



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS
RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea mays*), PARA PROPUESTA DE
APROVECHAMIENTO EN EL CANTÓN GUANO”.**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: CATHERINE PAULINA CABRERA ESCOBAR

TUTORA: ING. SOFÍA GODOY PONCE

Riobamba – Ecuador

2018

@ 2018, Catherine Paulina Cabrera Escobar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos técnicos, titulado “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ (*Zea mays*), PARA PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO EN EL CANTÓN GUANO”, de responsabilidad de la Señorita Catherine Paulina Cabrera Escobar, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Bolívar Flores

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Sofía Godoy Ponce

**DIRECTORA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

FIRMA

Dr. Robert Cazar

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

Riobamba, Julio, 2018

Yo, CATHERINE PAULINA CABRERA ESCOBAR, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Catherine Paulina Cabrera Escobar

DEDICATORIA

A lo largo de mi vida universitaria, tuve la oportunidad de experimentar buenos y malos momentos, que gracias a cada uno de ustedes fueron superados, siendo mi motivación, mi ejemplo y sobretodo mi fortaleza ante toda adversidad, por lo cual dedico este trabajo a Dios, por ser la luz en mi camino que me permitió cosechar este triunfo.

A mis angelitos en el cielo, quienes me incentivaron el valor de la humildad, la sencillez, el trabajo y la superación.

A mi padre Raulito, por su entrega y paciencia, sembrando en mí, el deseo de superarme y crecer profesionalmente.

A mi madre Marthita, cómplice y amiga, quien con su amor infinito y palabras de aliento, estuvo a mi lado luchando cuantiosas batallas que me enseñaron a formar mi carácter.

A mi hermana, segunda madre y amiga María Verónica, quien con su ejemplo y consejos, supo llegar a mí, en el momento exacto.

A mis hermanos Vinicio y José, que han sido mi motivación y apoyo para poder cristalizar uno de mis más grandes anhelos.

Y a mi pequeño sobrino Alejandro Sebastián.

Catherine

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y una grandiosa familia, por ser mi guía, mi fortaleza y soporte durante este largo camino.

A mis padres y hermanos, por su apoyo y amor incondicional, por enseñarme a luchar por mis objetivos a base de esfuerzo y dedicación e inculcarme valores como la perseverancia y la responsabilidad.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por acogerme y haberme formado como profesional, y a cada uno de sus docentes que impartieron en mí sus conocimientos, que sin duda alguna fueron la base para hoy culminar con éxito una etapa de mi vida.

A la Ing. Sofía Godoy por su valiosa colaboración y apoyo durante la dirección del presente trabajo.

Y a cada una de las personas que de una u otra manera formaron parte de mi vida, durante este trayecto y aportaron en mi crecimiento personal y profesional. Gracias.

Catherine

TABLA DE CONTENIDO

	Paginas
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Marco conceptual.....	8
1.2.1. <i>Generalidades del maíz (Zea mays)</i>	8
1.2.2. <i>Biomasa Residual</i>	8
1.2.2.1. <i>Gestión de la Biomasa Residual</i>	8
1.2.2.2. <i>Biomasa como fuente energética</i>	9
1.2.2.3. <i>Contexto Energético del Ecuador</i>	9
1.2.3. <i>Variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz</i>	10
1.2.3.1. <i>Densidad</i>	10
1.2.3.2. <i>Poder Calorífico</i>	10
1.2.3.3. <i>Humedad</i>	11
1.2.3.4. <i>Cenizas</i>	11
CAPÍTULO II	
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1. Localización de los recursos.....	12
2.2. Obtención de la muestra.....	12
2.2.1. <i>Población de estudio</i>	12
2.2.2. <i>Tamaño de la muestra</i>	12
2.2.3. <i>Selección de las muestras</i>	13
2.3. Técnicas de recolección de datos.....	13
2.4. Caracterización de las variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz.....	13
2.4.1. <i>Cálculo de la producción total de residuos de maíz en el cantón Guano</i>	13
2.4.1.1. <i>Código de muestra</i>	15
2.4.1.2. <i>Parroquia</i>	15
2.4.1.3. <i>Representante parroquial</i>	15
2.4.1.4. <i>Fecha y hora de recolección de datos</i>	16

2.4.1.5.	<i>Tiempo promedio de desarrollo</i>	16
2.4.1.6.	<i>Superficie cultivada</i>	16
2.4.1.7.	<i>Número de plantas por cada metro cuadrado</i>	16
2.4.1.8.	<i>Número total de plantas</i>	17
2.4.1.9.	<i>Tamaño de la planta</i>	17
2.4.1.10.	<i>Peso</i>	17
2.4.1.11.	<i>Peso producción total de residuos de maíz</i>	18
2.4.2.	<i>Cálculo de densidad de los residuos de maíz en el cantón Guano</i>	18
2.4.3.	<i>Recolección y preparación de muestras</i>	19
2.4.3.1.	<i>Recolección de muestras</i>	19
2.4.3.2.	<i>Preparación de muestras</i>	20
2.4.3.2.1.	<i>Método del cuarteo</i>	20
2.4.4.	<i>Determinación del porcentaje de humedad</i>	21
2.4.4.1.	<i>Determinación del porcentaje de humedad mediante la balanza de humedad</i>	21
2.4.4.1.1.	<i>Código de muestra</i>	22
2.4.4.1.2.	<i>Número de repetición</i>	22
2.4.4.1.3.	<i>Peso inicial</i>	22
2.4.4.1.4.	<i>Peso final</i>	23
2.4.4.1.5.	<i>Tiempo</i>	23
2.4.4.1.6.	<i>Porcentaje de humedad</i>	23
2.4.4.2.	<i>Determinación de la humedad mediante la estufa a 105 °C</i>	23
2.4.4.2.1.	<i>Código de muestra</i>	24
2.4.4.2.2.	<i>Número de repetición</i>	25
2.4.4.2.3.	<i>Peso inicial</i>	25
2.4.4.2.4.	<i>Peso final</i>	25
2.4.4.2.5.	<i>Tiempo</i>	25
2.4.4.2.6.	<i>Porcentaje de humedad</i>	25
2.4.5.	<i>Determinación de cenizas</i>	26
2.4.5.1.	<i>Código de muestra</i>	27
2.4.5.2.	<i>Número de repetición</i>	27
2.4.5.3.	<i>Peso del crisol vacío</i>	28
2.4.5.4.	<i>Peso de la muestra</i>	28
2.4.5.5.	<i>Peso del crisol con las cenizas</i>	28
2.4.5.6.	<i>Porcentaje de cenizas</i>	28
2.5.	<i>Aplicación de la propuesta metodológica en la determinación del poder energético presente en el caso de estudio</i>	29
2.5.1.	<i>Secado de residuos de maíz</i>	29

2.5.2.	<i>Molienda de residuos de maíz</i>	30
2.5.3.	<i>Determinación del poder calorífico</i>	30
2.6.	Elaboración de propuesta de aprovechamiento del residuo de maíz para el cantón Guano con base en los resultados obtenidos	31
2.6.1.	<i>Propuesta de aprovechamiento energético</i>	31
2.6.1.1.	<i>Aspectos a considerar en la selección de la tecnología</i>	31
2.6.1.2.	<i>Selección de la tecnología o proceso adecuado</i>	31
2.6.1.2.1.	<i>Pirólisis</i>	32
2.6.1.2.2.	<i>Gasificación</i>	32
2.6.1.2.3.	<i>Digestión Anaerobia</i>	32
2.6.1.2.4.	<i>Licuefacción</i>	32
2.6.1.2.5.	<i>Fermentación</i>	33
2.6.1.3.	<i>Combustión</i>	33
2.6.1.4.	<i>Componentes de la propuesta de aprovechamiento energético</i>	33
CAPÍTULO III		
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1.	Caracterización de las variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz	34
3.1.1.	<i>Cálculo de la producción total de residuos de maíz en el cantón Guano</i>	34
3.1.1.1.	<i>Residuos de maíz suave choclo</i>	34
3.1.1.1.1.	<i>Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave choclo</i>	36
3.1.1.1.2.	<i>Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave choclo</i>	37
3.1.1.1.3.	<i>Número total de plantas de maíz suave choclo</i>	38
3.1.1.1.4.	<i>Tamaño de la planta de maíz suave choclo</i>	39
3.1.1.1.5.	<i>Composición porcentual de componentes de maíz suave choclo</i>	40
3.1.1.1.6.	<i>Producción total de residuos de maíz suave choclo</i>	41
3.1.1.2.	<i>Residuos de maíz suave seco</i>	42
3.1.1.2.1.	<i>Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave seco</i>	43
3.1.1.2.2.	<i>Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave seco</i>	44
3.1.1.2.3.	<i>Número total de plantas de maíz suave seco</i>	45
3.1.1.2.4.	<i>Tamaño de la planta de maíz suave seco</i>	46
3.1.1.2.5.	<i>Composición porcentual de componentes de maíz suave seco</i>	47
3.1.1.2.6.	<i>Producción total de residuos de maíz suave seco</i>	48
3.1.1.3.	<i>Composición porcentual de residuos de maíz en el cantón Guano</i>	49
3.1.2.	<i>Cálculo de densidad de los residuos de maíz en el cantón Guano</i>	50
3.1.3.	<i>Determinación del porcentaje de humedad</i>	51
3.1.3.1.	<i>Determinación del porcentaje de humedad mediante la balanza de humedad</i>	51

