
Largo	1335,5 cm (dos correas) 1347,5 cm (cuatro correas)
MECANISMO DE ATADO	
Control	Automático, con prefijado del tamaño
Tipo	Brazos de hilos dobles accionados eléctricamente
Espaciamiento del hilo	Ajustable con infinitas variables
Atado con red	Opcional
RODADOS	
Dimensiones	14 L-1 6.1
TOMA DE FUERZA	
Requerimiento de potencia	56 kW (75 hp)
Régimen	540 rpm
Protección del mando	Embrague de seguridad

Fuente: página oficial de John Deere

Anexo 2. Cotización embaladoras o empacadoras para el rastrojo de RAC.

CAMOSA Camiones y Motores S.A.

PROPUESTA

Cotizado a: Azucarera la Grecia
Atención a: Ing. HCRubio
Fecha: 5-Marzo-21
Validez: 15 días

Disponibilidad: Inmediata previa venta

EMBALADORAS DE PACAS REDONDAS MARCA JOHN DEERE, MODELO 569



Pacas	
Tamaño	
Diámetro	32.72in
Ancho	62in
Peso	
En cultivo seco	2200lb
Para ensilaje	2400lb



TEGUICHALPA SAN PEDRO SULA JUTICALPA TOCOTA CATACAMAS YORO OHUILTECA

CAMOSA Camiones y Motores S.A.

Embaladora	
Peso	6620lb
Longitud	
Compuerta cerrada	146in
Compuerta abierta	187in
Altura	
Compuerta cerrada	110in
Compuerta abierta	145in
Ancho	131in
Formación de pacas	
Cámara de conformado	Variable
Bandas-otros	
Cantidad	8
Resistencia	Armadura tripe
Ancho	7in
Longitud	Cuatro: 525in
Textura	Diamante
Empalmes de banda	Tipo placa
Control de densidad	Hidráulico
Indicador de tamaño	Indicador electrónico en monitor
Regulador Mega Ancho	
Ancho	
Interno	61in
Externo	71in
Mando	Cadena de rodillos con embrague deslizante
Barras	4
Cantidad de dientes regulares	80
Cantidad de Mega dientes	16
Espaciamento entre dientes	2.6in
Control de levante	Hidráulico
Amarre por cuerda	
Control	Automático
Tipo	Eléctrico
Brazos de cuerda	2
Capacidad para rollos de cuerda	8
Monitor	
Consola para el tractor	Bate-Trak PRO
Compuerta cerrada	Símbolo en monitor
Conformado de paca	Gráficos de barras



TEGUICHALPA SAN PEDRO SULA JUTICALPA TOCOTA CATACAMAS YORO OHUILTECA

CAMOSA Camiones y Motores S.A.

Tamaño de paca	Mecánico y digital
Paca casi completa	Alarma y símbolo
Paca completa	Alarma y símbolo
Indicador de posición de los brazos de cuerda	Mecánico
Paca sobredimensionada	Alarma y símbolo
Eje conductor	
Protección	Embrague deslizante
Velocidad del PTO	540rpm
Tipo	Velocidad constante, categoría 4
Requisitos del Tractor	
Potencia mínima al PTO	75hp
Válvulas de control selectivo	2

Incluye: Rodado 21.5L16.1 de alta flotación, válvula para núcleo variable, conjunto para alta humedad, barra para empujar pacas.

Garantía: 12 meses sin límite de horas. No incluye servicio de mantenimiento preventivo.

Precio Especial negociado.....US\$ 45000.000

Nota: Valor no incluye el 1% de ISV. Para gozar de exoneración del impuesto deberá presentar su RTN y Registro de Exonerado vigente.

ROGELIO LUISADO
ASESOR DE VENTAS AGRICOLAS

ING. RAINEL VILLANUEVA
GERENTE GRAL. DE VAENTAS



TEGUICHALPA SAN PEDRO SULA JUTICALPA TOCOTA CATACAMAS YORO OHUILTECA

Anexo 5. Data de los pesos promedios de las pacas.