3.1.3.2.	<i>Determinación de la humedad mediante la estufa a 105 °C</i>	52
3.1.3.3.	<i>Porcentaje de humedad promedio (balanza de humedad y estufa a 105 °C)</i>	54
3.1.4.	<i>Determinación de cenizas</i>	56
3.1.4.1.	<i>Porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz</i>	58
3.2.	Aplicación de la propuesta metodológica en la determinación del poder energético presente en el caso de estudio	59
3.2.1.	<i>Determinación del poder calorífico</i>	60
3.3.	Elaboración de propuesta de aprovechamiento del residuo de maíz para el cantón Guano con base en los resultados obtenidos	61
3.3.1.	<i>Selección de la tecnología o proceso adecuado</i>	61
3.3.1.1.	<i>Ventajas de la propuesta dentro del ámbito ambiental</i>	62
3.3.1.2.	<i>Ventajas de la propuesta dentro del ámbito socioeconómico</i>	63
3.3.1.3.	<i>Inconvenientes de la propuesta</i>	64
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2	Componentes de la propuesta de aprovechamiento energético.....	33
Tabla 1-3	Producción total de residuos de maíz suave choclo en el cantón Guano.....	34
Tabla 2-3	Producción total de residuos de maíz suave seco en el cantón Guano.....	42
Tabla 3-3	Densidad de los residuos de maíz suave choclo.....	50
Tabla 4-3	Densidad de los residuos de maíz suave seco.....	50
Tabla 5-3	Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave choclo mediante la balanza de humedad.....	51
Tabla 6-3	Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave seco mediante la balanza de humedad.....	51
Tabla 7-3	Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave choclo mediante la estufa a 105 °C.....	52
Tabla 8-3	Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave seco mediante la estufa a 105 °C.....	53
Tabla 9-3	Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave choclo.....	54
Tabla 10-3	Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave seco.....	55
Tabla 11-3	Porcentaje de cenizas en hojas de maíz suave choclo y maíz suave seco.....	56
Tabla 12-3	Porcentaje de cenizas en cañas de maíz suave choclo y maíz suave seco.....	57
Tabla 13-3	Porcentaje de cenizas en tusas de maíz suave choclo y maíz suave seco.....	57
Tabla 14-3	Porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz.....	58
Tabla 15-3	Poder calorífico de los residuos de maíz.....	60
Tabla 16-3	Selección de la tecnología o proceso adecuado para los residuos de maíz suave choclo.....	61
Tabla 17-3	Selección de la tecnología o proceso adecuado para los residuos de maíz suave seco.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2	Método del cuarteo.....	20
Gráfico 2-3	Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave choclo.....	36
Gráfico 3-3	Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave choclo.....	37
Gráfico 4-3	Número total de plantas de maíz suave choclo.....	38
Gráfico 5-3	Tamaño de la planta de maíz suave choclo.....	39
Gráfico 6-3	Composición porcentual de componentes de maíz suave choclo.....	40
Gráfico 7-3	Producción total de residuos de maíz suave choclo.....	41
Gráfico 8-3	Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave seco.....	43
Gráfico 9-3	Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave seco.....	44
Gráfico 10-3	Número total de plantas de maíz suave seco.....	45
Gráfico 11-3	Tamaño de la planta de maíz suave seco.....	46
Gráfico 12-3	Composición porcentual de componentes de maíz suave seco.....	47
Gráfico 13-3	Producción total de residuos de maíz suave seco.....	48
Gráfico 14-3	Composición porcentual de residuos de maíz en el cantón Guano.....	49
Gráfico 15-3	Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave choclo.....	54
Gráfico 16-3	Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave seco.....	55
Gráfico 17-3	Porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz.....	59
Gráfico 18-3	Poder calorífico de los residuos de maíz.....	60

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Análisis de campo y recolección de datos
- Anexo B** Cálculo de densidad de los residuos de maíz
- Anexo C** Trituración de residuos de maíz en una picadora de vegetales
- Anexo D** Método del cuarteo con los residuos de maíz
- Anexo E** Cálculo del porcentaje de humedad de los residuos de maíz en la balanza de humedad
- Anexo F** Cálculo del porcentaje de humedad de los residuos de maíz en la estufa a 105 °C
- Anexo G** Cálculo de cenizas de los residuos de maíz
- Anexo H** Molienda de residuos de maíz para obtener el poder calorífico

ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

%	Porcentaje
%_R	Porcentaje de humedad
°C	Grados centígrados
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
ASTM	American Society for Testing and Materials
cm	Centímetros
CO₂	Dióxido de carbono
CSIC	Centro Superior de Investigaciones Científicas
d	Densidad
FIAGR	Facultad de Ciencias Agropecuarias
h	Altura
ha	Hectáreas
H₂O	Agua
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
J/g	Joule por gramo
Kg	Kilogramos
Kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
m	Metros
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
MBG	Misión Biológica en Galicia
MSC	Maíz suave choclo
MSS	Maíz suave seco
r²	Radio al cuadrado
T	Tonelada
v	Volumen

RESUMEN

Se evaluó el potencial energético de los residuos de maíz del cantón Guano para poder emitir una propuesta de aprovechamiento, bajo los requerimientos propios del cantón, caracterizando las variables que intervienen en el poder calorífico y aplicando una propuesta metodológica acorde al caso de estudio. Para llevar a cabo el trabajo técnico se realizaron análisis de campo y de laboratorio a los residuos de maíz suave choclo, maíz suave seco y a cada uno de sus componentes (hojas, tallos y tusas). Inicialmente se obtuvo la producción total de residuos de maíz en 10 parroquias del cantón; 8 rurales y 2 urbanas, encontrando un total de 105.680 toneladas entre las dos variedades. Se determinó la densidad de los residuos, obteniendo una alta densidad en el maíz suave choclo. Posteriormente se halló la humedad a través de la balanza de humedad y la estufa a 105 °C, tres repeticiones por cada muestra, donde los residuos de maíz suave choclo fueron los que obtuvieron mayor porcentaje. Se analizaron las cenizas, efectuando nueve réplicas por cada muestra, presenciando un mayor porcentaje en las hojas. Por otra parte el poder calorífico se determinó mediante tres repeticiones en cada componente del maíz gracias a una bomba calorimétrica, evidenciando un considerable potencial energético en las cañas. Con la metodología empleada se concluyó que la tecnología más adecuada de aprovechamiento es la combustión debido a su control sencillo y alto rendimiento en secadores de cereales y gramíneas. El potencial energético de los residuos de maíz fue: 16584 J/g para cañas, 16573 J/g para tusas y 16432 J/g para hojas. Las hojas fueron descartadas en el aprovechamiento debido a su bajo poder calorífico y al elevado porcentaje de cenizas. Se recomienda realizar evaluaciones del potencial energético de biomasa residual para poder comparar la eficiencia y factibilidad que representan.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <BIOTECNOLOGÍA>, <BIOMASA RESIDUAL>, <MAÍZ (*Zea mays*)>, <POTENCIAL ENERGÉTICO>, <GUANO (CANTÓN)>.

ABSTRACT

The energy potential of the corn waste of Guano Canton was assessed in order to issue a proposal for use, under the requirements of the canton, characterizing the variables that intervene in the calorific power and applying a methodological proposal according to the case study. To carry out the technical work, field and laboratory analyzes were carried out on the residues of soft corn, dry soft corn and each of its components (leaves, stems and husks). Initially, the total corn residue production was obtained in 10 parishes of the canton; 8 rural and 2 urban, finding a total of 105,680 tons between the two varieties. The density of the residues was determined, obtaining a high density in the soft corn. Subsequently moisture was found through the humidity balance and the stove at 105 ° C, three repetitions for each sample, where the soft corn residues obtained the highest percentage. The ashes were analyzed making nine replicates for each sample, with a higher percentage in the leaves. On the other hand, the calorific power was determined by three repetitions in each component of the corn thanks to a calorimetric bomb, evidencing a considerable energetic potential in the canes. With the methodology used, it was concluded that the most suitable technology of exploitation is combustion due to its simple control and high performance in grain and grass driers. The energy potential of corn residues was: 16584 J / g for cane, 16573 J / g for husks and 16432 J / g for leaves. The leaves were discarded in the exploitation due to their low calorific value and the high percentage of ash. It is recommended to carry out evaluations of the residual biomass energy potential in order to compare the efficiency and feasibility they represent.

Key Words: <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <BIOTECHNOLOGY>, <RESIDUAL BIOMASS>, <CORN (*Zea mays*)>, <ENERGY POTENTIAL>, <GUANO CANTON>.

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema

El maíz (*Zea mays*) es un cereal considerado en el presente uno de los alimentos básicos dentro de la dieta de los seres humanos, tiene la característica principal de poseer un acelerado crecimiento y en la actualidad cuenta con el 40% de la producción total de granos a nivel mundial. Ecuador se encuentra dentro de los 50 mayores productores mundiales de este tipo de gramínea, se cultiva en 21 de las 24 provincias. La provincia de Chimborazo es uno de los principales productores de maíz suave choclo y maíz suave seco, dentro de la Sierra Ecuatoriana, puesto que se siembran anualmente 25 000 ha de dichas variedades de maíz, las cuales son las más comunes y conocidas dentro de la zona. (Sumba, 2014, pp. 1-7)

La generación de residuos de maíz tales como: hojas, cañas y las comúnmente denominadas tusas, han adquirido en los últimos años un incremento asociado al crecimiento poblacional y a la alta demanda del producto dentro del mercado local, nacional e internacional. Convertir su biomasa residual en un recurso aprovechable, es una alternativa altamente ecológica y una excelente opción para la situación actual que conlleva la disposición final.

Después de las cosechas, el 30 – 35 % del total de la planta de maíz es aprovechado para el consumo humano, mientras que del porcentaje restante, una mínima porción es utilizado como alimento para animales y una mayor porción es desechada como residuo en el ambiente e incinerados a cielo abierto. Los residuos de maíz pueden ocasionar la degradación y erosión de los suelos, debido al abandono de los suelos, que podrían ser erradicados mediante propuestas energéticas sostenibles. Por tal motivo es primordial buscar alternativas viables para aprovechar los residuos de maíz, obteniendo productos que a su vez pueden ser utilizados y de esta manera se pueda contribuir a la protección ambiental. (Romero, 2012, pp. 7-10)

Según la FAO, la actividad agrícola es una de las causas del cambio climático y de emisiones totales de gases de efecto invernadero de origen antropogénico a nivel global, uno de los focos de contaminación más común es la descomposición de los residuos sólidos orgánicos de los cultivos, que podrían ser empleados de manera adecuada, para generar energía limpia por medio de diferentes tecnologías. (FAO, 2015)

El punto de partida de los compuestos orgánicos oxidados dentro de los procesos de aprovechamiento de energía, se debe a la asimilación de la energía solar por las plantas, la fijación del dióxido de carbono libre en el aire y el desprendimiento de oxígeno. Este fenómeno trae consigo como resultado que el dióxido de carbono que se desprende en los procesos de aprovechamiento de la biomasa residual, no aumente los grados de esta sustancia. (Núñez, 2013, pp. 142-156).

Según el COOTAD, en su artículo 3, los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán asumir una visión de forma integral, logrando asegurar los aspectos ambientales, económicos, sociales, culturales e institucionales, promoviendo un desarrollo sustentable y fomentando la realización de actividades productivas y agropecuarias. (COOTAD, 2015)

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Guano, no cuentan con propuestas de aprovechamiento energético de ayuda a los agricultores, que promuevan una actividad agropecuaria tecnificada, desde el cultivo, cosecha, hasta la disposición final de los residuos, por lo cual la biomasa residual por hectárea, suele ser bastante alta y los agricultores desconocen cómo actuar ante tal situación. Por otro parte es de vital importancia tomar en cuenta la inestabilidad económica por la que atraviesa el país en los últimos años, crisis que podría verse reducida de cierto modo, aprovechando todos los recursos, y en este caso hasta la más mínima fracción de residuos a través de diferentes tecnologías que aporten al sector productivo agropecuario.

Según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador, la demanda energética se incrementa cada año en un 4 %, y el consumo de combustibles fósiles en los últimos años, pone de manifiesto que el petróleo es un recurso finito próximo a agotarse, por ello el ser humano ha buscado diferentes fuentes de energías alternativas, con el fin de satisfacer las principales necesidades, siendo así el aprovechamiento de las biomasa residual, una alternativa eficaz al alcance del ser humano, con el propósito de que no se genere efectos adversos en el entorno. (Arconel, 2017, pp. 10-13)

Justificación del proyecto

Esta propuesta promueve el uso adecuado y sostenible de los residuos de maíz (*Zea mays*) generados en el cantón Guano, para que posteriormente puedan ser aprovechados según las necesidades y requerimientos propios del cantón, eliminando plagas e incendios a cielo abierto y reduciendo la contaminación del aire, agua y suelo, enfocándose en su revalorización y en el uso de energía renovable limpia.

La biomasa residual del maíz generada principalmente por actividades agrícolas de la zona, se denomina excedentes agrícolas que si bien es cierto no son empleados en la alimentación humana, se conoce que contienen amplios fines energéticos, los mismos que pueden ser utilizados como combustibles en plantas de generación eléctrica, calderas, secadores de gramíneas, entre otros fines, transformando a los residuos en biocombustibles de alta calidad.

La evaluación del potencial energético de los residuos de maíz para su aprovechamiento, estudiados de forma local y sectorizada en el cantón Guano pretende contribuir ampliamente en el manejo de los residuos y en su disposición final considerando que los resultados encontrados están encaminados a generar propuestas eficaces de reducción del volumen de residuos que aporten a la consolidación de una matriz energética limpia en el contexto económico, social y ambiental. No obstante, en la práctica de dichas propuestas en otras zonas, se debe considerar las condiciones climatológicas y características particulares de cada región.

La utilización de la biomasa residual con fines energéticos exige una cuidadosa evaluación de cada una de las variables que intervienen en el mismo, como por ejemplo las características específicas, componentes de cada uno de ellos y las muy variadas tecnologías de aprovechamiento, por ello el punto de partida para desarrollar un estudio de la biomasa residual que permita analizar su viabilidad, se enfoca en evaluar la cantidad o producción total.

Estructuralmente la pared celular de los residuos de maíz presenta un alto porcentaje de hemicelulosa y un bajo porcentaje de celulosa, la baja cantidad de lignina en los residuos de la planta del maíz lo convierte en potencialmente digerible en comparación a las pajas de cereales, siendo a su vez, más rico en azúcares solubles, lo que le otorga un valor energético superior al de las pajas.

El análisis de la producción total de residuos de maíz en el cantón Guano, su recolección, procesamiento y repectivas pruebas de laboratorio fueron los puntos de partida para el reporte del potencial energético y variables relacionadas de cada uno de los residuos de maíz que ayudaron a determinar la factibilidad del proceso mediante una propuesta de aprovechamiento.

Esta propuesta de carácter técnico está incluida en la sublínea de investigación “Tecnologías de tratamiento de recursos y residuos” de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la ESPOCH.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el potencial energético de los residuos de maíz (*Zea mays*), para propuesta de aprovechamiento en el cantón Guano.

Objetivos específicos

- Caracterizar las variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz.
- Aplicar la propuesta metodológica en la determinación del poder energético presente en el caso de estudio.
- Elaborar una propuesta de aprovechamiento del residuo de maíz para el cantón Guano con base en los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

A nivel mundial el 19,1% de la energía total, ha sido suministrada por energía renovable, que proviene de biomasa residual, con el uso de técnicas tradicionales y modernas. En el año 2016, las emisiones totales de carbono globales relacionadas al consumo energético se estabilizaron y en ciertos países disminuyeron, mientras que la economía se incrementó con el uso de éstas técnicas de aprovechamiento. Entre los países que aportan mayoritariamente para el fomento de energías renovables, están: Estados Unidos, China, Japón, Alemania y Reino Unido. (Aldana et al., 2017: pp. 3-12)

Los científicos e investigadores de la Misión Biológica en Galicia (MBG), subordinado por el Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), mediante de estudios exhaustivos han comprobado que en las múltiples variedades de maíz, se encuentran cantidades considerables de azúcar que hacen viable y efectiva su explotación para fines energéticos. (Arvizu, 2014, pp. 3-7)

En la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, según Bonel, el cultivo y cosecha del maíz suave seco y maíz suave choclo, produce gran cantidad de biomasa residual, puesto que se cosecha cerca del 30% en forma de grano, mientras que el resto de componentes de la planta como la caña, hojas y tusas son desechadas sin previo tratamiento en el ambiente. La producción de biomasa residual total que genera un cultivo de maíz suave choclo, fluctúa entre 20 a 35 toneladas por hectárea. (Bonel et al., 2014: pp. 15-18)

De acuerdo con la investigación realizada por Acevedo en 2017, dentro de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Colombia, llevado a cabo en un sistema de aprovechamiento de la biomasa como recurso energético en Cundinamarca y debido a su excesiva demanda de la caña panelera, la alternativa energética propuesta en este trabajo contribuye a cumplir con los objetivos de la política energética nacional emitida por dicho país y generando puestos de trabajo que disminuyan los índices de pobreza. Se determinó el poder calorífico experimentalmente, para la variedad de caña de panela, el cual tuvo datos bastante favorables. Esta alternativa también

contribuye a implementar y fortalecer una política energética verde, que fomente el uso justo de los recursos y aporte a la disminución de la huella de carbono. (Acevedo, 2017, pp. 15-19).

Según Colomer, la obtención de energía a partir de biomasa es una oportunidad potencial para el sector agrario, industrial, económico, ambiental y de servicios. Representa una opción más de cultivo, revalorizando las tierras, cuidando el ambiente, evitando el abandono de las mismas y generando empleo. En varios estudios económicos se emiten aspectos realmente positivos respecto a la utilización de residuos agrícolas con fines energéticos, que permitan obtener flujos de caja satisfactorios. (Colomer, 2016, pp. 10-16)

En el Ecuador el Ministerio del Ambiente, dentro de los últimos años ha propuesto nuevos objetivos para lograr un cambio en el manejo y gestión de los desechos sólidos, mediante el planteamiento de estrategias y programas a nivel nacional en el cual se contempla el aprovechamiento energético a través de la implementación de metodologías que aporten a la transformación del potencial energético de los residuos. (Pozo, 2016, pp. 6-13).

La matriz energética en Ecuador se encuentra claramente marcada por un alto consumo en el sector automotriz e industrial principalmente, en donde se requiere grandes cantidades de generación térmica e hidroeléctrica. En el contexto nacional se impulsa la participación de energía renovable dentro de la matriz energética nacional, que son reflejadas en las regulaciones y proyectos, presentadas en torno al aprovechamiento energético. (Iglesias et al., 2017: pp. 26-35)

El consumo energético en el país proviene principalmente de combustibles fósiles en un 80 % de la demanda energética total y apenas un 10 % de la demanda energética es proporcionada por biomasa residual de caña y leña. De los proyectos entregados y llevados a cabo en Ecuador hasta el año 2017, el 71 % corresponden a proyectos energéticos, distribuidos: 43 % proyectos de temas hidroeléctricos, 14 % proyectos mediante el aprovechamiento de biomasa residual, 9 % en proyectos eólicos y apenas un 5 % en proyectos que promuevan una eficiencia energética. (Salazar et al., 2014: pp. 3-8)

En Ecuador, en el año 2016, se dio a conocer el Atlas Bioenergético, en el que se detalla, los potenciales cultivos que gracias a su estructura y propiedades representan una gran oportunidad para el aprovechamiento energético. Los cultivos mencionados en el atlas fueron, palma africana, palmito, piña, arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz, plátano y varias especies pecuarias y forestales. (Rocano, 2015, pp. 10-18)

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), en busca del aprovechamiento de biomasa residual para fines energéticos y debido a la naturaleza netamente agrícola de Ecuador, viene desarrollando proyectos que persiguen una utilización de los recursos naturales tomando como eje principal a la bioenergía o energía de biomasa radicada en una energía renovable que procede del aprovechamiento de la materia orgánica formada en procesos de tipo biológico. (INER, 2017)

En Ecuador en septiembre del 2017, se realizó en la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz, durante la cual se realizaron conferencias, encaminadas al aprovechamiento energético, sabiendo que Ecuador es un país con alta productividad de cultivos de maíz, en sus dos variedades o estados: maíz suave seco y maíz suave choclo. (MAE, 2017)

El Ministerio del Ambiente de Ecuador, a través de la Subsecretaría de Cambio Climático, viene ejecutando capacitaciones acerca del aprovechamiento energético de residuos agropecuarios principalmente, enfocados en minimizar el cambio climático. Por medio de dinámicas de forma grupal, se aporta con las herramientas básicas necesarias para el aprovechamiento energético, a través de diferentes tecnologías. Tomando en cuenta que al aprovechar energéticamente los residuos agropecuarios o biomasa residual agrícola, no se requiere de cultivos adicionales para la bioenergía. (Mayorga, 2015, pp. 22-28)

Según Ruales, en su estudio del potencial energético de las cáscaras de cacao en la Universidad de Cuenca, afirma que el poder calorífico no difiere de manera significativa en variedades del mismo residuo. Asegura que al tener una cultura de aprovechamiento energética en el sector agrícola y agropecuario se puede lograr un avance en la generación térmica de energía, utilizando la biomasa residual como energía primaria, a la vez que se contribuye al cuidado del ambiente generando un ingreso adicional al agricultor y convirtiéndolo en un proyecto sostenible, donde el consumo de energía primaria en las cinco últimas décadas se ha duplicado. (Ruales, 2015, pp. 6-19).

1.2. Marco conceptual

1.2.1. Generalidades del maíz (*Zea mays*)

El maíz es uno de los cultivos más antiguos, pertenece a la familia de las gramíneas y está provisto de un amplio sistema radicular fibroso, que puede llegar a medir 2,5 m. El tallo internamente posee una médula de tejido esponjoso, donde almacena sus reservas. Las hojas son alargadas insertadas al tallo, del cual nacen las mazorcas. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial y tiene su origen en América. El contenido de holocelulosa en los residuos de maíz es usado generalmente en la producción de pulpa para la elaboración de papel y en lo que se refiere a la lignina su porcentaje es bajo en comparación a las maderas. (Bartolini, 2014, pp. 60-121)

1.2.2. Biomasa Residual

Son los residuos que se generan en las actividades agrícolas, ganaderas, forestales, industriales, agroalimentarias, entre otras y que todavía pueden ser utilizados. Como ejemplo se puede considerar, el bagazo, la caña de azúcar, el serrín, etc. (Jácome, 2015, pp. 522-528)

1.2.2.1. Gestión de la Biomasa Residual

Una eficaz gestión de biomasa residual considera procesos por los cuales se tratan los mismos, tomando en cuenta desde su generación hasta su disposición final. La gestión de la biomasa residual debe cumplir con varios lineamientos como la recolección, eliminación y su tratamiento. Partiendo siempre desde la prevención, revalorización de la biomasa mediante el aprovechamiento, transformación en productos útiles para los seres humanos (energía), y la conservación mediante el tratamiento de biomasa residual de una manera ambientalmente correcta. Sin estos lineamientos no se podrá llegar a una adecuada gestión. Los impactos negativos que acarrea una gestión inadecuada de biomasa residual afectarán a corto, largo y mediano plazo a la población, en temas relacionados con la salud pública, la calidad del ambiente, paisaje, ámbito económico, social, etc. (Al-Kassir, 2013, pp. 7-19)

1.2.2.2. Biomasa como fuente energética

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y ambientalmente limpios, para la conversión de biomasa residual en energía, transformándola, en biocombustibles, los cuáles resultan ser más convenientes. Una de las fuentes más importantes de biomasa son los residuos de maíz que normalmente son abandonados o incinerados en el campo. (Lara, 2016, pp. 20-23)

La biomasa es una fuente renovable, cuya energía proviene del sol, a través del proceso de fotosíntesis, donde las plantas capturan la energía, agua del suelo y el CO₂ que se encuentra en la atmósfera, almacenando dentro de ellas sustancias orgánicas y liberando oxígeno a lo largo del proceso. Seguidamente, los animales transforman dicha energía al alimentarse de las distintas plantas, y producto de ello se generan los residuos, que de igual forma pueden ser usados como un recurso energético. (Ortez et al., 2014: pp. 21-24)

Se pueden considerar tres grandes sectores generadores de biomasa residual con fines energéticos:

- ***Sector Agrario***

Los residuos agrarios se dan como consecuencia de actividades agrícolas, actividades forestales y actividades ganaderas.