Descripción del Producto	Pesaje	Fecha Movimiento	Neto (Ton)	Cantidad (Pacas)	Peso Promedio Pacas (Ton)
BIOMASA (PACAS-RAC)	156220	07/01/2019	33.29	64	0.52
BIOMASA (PACAS-RAC)	156245	07/01/2019	22.60	49	0.46
BIOMASA (PACAS-RAC)	156556	09/01/2019	30.89	64	0.48
BIOMASA (PACAS-RAC)	156707	10/01/2019	29.14	62	0.47
BIOMASA (PACAS-RAC)	156737	11/01/2019	23.49	52	0.45
BIOMASA (PACAS-RAC)	156888	11/01/2019	28.80	64	0.45
BIOMASA (PACAS-RAC)	157060	12/01/2019	29.73	64	0.46
BIOMASA (PACAS-RAC)	157471	15/01/2019	29.43	64	0.46
BIOMASA (PACAS-RAC)	157498	15/01/2019	29.06	64	0.45
BIOMASA (PACAS-RAC)	157600	16/01/2019	28.27	64	0.44
BIOMASA (PACAS-RAC)	157630	16/01/2019	31.74	64	0.50
BIOMASA (PACAS-RAC)	157773	17/01/2019	28.00	62	0.45
BIOMASA (PACAS-RAC)	157889	18/01/2019	25.87	64	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	158022	19/01/2019	1.87	4	0.47
BIOMASA (PACAS-RAC)	159019	19/01/2019	29.05	64	0.45
BIOMASA (PACAS-RAC)	158048	19/01/2019	12.30	32	0.38
BIOMASA (PACAS-RAC)	158288	21/01/2019	11.97	32	0.37
BIOMASA (PACAS-RAC)	158273	21/01/2019	12.42	32	0.39
BIOMASA (PACAS-RAC)	158387	22/01/2019	25.51	64	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	158531	23/01/2019	11.48	32	0.36
BIOMASA (PACAS-RAC)	158559	23/01/2019	12.23	32	0.38
BIOMASA (PACAS-RAC)	158647	24/01/2019	12.58	32	0.39
BIOMASA (PACAS-RAC)	158666	24/01/2019	12.23	32	0.38
BIOMASA (PACAS-RAC)	158683	24/01/2019	11.86	32	0.37
BIOMASA (PACAS-RAC)	158759	25/01/2019	11.93	32	0.37
BIOMASA (PACAS-RAC)	158792	25/01/2019	23.10	64	0.36
BIOMASA (PACAS-RAC)	158879	26/01/2019	7.12	20	0.36
BIOMASA (PACAS-RAC)	158952	28/01/2019	27.31	61	0.45
BIOMASA (PACAS-RAC)	159163	29/01/2019	24.15	64	0.38
BIOMASA (PACAS-RAC)	159266	29/01/2019	14.08	35	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	159266	29/01/2019	11.66	29	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	159361	30/01/2019	25.88	64	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	159452	31/01/2019	12.54	32	0.39
BIOMASA (PACAS-RAC)	159472	31/01/2019	25.88	64	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	159569	01/02/2019	23.33	64	0.36
BIOMASA (PACAS-RAC)	159577	01/02/2019	13.44	32	0.42
BIOMASA (PACAS-RAC)	159684	02/02/2019	26.61	64	0.42
BIOMASA (PACAS-RAC)	159713	02/02/2019	25.21	64	0.39
BIOMASA (PACAS-RAC)	159678	02/02/2019	15.05	32	0.47
BIOMASA (PACAS-RAC)	159693	02/02/2019	11.50	28	0.41
BIOMASA (PACAS-RAC)	159954	23/02/2019	13.04	32	0.41

BIOMASA (PACAS-RAC)	159955	23/02/2019	25.39	64	0.40
BIOMASA (PACAS-RAC)	159954	23/02/2019	13.04	32	0.41
BIOMASA (PACAS-RAC)	159955	23/02/2019	25.39	64	0.40
Total			899.46	2130	0.42

Fuente: Data de azucarera La Grecia.

Anexo 6. Comparación de biomasa de RAC y madera de pino.

Variables	Comparación a 10 años de biomasa de RAC y Pino									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio fijado RAC (\$/ton)	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Costo del picado RAC (\$/ton)	8.75	9.10	9.46	9.84	10.24	10.65	11.07	11.51	11.97	12.45
Costo Total RAC (\$/ton)	43.75	44.10	44.46	44.84	45.24	45.65	46.07	46.51	46.97	47.45
Costo pino (\$/ton)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Costo picado pino (\$/ton)	15.00	15.60	16.22	16.87	17.55	18.25	18.98	19.74	20.53	21.35
Costo total pino (\$/ton)	55.00	55.60	56.22	56.87	57.55	58.25	58.98	59.74	60.53	61.35
Costo RAC (\$/Kwh)	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Costo pino (\$/Kwh)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Toneladas proyectadas	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59	32,973.59
Energía por RAC (Kwh)	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65	17311,132.65
Energía por pino (Kwh)	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60	19784,151.60
Costo energía RAC (\$)	1442,594.39	1454,135.14	1466,137.53	1478,620.01	1491,601.79	1505,102.84	1519,143.93	1533,746.67	1548,933.52	1564,727.84
Costo energía pino (\$)	1813,547.23	1833,331.38	1853,906.90	1875,305.44	1897,559.92	1920,704.58	1944,775.02	1969,808.29	1995,842.88	2022,918.86
Ingresos energía RAC (\$)	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90	2596,669.90
Ingresos energía pino (\$)	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74	2967,622.74
Utilidad energía RAC (\$)	1154,075.51	1142,534.75	1130,532.37	1118,049.89	1105,068.11	1091,567.06	1077,525.96	1062,923.23	1047,736.38	1031,942.06
Utilidad energía pino (\$)	1154,075.51	1134,291.36	1113,715.84	1092,317.30	1070,062.82	1046,918.16	1022,847.72	997,814.45	971,779.86	944,703.88
Delta de utilidad (\$)	-	8,243.40	16,816.53	25,732.59	35,005.29	44,648.89	54,678.25	65,108.77	75,956.52	87,238.18

Fuente: Elaboración propia: Data de azucarera La Grecia.