- ***Sector Industrial***

Los residuos industriales se originan en las industrias que realizan transformación de actividades primarias.

- ***Sector Urbano***

Los residuos urbanos se generan en los núcleos poblacionales, como consecuencia del consumismo. (Lozano, 2009, pp. 3-7)

1.2.3. Contexto Energético del Ecuador

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), la cual es una entidad adscrita al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), ubicada en Ecuador, posee como objetivo principal impulsar la investigación y tecnológica, en asuntos relacionados

directamente con el uso eficiente de los recursos energéticos, fomentando la generación de energías renovables sostenibles, mediante el aprovechamiento de distintas biomásas. La matriz energética dentro de Ecuador, se encuentra altamente dominada por el uso de combustibles fósiles. En la actualidad se producen aproximadamente 558000 barriles diarios y se espera un notable incremento hasta el año 2021, llegando a 828000 barriles diarios. Prácticamente del 75% del petróleo generado, tiene como destino final la exportación, especialmente a Estados Unidos, Chile, Panamá y Perú. Las instalaciones de Esmeraldas, La Libertad, Amazonas y Shushufindi, donde se genera el resto de petróleo, no son suficientes para cubrir la demanda en el país de derivados de petróleo. (Cabrera, 2016, pp. 25-30)

1.2.4. Variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz

1.2.4.1. Densidad

La importancia de realizar el cálculo de la densidad radica en que los residuos de maíz de baja densidad, necesitan un mayor volumen de almacenamiento y transporte. Mientras que los residuos de alta densidad necesitan un menor espacio para poder ser aprovechados energéticamente.

El área que ocupan los residuos de maíz dentro de un lugar determinado, se considera un problema al momento de manejarlos y eliminarlos. La determinación de la densidad de estos residuos, aporta al dimensionamiento de contenedores de almacenamiento y ayudará a conocer la capacidad necesaria y demás requerimientos que se deberán tomar en cuenta para posibles propuestas de aprovechamiento de la biomasa residual con fines energéticos.

1.2.4.2. Poder Calorífico

Se denomina poder calorífico a la cantidad de energía que es desprendida en una reacción, por el método de combustión. Definida también como el nivel de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico, de combustible al momento de oxidarse en una forma completa. Representa la energía límite que puede emitir la fusión química de un combustible y un comburente, y es equivalente a la energía que mantenía fusionados a los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la constitución de moléculas nuevas, en las materias establecidas en la combustión. (Ponce, 2015)

1.2.4.3. *Humedad*

El porcentaje de humedad es la cantidad de agua que se encuentra en un residuo y que va a ser volatilizada. Esto varía en cada uno de ellos de acuerdo a varios factores, como la composición del residuo, el sitio o lugar geográfico donde se desarrollan, y las diferentes estaciones del año. La determinación del porcentaje de humedad en la evaluación del potencial energético es un factor primordial, puesto que mientras mayor sea la humedad del residuo, se torna más complejo efectuar una combustión, por el contrario si la humedad del residuo es menor, el aprovechamiento energético será de mayor eficiencia. Un pequeño porcentaje de humedad disminuye la gestión de los residuos, el costo de transporte, y de esta manera se puede aprovechar de una mejor manera. (Lindao et al., 2016: pp. 89-96)

1.2.4.4. *Cenizas*

Las cenizas son todos aquellos residuos sólidos de estructura muy fina que proceden de una combustión. Este polvo fino de coloración gris, es susceptible de ser arrastradas por diferentes factores como el viento. Las cenizas son el resultado obtenido luego de la calcinación de la materia orgánica. La calcinación debe realizarse a una temperatura óptima, tomando en cuenta que dicha temperatura debe ser lo suficientemente alta para que pueda destruir la materia orgánica totalmente, pero observando que la temperatura no sea excesiva y de esta forma evitar que los compuestos inorgánicos puedan sufrir alteraciones como: fusiones, descomposiciones, cambio de estructura, entre otros. A nivel de laboratorio es importante realizar 9 réplicas, para evitar posibles errores. (Romero, 2012. pp. 7-10)

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Localización de los recursos

El desarrollo del trabajo consideró ocho de las nueve parroquias rurales del cantón Guano donde existen cultivos de maíz y dos parroquias urbanas. El cantón Guano se encuentra situado en la parte norte de la provincia de Chimborazo, posee como límites al Norte Tungurahua, al Sur y al Oeste el cantón Riobamba y una mínima porción de la Provincia de Bolívar, y por último al Este con el río Chambo, en cuya superficie se cultiva una gran cantidad de maíz. (Montenegro, 2014, pp. 26-32)

2.2. Obtención de la muestra

2.2.1. *Población de estudio*

Componentes estructurales del maíz suave seco y maíz suave choclo de las 10 parroquias objeto de estudio del cantón Guano. (Hojas, cañas y tusas)

2.2.2. *Tamaño de la muestra*

8 kg de residuos de hojas de maíz, 8 kg de caña de maíz, y 8 kg de tusas de maíz.

2.2.3. Selección de las muestras

Mediante la ayuda de un rastrillo y un plástico de invernadero, empleando el método del cuarteo (tres cuarteos descartando los lados opuestos, y obteniendo finalmente una muestra representativa) con los residuos de maíz del cantón Guano.

El proceso se repitió para cada uno de los componentes del maíz: maíz suave seco y maíz suave choclo. (hojas, cañas y tusas)

La selección de la muestra se la realizó con base en información documentada de revistas, artículos científicos y de acuerdo a la cantidad de residuos necesarios para los distintos análisis de campo y de laboratorio.

2.3. Técnicas de recolección de datos

Dentro de las técnicas de recolección de datos se trabajó en la recopilación de información documentada, trabajo de campo y a partir de análisis de laboratorio realizados a los distintos tipos de residuos de maíz. Los datos generados a partir de los análisis fueron ordenados mediante formatos y tablas, especificando el código de muestra, tipología de maíz, fechas en las que fueron emitidos, lugar donde se realizaron y los equipos utilizados en cada uno de los procedimientos.

La evaluación del potencial energético y análisis inmediatos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química Analítica e Instrumental y Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, y en el Laboratorio de Análisis Químico FIAGR de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato.

2.4. Caracterización de las variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz

2.4.1. Cálculo de la producción total de residuos de maíz en el cantón Guano

La metodología aplicada tuvo inicio con recolección de datos de 8 parroquias rurales del cantón Guano: San Andrés, San Isidro, San Gerardo, San José de Chazo, Valparaiso, Ilapo, La

Providencia, Guanando, así como también se consideró a 2 parroquias urbanas: La Matriz y El Rosario, en las cuales tomando como base sus Planes de Ordenamiento Territorial, se logró identificar que cada una cuenta con producción de maíz en sus dos tipos de estados cosechados: maíz suave seco que se lo cosecha como grano seco cuando la mazorca se encuentra con una consistencia dura, y maíz suave choclo que se lo cosecha como grano o choclo tierno cuando la mazorca se halla con una consistencia blanda.

Con visitas continuas a las distintas parroquias y con la colaboración de sus actores representativos, se tomaron datos que ayudaron a determinar la producción total de los residuos de maíz en el cantón, considerando sus componentes estructurales: hojas, cañas y tusas.

La recopilación de la información obtenida se registró en una tabla que relaciona las variables contenía ciertas variables necesarias para el estudio y que se detallan a continuación:

- ✓ Código de muestra
- ✓ Parroquia
- ✓ Representante parroquial (actores y grupo base)
- ✓ Fecha de recolección de datos
- ✓ Hora de recolección de datos
- ✓ Tiempo promedio de desarrollo (meses)
- ✓ Superficie cultivada (ha)
- ✓ Número de plantas por cada metro cuadrado
- ✓ Número total de plantas
- ✓ Tamaño de la planta (m)
- ✓ Peso de hojas (kg)
- ✓ Peso de cañas (kg)
- ✓ Peso de tusas (kg)
- ✓ Peso total planta de maíz (kg)
- ✓ Peso producción total de residuos de maíz (T)

2.4.1.1. *Código de muestra*

Las muestras fueron etiquetadas adecuadamente, con el fin de evitar posibles confusiones. Para el maíz suave choclo se utilizó las siglas MSC, acompañadas de la serie del 1 al 10, para representar a las 10 parroquias de estudio, es decir, MSC1, MSC2, MSC3, MSC4, MSC5, MSC6, MSC7, MSC8, MSC9, MSC10.

Para el maíz suave seco se utilizaron las siglas MSS, acompañadas con la serie del 1 al 10: MSS1, MSS2, MSS3, MSS4, MSS5, MSS6, MSS7, MSS8, MSS9, MSS10.

2.4.1.2. *Parroquia*

Las parroquias objeto de estudio fueron asignadas y visitadas en el siguiente orden:

1. San Andrés
2. San Isidro
3. San Gerardo
4. San José de Chazo
5. Valparaiso
6. Ilapo
7. La Providencia
8. Guanando
9. La Matriz
10. El Rosario

2.4.1.3. *Representante parroquial (actores y grupo base)*

Los representantes parroquiales fueron contactados en muchos de los casos con anterioridad, para agendar un día de visita y de esta manera recolectar la información requerida. Solicitando el número de hectáreas cultivada y tiempo promedio de crecimiento de la planta.

2.4.1.4. *Fecha y hora de recolección de datos*

La recolección de datos se lo realizó desde el 02 al 13 de abril del 2018, en horas de la mañana, con una duración aproximada de tres horas en cada parroquia.

2.4.1.5. *Tiempo promedio de desarrollo*

Estos dos tipos de estados se diferencian en el tiempo en el que son cosechados, es decir en su tiempo promedio de desarrollo, el maíz suave seco tarda aproximadamente de 6 a 8 meses para poder ser cosechado, mientras que el maíz suave choclo tarda de 4 a 6 meses, hasta poder alcanzar su punto de cosecha.

Los tiempos promedios de desarrollo varían considerablemente de acuerdo al tipo y estado de la semilla, como también en función al lugar donde haya sido sembrado y sus diversas condiciones climatológicas, que se relacionan directamente con el desarrollo de los cultivos de maíz.

2.4.1.6. *Superficie cultivada*

Dicha información fue proporcionada por los diferentes representantes parroquiales (actores y grupos base) del cantón Guano y mediante los Planes de Ordenamiento Territorial, dónde se solicitó el número de hectáreas cultivadas, tanto de maíz suave seco, como de maíz suave choclo.

2.4.1.7. *Número de plantas por cada metro cuadrado*

Para lo cual se lo realizó por medio de transectos, que es una técnica de muestreo rápido muy utilizada para la observación y registro de datos con la finalidad de obtener el número de plantas existentes por cada metro cuadrado, y adquirir la información requerida sobre la flora de una zona determinada sin necesidad de analizarla en su totalidad.

Consistió en realizar mediciones sobre la vegetación con la ayuda de un flexómetro y tomando como punto de referencia los pequeños canales por donde circula el agua en los cultivos, y después estos resultados fueron proyectados con el número total de hectáreas de maíz cultivado en el cantón Guano.

2.4.1.8. Número total de plantas

El número total de plantas se lo halló con base en los datos de número de hectáreas cultivadas de maíz y número de plantas por metro cuadrado que fueron halladas por medio de transectos.

2.4.1.9. Tamaño de la planta

El tamaño de la planta fue tomado por medio de un flexómetro, de forma vertical. Utilizando la unidad fundamental de medida dentro del Sistema Internacional para la longitud, el metro. Este es un factor importante que aportó en el conocimiento de la cantidad de residuos de maíz, según esta variable por cada parroquia estudiada, es decir, proporcionó información respecto a en qué parroquia sería más rentable realizar este tipo de procesos de aprovechamiento energético de biomasa residual.

2.4.1.10. Peso

El peso de hojas, tallos, tusas y peso total de la planta de maíz, se lo halló mediante una balanza técnica en el Laboratorio de Química Analítica de la ESPOCH para pesos menores a 1 kg, y una balanza digital portátil para pesos mayores a 1 kg. Para obtener los pesos se procedió a segmentar por completo la planta de maíz y colocar en fundas etiquetadas de acuerdo al tipo de residuo que contenían en su interior (hojas, tallos y tusas) para finalmente encontrar los pesos totales de las plantas de maíz. Con el fin de evaluar y comparar entre las distintas parroquias, el peso total de residuo de maíz y que parte o porción de la planta de maíz arroja un peso mayor para ser aprovechado.

2.4.1.11. *Peso producción total de residuos de maíz*

Este dato se lo obtuvo multiplicando, el peso total de la planta de maíz por el número total de plantas en cada parroquia, dándonos los resultados en kilogramos que fueron transformados a toneladas, puesto que esta la unidad de medida común para representar la producción total de residuos.

2.4.2. *Cálculo de densidad de los residuos de maíz en el cantón Guano*

Para hallar la densidad dentro del estudio se utilizó el Método sencillo del análisis de residuos sólidos, emitido por el Dr. Kunitoshi Sakurai (Cano, 2016, p. 4), el cual consistió en preparar un recipiente cilíndrico de dimensiones y peso conocido, tomando en cuenta su radio, peso y la altura de los residuos de maíz dentro del mismo.

Los residuos de maíz fueron previamente clasificados en hojas, cañas y tusas, y colocados en el interior del cilindro sin ejercer ningún tipo de presión y se elevó el recipiente del nivel del suelo unos 20 cm aproximadamente, haciéndolo caer tres veces para de esta manera uniformizar la muestra y llenar los espacios vacíos dentro del recipiente.

Una vez colocados los residuos se procedió a tomar el peso del recipiente con los residuos, y por diferencia entre el peso total y el peso del recipiente vacío, se obtuvo el peso de los residuos. Por otro lado, después de haber obtenido el peso y el volumen, se halló la densidad de hojas, cañas y tusas, tanto de maíz suave seco como maíz suave choclo, para conocer la cantidad de masa en cierta cantidad de volumen, por medio de la fórmula:

$$d = \frac{m}{v} = \frac{m}{\pi * r^2 * h} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

d= densidad de los residuos de maíz (kg/m³)

m= masa (kg)

v= volumen del recipiente (m³)

r= radio del cilindro (m)

h= altura de los residuos de maíz dentro del cilindro (m)

Fuente: (Montenegro, 2014, p. 26)

Para llevar el registro de los valores se realizó una tabla que contenía los siguientes datos:

- ✓ Código de muestra
- ✓ Masa (kg)
- ✓ Volumen (m³)
- ✓ Densidad (kg/m³)

Los datos fueron registrados acorde al residuo que se analizó. Para el maíz suave choclo se utilizó las siglas MSC, y para el maíz suave seco MSS, seguida por la inicial del residuo, es decir, H para hojas, C para cañas y T para tusas. Donde las muestras fueron representadas de la siguiente manera: MSCH, MSCC, MSCT, MSSH, MSSC y MSST.

Los procedimientos de obtención de masa, volumen y densidad, fueron realizados para las 6 muestras, es decir para las 3 muestras de residuos de maíz suave seco y 3 muestras de maíz suave choclo, distribuidas en hojas, tusas y cañas, y haciendo tres repeticiones por cada una de las muestras.

2.4.3. Recolección y preparación de muestras

2.4.3.1. Recolección de muestras

Para realizar el análisis de los parámetros humedad, cenizas y poder calorífico, únicamente se necesitó una pequeña fracción del total de muestra recolectada en campo.

Inicialmente se procedió a la recolección de los residuos de maíz al azar en las 10 parroquias del cantón Guano, maíz suave seco y maíz suave choclo, por cada parroquia. Se clasificaron los residuos de maíz en hojas, cañas y tusas, para a continuación ser pesados por medio de una balanza digital portátil. Aproximadamente fueron recolectados 8 kg de residuos de hojas, 8 kg de caña y 8 kg de tusas, para los diferentes análisis de laboratorio.

2.4.3.2. Preparación de muestras

Se llevó a cabo la preparación de muestras, que consistió en eliminar posibles partículas de tierra alojadas en los residuos de maíz, por medio de pequeñas escobillas y franelas, realizando ligeros y delicados movimientos sobre los mismos. Se procedió a picar cada uno de los residuos de maíz en fracciones menores a un centímetro con la ayuda de un picador de vegetales del Laboratorio de Operaciones Unitarias, que fue previamente sellado, para evitar pérdidas de los residuos y también prevenir que estos puedan ser proyectados con fuerza a ciertas partes del cuerpo. Debido a su consistencia dura, las cañas, no pudieron ser triturados en el picador de vegetales, por lo que se realizó el proceso de picado manualmente con un cuchillo de cortes finos.

El propósito por el cual se llevó a cabo el proceso de picado, se fundamentó en homogenizar la muestra, facilitar el proceso de secado y obtener una muestra representativa mediante el método del cuarteo.

2.4.3.2.1. Método del cuarteo

Ésta técnica de muestreo consistió en la mezcla de residuos de maíz, ya sean estos hojas, cañas o tusas, por separado y en sus dos tipos de estados, con la ayuda de un rastrillo y sobre plástico de invernadero, posteriormente se efectuaron tres cuarteos, que consisten en dividir los residuos en cuatro partes lo más uniformemente posible y se descartaron los lados opuestos, donde se obtuvo finalmente una muestra representativa de cada residuo, de la siguiente manera:

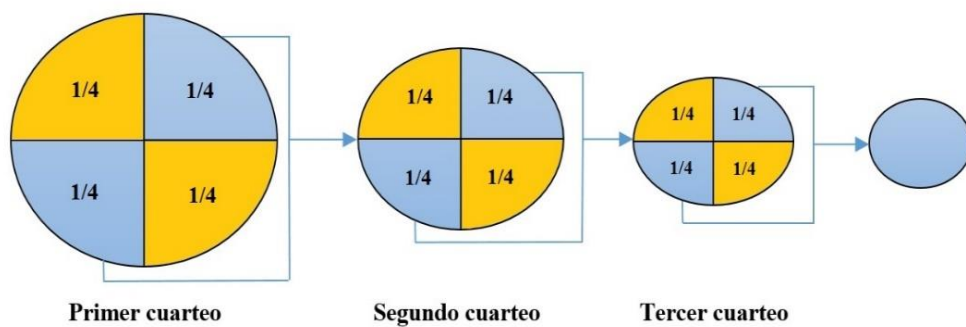


Gráfico 1-2: Método del cuarteo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Continuamente estos fueron almacenados en lonas por escasas horas y rápidamente se llevó a cabo la caracterización de las variables de la biomasa residual, que fue fundamental para la selección de la aplicación tecnológica más apropiada dentro de la propuesta de aprovechamiento energético en el cantón Guano.

Así pues, para poder estimar la producción de energía existente en la biomasa residual, fue necesario definir ciertos parámetros a nivel de laboratorio como: humedad, cenizas y poder calorífico.

De todos los parámetros antes mencionados, el de mayor relevancia que permitió valorar las características energéticas de los residuos de maíz, fue el poder calorífico, que se relaciona con la humedad, puesto que cuanto mayor es la humedad presente, el valor del poder calorífico disminuye.

2.4.4. *Determinación del porcentaje de humedad*

La determinación de la humedad se lo realizó por dos métodos en el Laboratorio de Química Analítica de la ESPOCH. El primer método mediante el uso de una balanza de humedad y el segundo por medio de una estufa a 105 °C.

2.4.4.1. *Determinación del porcentaje de humedad mediante la balanza de humedad*

En el primer método de obtención del porcentaje de humedad, previamente fue calibrada la balanza, para evitar posibles errores y en este caso no fue necesario el uso de fórmulas para determinar la humedad total, ya que el equipo emite el resultado directamente.

Los resultados del porcentaje de humedad fueron recolectados usando el siguiente formato:

- ✓ Código de muestra
- ✓ Número de repetición

- ✓ Peso inicial (gramos)
- ✓ Peso final (gramos)
- ✓ Tiempo (minutos)
- ✓ Porcentaje de humedad (%)

2.4.4.1.1. Código de muestra

El código de muestra fue colocado de acuerdo al tipo de maíz y a su fracción de residuo, de igual forma que en casos anteriores con las siglas MSC para maíz suave choclo, y MSS para maíz suave seco, acompañado de la primera letra de la fracción de residuo que se analizó, H para identificar a hojas, C para cañas, y T para tusas, de la siguiente manera: MSCH, MSCC, MSCT, MSSH, MSSC, MSST.