Anexo 7. Parámetros para análisis de caracterización de biomasa

Parámetro	Método/Norma	COMPOSICIÓN INORGÁNICA DE CENIZAS				
Parámetro	Método	Valor	Incertidumbre	Unidades		
Humedad total	UNE-EN 14774-1:2009 pérdida de peso a 105 °C					
Materias volátiles	UNE-EN 15148:2009 Gravimétrico a 900 °C					
Carbono fijo	Cálculo por diferencia					
Cenizas	UNE-EN-14775:2009 Gravimétrico (550 °C)					
ANÁLISIS ELEMENTAL	Carbono	UNE-EN 15104:2011 Combustión a 950 °C				
	Hidrógeno					
	Nitrógeno					
	Azufre		UNE-EN 15289:2011 Combustión a 1.350 °C			
	Cloro		UNE-EN 15289:2011 Calorimétrico/cromatografía iónica			
	Oxígeno		Cálculo por diferencia			
ANÁLISIS ENERGÉTICO	PCS	UNE-EN 14918:2009 Método calorimétrico				
	PCI	Cálculo interno				
Densidad aparente	UNE-EN 15103:2009					
TEMPERATURAS DE FUSIBILIDAD DE CENIZAS (ATMÓSFERA OXIDANTE)						
Parámetro	Método	Valor	Incertidumbre	Unidades		
T* inicial de deformación	CEN/TS 15370	1.180	--	°C		
T* de estera		1.235	--	°C		
T* de hemiesfera		1.325	--	°C		
T* fluida		1.415	--	°C		

Anexo 8. Resultados de análisis de laboratorio La Grecia, Humedad y BTU del RAC

RESULTADOS DE ANALISIS DE RAC		
FECHA	HUMEDAD	BTU/LB
15/12/2018	13.94	5868.03
16/12/2018	11.05	5490.08
18/12/2018	9.06	5879.90
19/12/2018	23.10	5199.82
25/12/2018	12.08	5808.80
26/12/2018	15.69	5638.97
27/12/2018	18.72	5815.13
28/12/2018	17.70	5468.32
29/12/2018	17.33	5547.18
30/12/2018	15.16	5761.33
31/12/2018	18.01	5248.95
01/01/2019	14.51	5871.28
03/01/2019	11.38	5961.01
04/01/2019	7.92	6131.08
05/01/2019	6.38	6280.20
06/01/2019	12.56	5524.70
08/01/2019	28.58	3871.67
09/01/2019	15.57	5928.58
10/01/2019	12.07	6652.41
11/01/2019	9.8	5557.64
12/01/2019	10.83	5684.13
13/01/2019	11.37	6642.93
14/01/2019	7.61	4765.75
15/01/2019	6.78	6772.6
17/01/2019	22.38	5395.1
19/01/2019	7.49	6757.88
20/01/2019	7.35	5395.10
23/01/2019	7.44	6783.23
27/01/2019	7.23	6051.86
28/01/2019	19.57	6619.08
29/01/2019	10.57	6668.33
02/02/2019	6.84	6630.93
04/02/2019	8.24	6258.35
05/02/2019	10.22	5987.21
06/02/2019	7.88	6547.23
07/02/2019	11.04	6021.58
08/02/2019	8.40	6358.98
09/02/2019	10.66	6241.79
10/02/2019	7.89	6723.88
11/02/2019	10.80	6423.58
12/02/2019	6.36	6875.59
13/02/2019	9.12	6547.12
14/02/2019	7.10	6701.28
15/02/2019	9.25	6478.92
16/02/2019	11.24	6254.66
17/02/2019	8.54	6587.41
18/02/2019	10.25	6725.32
22/02/2019	8.63	6687.98
23/02/2019	9.36	6871.45

24/02/2019	7.69	6785.62
25/02/2019	8.12	6945.12
26/02/2019	9.15	6845.38
27/02/2019	7.77	6985.63
28/02/2019	8.3	6672.83
01/03/2019	7.12	6612.02
02/03/2019	7.03	6745.23
03/03/2019	6.15	6787.61
04/03/2019	10.12	6667.48
05/03/2019	13.16	6874.51
06/03/2019	9.85	6612.02
07/03/2019	7.35	6598.77
08/03/2019	10.22	6587.41
10/03/2019	11.38	6658.92
11/03/2019	6.19	7229.68
12/03/2019	6.76	6874.12
13/03/2019	7.61	6722.91
Promedio	10.83	6260.00

Anexo 9. Analizador de humedad rápida sin método destructivo por medio de infrarrojo