2.4.4.1.2. Número de repetición

Para obtener datos más fiables se realizaron tres repeticiones por cada muestra, que posteriormente fueron promediadas. Es decir se obtuvieron 18 valores, 9 de maíz suave seco y 9 de maíz suave choclo, distribuidas en: 3 valores de hojas, 3 de cañas y 3 de tusas. El número de repetición fue identificado con la serie del 1 al 3 respectivamente.

2.4.4.1.3. Peso inicial

Esto hace referencia al peso o cantidad de residuo que fue colocado inicialmente en la pequeña bandeja que se encuentra en el interior de la balanza de humedad a la cual previamente se la limpió con toallas de cocina y se añadió los 5 gramos de muestra representativa obtenida por el método de cuarteo y pesada con anterioridad en una balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

2.4.4.1.4. Peso final

El peso final se lo obtuvo después de haber transcurrido el tiempo requerido por el equipo, el mismo que emite un sonido indicando el término del proceso y la palabra “end” en la pantalla de la balanza de humedad donde se observó el peso del residuo, después de que ha sido evaporado todo el porcentaje de humedad.

2.4.4.1.5. Tiempo

El tiempo aproximado de trabajo de la balanza de humedad, antes de emitir los resultados, fue de treinta a noventa minutos, dependiendo de la cantidad de humedad presente en las distintas muestras y de la balanza de humedad. Mientras más porcentaje de humedad tenía la muestra, el tiempo en que el equipo arrojaba los resultados era mayor.

2.4.4.1.6. Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad finalmente se lo observó en la pantalla de la balanza de humedad, y correspondió al dato que se representó como %_R una vez finalizado el proceso.

2.4.4.2. Determinación de la humedad mediante la estufa a 105 °C

El porcentaje de humedad se lo halló aplicando el método de gravimetría indirecta, empleando el cálculo de la pérdida de peso de la muestra debido a la evaporación de agua, fundamentado básicamente en el pesaje de una muestra, secado en una estufa durante varias horas para observar la variación del peso. Se obtuvo el porcentaje de humedad por la diferencia de peso seco y húmedo.

Este segundo método se llevó a cabo por medio de una estufa a 105 °C, donde se tomó una cantidad apropiada de muestra representativa de residuo, obtenido por el método del cuarteo,

pesándola en una balanza técnica, y a éste se consideró como el peso inicial, que varía dependiendo del tipo de muestra.

Las bandejas de la estufa fueron cubiertas por completo con papel aluminio realizando pequeños agujeros sobre el mismo, con el objetivo de que exista un mayor flujo de calor y se colocaron las muestras esparciendo sobre la bandeja de manera uniforme, con la ayuda de guantes para no alterar los resultados del análisis.

Durante este proceso se realizaron pesajes continuos, retirando la muestra de la estufa y colocandolo en un desecador de 15 a 20 minutos antes de pesar, con la finalidad de que los resultados del pesaje puedan ser más acertados, ya que al estar sometidos los residuos a altas temperaturas, pueden variar los resultados. Hasta que se obtuvo un peso constante en las distintas muestras, que fueron registrados para proceder a realizar los cálculos de porcentaje humedad.

El porcentaje de humedad se determinó según la norma ASTM E1756-08 (2008), método de prueba estándar para la determinación de sólidos totales y humedad en biomasa. Para el registro de datos se realizó una tabla donde se encontraban los siguientes parámetros:

- ✓ Código de muestra
- ✓ Número de repetición
- ✓ Peso inicial (gramos)
- ✓ Peso final (gramos)
- ✓ Tiempo (minutos)
- ✓ Porcentaje de Humedad (%)

2.4.4.2.1. *Código de muestra*

De la misma manera que en la determinación de humedad mediante la balanza de humedad, el número de muestra fue colocado de acuerdo al tipo de maíz y a su fracción de residuo, de la siguiente forma: MSCH, MSCC, MSCT, MSSH, MSSC y MSST.

2.4.4.2.2. *Número de repetición*

Se realizaron tres repeticiones por cada muestra, para posteriormente promediarlas y tener datos más óptimos. Es decir se obtuvieron 18 valores, al igual que el primer método.

2.4.4.2.3. *Peso inicial*

Corresponde a los residuos obtenidos por el método de cuarteo, que fueron pesados en una balanza técnica y colocados en las bandejas de la estufa a 105 °C, para que se lleve a cabo el proceso de secado.

2.4.4.2.4. *Peso final*

El peso final se lo obtuvo después de haber transcurrido el tiempo requerido para el secado total y se lo conoce también como peso constante.

2.4.4.2.5. *Tiempo*

Las muestras de maíz suave seco (hojas, cañas y tusas), se sometieron por 12 horas en la estufa y maíz suave choclo (hojas, cañas y tusas) a 24 horas, que fue el tiempo promedio donde se obtuvo un peso constante.

2.4.4.2.6. *Porcentaje de humedad*

Para hallar el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

Pi= Peso inicial de la muestra en gramos.

Pf= Peso final de la muestra en gramos. (Después del proceso de secado a 105 °C)

Fuente: (Armas, 2017, p. 11)

2.4.5. Determinación de cenizas

Mediante la determinación del porcentaje de cenizas se logró conocer la cantidad de materia sólida no combustible de los residuos de maíz. Debido a que en los procesos de aprovechamiento energético de la biomasa residual que incluyen la combustión, es primordial tomar en cuenta dicho porcentaje, ya que podrían ocasionar deterioro o fallas de los equipos a causa de la formación de escorias.

Las cenizas forman parte del rechazo provocado por el proceso de incineración de los residuos. Durante la combustión, se quema la parte orgánica y la inorgánica influye en la formación de cenizas. Tanto la composición, como la cantidad de las cenizas dependen significativamente de las condiciones en las que se realiza la incineración, por tanto es importante tomar en cuenta a la hora de llevar a cabo, ser precisos, respetando fielmente las condiciones operatorias óptimas, para que los resultados obtenidos sean comparables y no se obtengan datos atípicos.

Inicialmente se realizó la limpieza de los crisoles de 50 ml, con el fin de eliminar pequeños residuos alojados en los mismos y se los colocó en la mufla por 3 horas con la ayuda de una pinza y guantes para trabajar con altas temperaturas, donde los mismos fueron tarados a 500 °C, con el propósito de eliminar la humedad presente dentro y fuera de los crisoles. Seguidamente se colocaron los crisoles en un desecador de 15 a 20 minutos, hasta obtener un peso constante, registrando los datos obtenidos. Por cada muestra se tomaron 9 crisoles, que es el número adecuado según información documentada y de acuerdo a la norma aplicada, para poder comparar entre sí los resultados. Es decir se necesitaron 27 crisoles para maíz suave seco y 27 crisoles para maíz suave choclo.

Se colocó el mismo peso de muestra en el interior de los 9 crisoles, para a continuación ser introducidos en la mufla a una temperatura de 500 °C por 6 horas, hasta que se efectúe una calcinación completa.

Después de haber transcurrido este tiempo se deja enfriar la mufla, y los crisoles fueron tomados con una pinza colocandolos en el desecador de 15 a 20 minutos, para que finalmente fueran pesados. La norma utilizada en dicho proceso fue la ASTM E1755 – 01 (2007), método de prueba estándar para cenizas en biomasa. Este método de prueba abarca la determinación de cenizas, de biomasa residual, tales como residuos de maíz, trigo, entre otros. Para el registro de datos se realizó una tabla donde se describen los siguientes datos:

- ✓ Código de muestra
- ✓ Número de repetición
- ✓ Peso del crisol vacío (gramos)
- ✓ Peso de la muestra (gramos)
- ✓ Peso del crisol con las cenizas (gramos)
- ✓ Porcentaje de cenizas (%)

2.4.5.1. *Código de muestra*

Los crisoles fueron rotulados antes de ser tarados y pesados inicialmente. Para identificar al maíz suave choclo se utilizaron las siglas MSC, y para el maíz suave seco MSS, seguida por la inicial del residuo, es decir, H para hojas, C para cañas y T para tusas. De la siguiente forma; MSCH, MSCC, MSCT, MSSH, MSSC, y MSST.

2.4.5.2. *Número de repetición*

El número de repeticiones o réplicas fueron 9, que es el número recomendado de réplicas que deben hacerse por cada muestra, es decir se realizaron 54 repeticiones.

2.4.5.3. *Peso del crisol vacío*

Es el peso tomado después de ser lavados, tarados en la mufla y puestos en el desecador, para su posterior pesaje.

2.4.5.4. *Peso de la muestra*

Es el peso del residuo de maíz obtenido por el método del cuarteo, que se lo registra antes de ser colocado en cada uno de los crisoles y se lo halla en una balanza analítica de sensibilidad 0.1 mg. Este peso varía de acuerdo al tipo de muestra a analizar.

2.4.5.5. *Peso del crisol con las cenizas*

Es el peso después de haber realizado la calcinación completa en la mufla y previamente colocado en el desecador.

2.4.5.6. *Porcentaje de cenizas*

Para encontrar el porcentaje de cenizas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P-p}{M} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

P= Peso del crisol con las cenizas en gramos.

p= Peso del crisol vacío en gramos.

M= Peso de la muestra en gramos.

Fuente: (Arvizu, 2014, p. 7)

2.5. Aplicación de la propuesta metodológica en la determinación del poder energético presente en el caso de estudio.

Antes de determinar del poder energético, fue necesario realizar una serie de procedimientos y metodologías con las muestras representativas de las distintas fracciones de los residuos de maíz pertenecientes a las 10 parroquias del cantón Guano. Cada uno de estos pasos se detallan a continuación:

2.5.1. Secado de residuos de maíz

Para hallar el poder calorífico, mediante una bomba calorimétrica, las muestras fueron deshidratadas totalmente con la ayuda de una estufa a 105 °C, se sometió por 24 horas al maíz suave choclo (hojas, cañas y tusas) y 12 horas al maíz suave seco. Los residuos antes de ingresar a la estufa fueron pesados en una balanza analítica con sensibilidad de 0,1 mg, y colocados en las bandejas de la estufa previamente forradas con papel aluminio, realizando diminutas perforaciones en los mismos. Posterior al tiempo citado, de someter las muestras al desecador de 15 a 20 minutos, se pudo obtener un peso constante.

Al ser deshidratadas las muestras de maíz suave seco y maíz suave choclo, ambas muestras se quedaron en el mismo punto y no existió diferencia alguna según información documentada en artículos científicos referentes al potencial energético, para lo cual se procedió a homogenizar cada uno de los componentes de las muestras de maíz suave seco y maíz suave choclo.

Las muestras de los residuos de maíz después del secado, fueron adecuadamente etiquetadas como: MH (muestra de hojas), MC (muestra de cañas) y MT (muestra de tusas), para consecutivamente ser colocadas en fundas ziploc asegurando su identificación, integridad y conservación hasta la siguiente fase de molienda.

2.5.2. *Molienda de residuos de maíz*

Las muestras sólidas pueden ser suministradas en una bomba calorimétrica en forma de pellet, con un diámetro no mayor a 1 cm, sin embargo la forma óptima es en forma de polvo fino.

En un molino sinfín se procedió a realizar la molienda, colocando de a poco pequeñas cantidades de cada muestra. De ser necesario se volvió a colocar las mismas muestras por segunda vez, hasta obtener un residuo muy fino. Al observar que los residuos aún presentaban partículas no muy finas, en comparación a las que se requiere en la bomba calorimétrica, se procedió a sernir las muestras con ayuda de un colador, para eliminar los residuos de mayor diámetro.

2.5.3. *Determinación del poder calorífico*

La bomba calorimétrica permitió determinar el poder calorífico de los residuos de maíz, realizando su combustión en atmósfera de oxígeno. Este análisis se lo realizó en base seca, utilizando una bomba calorimétrica IKA C 2000. Se añadió 1 gramo de cada una de las 3 muestras: MH (muestra de hojas), MC (muestra de cañas) y MT (muestra de tusas), previamente deshidratadas y molidas. Y se realizaron 3 repeticiones por cada una de las 3 muestras, es decir se generaron 9 datos de poder calorífico, representados en J/g.

El funcionamiento de la bomba calorimétrica consistió básicamente en la combustión de una muestra, mediante la ignición con un conductor eléctrico provisto a una bomba o cámara inyectada con O₂, la cual contenía la muestra que se deseaba analizar. Al realizarse el proceso de combustión de la muestra, se emitió calor al agua circundante, lo que ocasionó un cambio de temperatura.

Se aplicaron las normas ASTM E711-87 (2004), método de prueba estándar para el valor calorífico bruto del combustible derivado de desechos por medio de la bomba calorimétrica y ASTM D5468-02 (2007), método de prueba estándar para el valor calorífico y el valor de cenizas de los materiales de desecho.

2.6. Elaboración de propuesta de aprovechamiento del residuo de maíz para el cantón Guano con base en los resultados obtenidos

2.6.1. *Propuesta de aprovechamiento energético*

La elección de una tecnología o propuesta de aprovechamiento energético de los residuos de maíz, conforme a los requerimientos y necesidades del cantón fue realizado con base en varios factores analizados a lo largo del proceso de estudio y aplicación, para saber con exactitud la factibilidad y viabilidad de llevar a cabo las propuestas de acuerdo a la tecnología a ser planteada y buscando que el proceso sea sostenible y sustentable.

La conversión de biomasa residual en energía, también denominada bioenergía abarca una extensa variedad de residuos, procesos, tecnologías de transformación y requerimientos de equipos dependiendo del uso final que se quiera dar a la energía. Los residuos de maíz, deben ser inicialmente cosechados, recolectados y almacenados, para ser transportados al lugar donde se va a realizar el aprovechamiento, mediante la selección de la tecnología más adecuada.

2.6.1.1. *Aspectos a considerar en la selección de la tecnología*

La biomasa residual puede ser convertida en fuentes potenciales de energía, por medio de variadas tecnologías. Los aspectos que se tomaron en cuenta al momento de seleccionar un tipo de proceso o tecnología adecuada para su aprovechamiento energético son: producción total de residuos de maíz, volumen, densidad, humedad, cenizas, poder calorífico, tipo de residuo que se desea utilizar, el uso final que se le va a dar y la cantidad de energía que se quiere generar. Puesto que no todos los residuos van a resultar idóneos para una misma tecnología.

2.6.1.2. *Selección de la tecnología o proceso adecuado*

Principalmente lo que se analiza es la finalidad que se quiere dar a la energía, con el objeto de implementar una tecnología acorde a los requerimientos. Considerando que el residuo a

aprovecharse es maíz y conforme a los aspectos anteriormente mencionados para la selección del proceso adecuado. Se descartaron las siguientes tecnologías:

2.6.1.2.1. Pirólisis

La pirolisis fue excluida, debido a que el subproducto generado en este proceso no puede ser utilizado en la generación de potencia de manera directa, es decir primeramente es necesario someter al residuo a varias transformaciones, que conllevan un mayor costo. Y su principal producto es bio-crudo.

2.6.1.2.2. Gasificación

A lo largo del tiempo este proceso ha sido realizado con aire, produciendo un gas pobre con un valor de poder calorífico muy bajo en comparación al obtenido mediante otros procesos, por lo que fue descartado para el aprovechamiento energético de residuos de maíz. Su principal producto es gas metano.

2.6.1.2.3. Digestión Anaerobia

Dentro de este proceso la biomasa residual que se requiere, debe contener un alto porcentaje de humedad, del 80% al 90%, y los residuos de maíz no cumple con este requisito. En donde su principal producto es gas metano.

2.6.1.2.4. Licuefacción

Al ser esta una tecnología en fase de desarrollo, el subproducto generado no puede ser utilizado en la producción de energía directamente, sino que se deben realizar varias transformaciones que ocasionan mayores costos. Actualmente no existe mayor interés en desarrollar esta tecnología pues conlleva procesos más complejos. Y su principal producto es bio-crudo.

2.6.1.2.5. Fermentación

Se lleva a cabo principalmente para generar combustibles líquidos. La fermentación de biomasa residual con porcentaje de lignocelulosa como la que poseen los residuos de maíz, se torna más complejo debido a la estructura que contiene dicho residuo y en la actualidad aún está en proceso de desarrollo y en etapas de prueba. El principal producto obtenido mediante esta tecnología es etanol.

2.6.1.3. Combustión

Después de haber realizado el anterior análisis, en base a información documentada, se pasó a evaluar la tecnología restante, que dentro del trabajo de titulación es la más apta para el aprovechamiento energético de residuos de maíz, denominada combustión.

El amplio desarrollo que a adquirido esta tecnología a lo largo del tiempo, es lo que la determina como factible de realizar, por lo que abastece energía a diversas escalas, que van desde pequeños secadores a grandes calderas. La combustión es una tecnología óptima para la generación de calor y electricidad y se lo considerada como un proceso de gran relevancia a nivel mundial debido a su versatilidad.

2.6.1.4. Componentes de la propuesta de aprovechamiento energético

Se consideraron las variables:

- Residuo, tipos de residuos, tecnología o proceso a realizarse, principal residuo generado, requerimiento a satisfacer dentro del cantón, eficiencia aproximada, ventajas e inversión.

Tabla 1-2: Componentes de la propuesta de aprovechamiento energético

Residuo	Tipo de residuos	Tecnología o proceso	Principal producto generado	Requerimiento a satisfacer dentro del cantón	Eficiencia aproximada	Ventajas que ofrece	Inversión en dólares
---------	------------------	----------------------	-----------------------------	--	-----------------------	---------------------	----------------------

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de las variables que intervienen en el poder calorífico de los residuos de maíz

3.1.1. Cálculo de la producción total de residuos de maíz en el cantón Guano

3.1.1.1. Residuos de maíz suave choclo

Tabla 1-3: Producción total de residuos de maíz suave choclo en el cantón Guano

Código de muestra	MSC1	MSC2	MSC3	MSC4	MSC5	MSC6	MSC7	MSC8	MSC9	MSC10
Parroquia	San Andrés	San Isidro	San Gerardo	San José de Chazo	Valparaiso	Ilapo	La Providencia	Guanando	La Matriz	El Rosario
Representante parroquial	Sr. Néstor Bravo	Ing. José Guevara	Sr. Manuel Zea	Sr. Patricio Sani	Sr. Felipe Guano	Lcda. Lucía Pérez	Sr. César Páez	Sr. María Estrada	Ing. Raúl Cabrera	Ing. Raúl Cabrera
Fecha de recolección de datos	02/04/2018	03/04/2018	04/04/2018	05/04/2018	06/04/2018	09/04/2018	10/04/2018	11/04/2018	12/04/2018	13/04/2018
Hora de recolección de datos	9:00 AM	8:15 AM	8:00 AM	9:15 AM	7:30 AM	8:00 AM	8:10 AM	7:45 AM	8:05 AM	7:50 AM
Tiempo promedio de desarrollo (meses)	4	4	5	5	6	6	6	5	4	4
Superficie cultivada (ha)	37,6	117,48	58,30	600,68	30,26	80,47	22,62	59,57	10,58	8,23
Número de plantas por cada m²	9	10	7	7	6	8	7	8	10	8
Número total de plantas	3384000	11748000	4081000	42047600	1815600	6437600	1583400	4765600	1058000	658400
Tamaño de la planta (m)	1,80	1,79	1,75	1,70	1,55	1,61	1,70	1,74	1,79	1,77
Peso de hojas (kg)	0,098	0,095	0,082	0,085	0,075	0,081	0,112	0,132	0,212	0,314

Peso de cañas (kg)	0,711	0,621	0,644	0,595	0,457	0,725	0,592	0,715	0,698	0,485
Peso de tusas (kg)	0,357	0,296	0,285	0,281	0,199	0,251	0,211	0,234	0,228	0,248
Peso total planta de maíz (kg)	1,166	1,012	1,011	0,961	0,731	1,057	0,915	1,081	1,138	1,047
Peso producción total de residuos (t)	3946	11889	4126	40408	1327	6805	1449	5152	1204	689

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En la Tabla 1-3 se observa los códigos de muestra de análisis por cada parroquia, nombre de los representantes parroquiales quienes proporcionaron la información necesaria, fecha y hora en que fueron recolectados los datos, con una duración aproximada de tres horas por cada parroquia, tiempos promedio de desarrollo o crecimiento de la planta antes de ser cosechado el maíz suave choclo, superficies cultivadas en hectáreas, información obtenida de los Planes de Ordenamiento Territorial, número de plantas por cada metro cuadrado que fue de gran ayuda para hallar el número total de plantas por cada parroquia, tamaños de las plantas en metros, pesos de hojas, tusas, cañas y peso total de la planta en kilogramos que se usó para obtener a continuación la producción total de residuos de maíz en toneladas.

3.1.1.1.1. *Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave choclo*

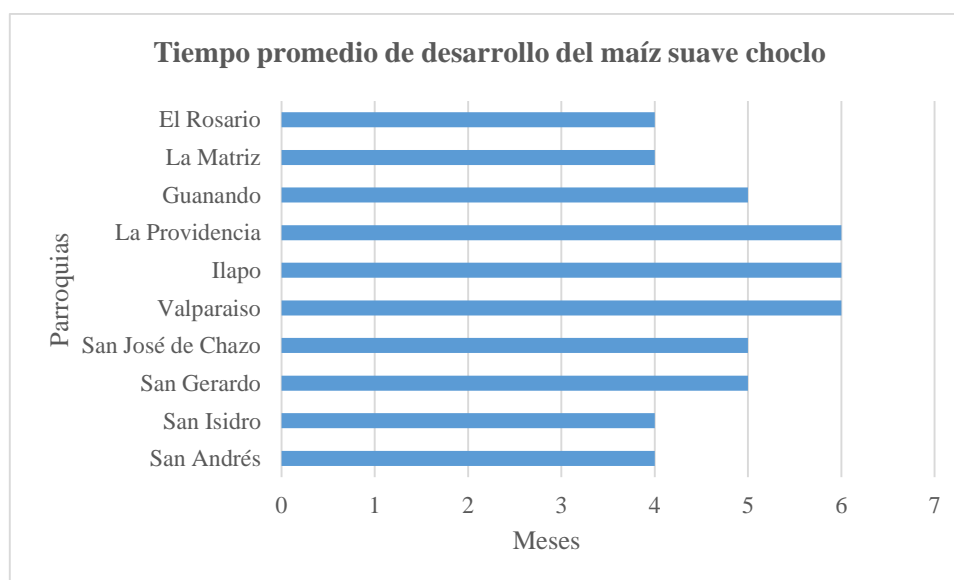


Gráfico 2-3: Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave choclo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Al realizar el análisis, en el Gráfico 2-3, se obtuvo como resultado que el tiempo promedio de desarrollo de las plantas de maíz suave choclo es de 5 meses. Las parroquias donde su crecimiento fue más rápido son: El Rosario, La Matriz, San Isidro y San Andrés (4 meses), mientras que en las parroquias La Providencia, Ilapo y Valparaíso (6 meses) existe un crecimiento lento. Este factor está asociado a las diferentes condiciones climatológicas, nutrientes del suelo, entre otros.

3.1.1.1.2. Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave choclo

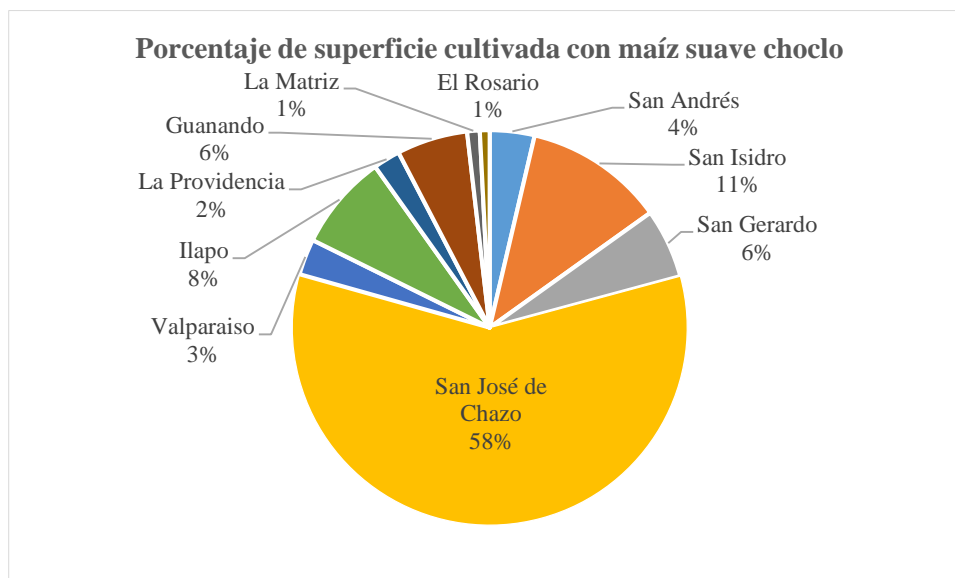


Gráfico 3-3: Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave choclo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Se muestra el porcentaje de superficie cultivada con maíz suave choclo. La parroquia donde más se cultiva este producto es en San José de Chazo con una superficie total de 600,68 ha, que corresponde a un 58 % de la producción total de maíz suave choclo en el cantón Guano, por otro lado, en la parroquia La Matriz y El Rosario que corresponden a la zona urbana del cantón, apenas cuentan con 10,58 y 8,23 ha respectivamente, lo que corresponde a un 1 %, para la parroquia La Matriz y 1 % para El Rosario.

3.1.1.1.3. Número total de plantas de maíz suave choclo

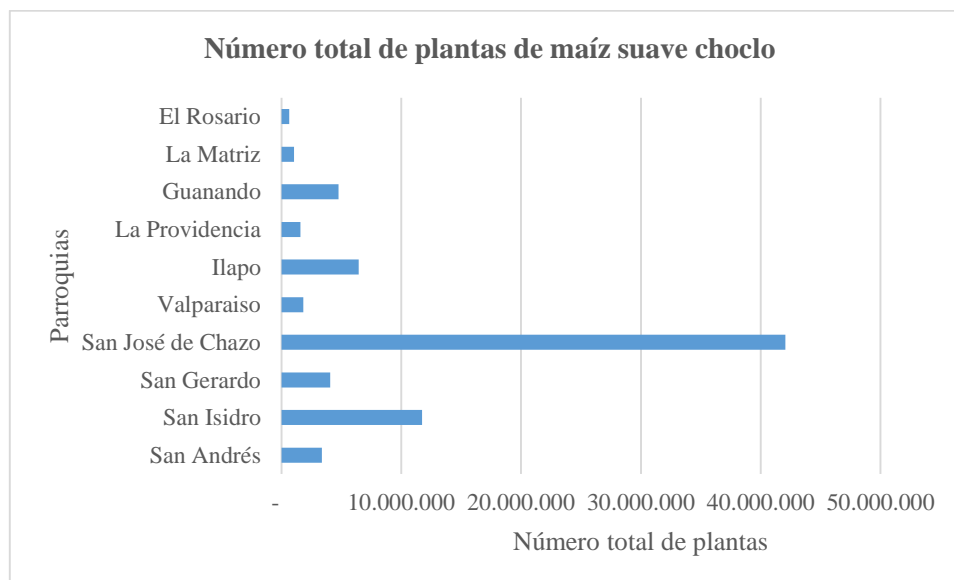


Gráfico 4-3: Número total de plantas de maíz suave choclo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Se representa el número total de plantas de maíz suave choclo que se lo obtuvo por medio de transectos, donde la parroquia San José de Chazo resalta por poseer 42047600 plantas de maíz suave choclo a lo largo de toda su superficie, útil para el aprovechamiento energético. Por otra parte la parroquia El Rosario posee un pequeño número de 658400 plantas de maíz suave choclo. Este análisis de campo fue realizado para conocer con exactitud el número plantas objeto de estudio, ya que en algunas de las parroquias se llevan a cabo los denominados cultivos mixtos (alfalfa / maíz, arveja / maíz).

3.1.1.1.4. *Tamaño de la planta de maíz suave choclo*

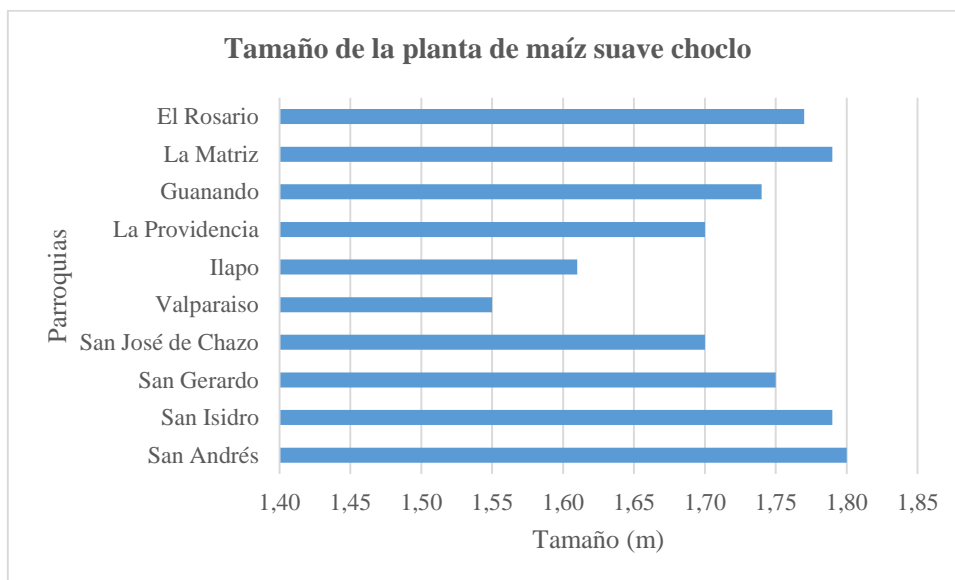


Gráfico 5-3: Tamaño de la planta de maíz suave choclo

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En el Gráfico 5-3 se muestra el tamaño de las plantas de maíz suave choclo en cada una de las parroquias del cantón Guano. En San Andrés se observó un mayor tamaño de las plantas de maíz que reflejan un mejor desarrollo de las mismas y por lo tanto un mayor potencial energético, por el contrario en la parroquia de Valparaiso la altura promedio de las plantas de maíz fue baja, las alturas estimadas para las parroquias referidas son 1,80 y 1,55 respectivamente.

3.1.1.1.5. *Composición porcentual de componentes de maíz suave choclo*

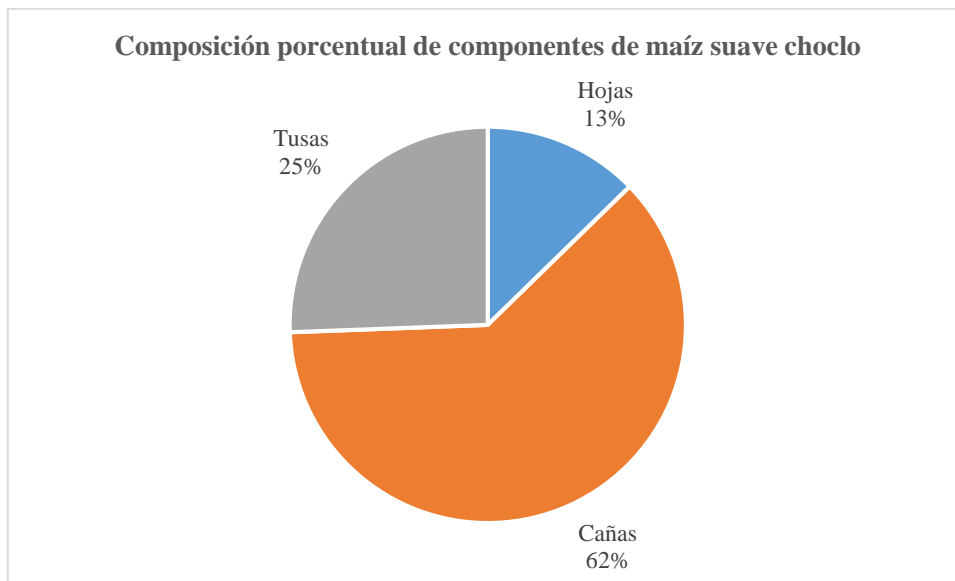


Gráfico 6-3: Composición porcentual de componentes de maíz suave choclo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

El Gráfico 6-3 representa la composición porcentual de componentes estructurales de maíz suave choclo en el cantón Guano, el cual se dividió: 62% en cañas, 25% en tusas, y apenas un 13% en hojas, se observó claramente que las cañas son los residuos que se generan en mayor proporción dentro de la planta de maíz.

3.1.1.1.6. Producción total de residuos de maíz suave choclo

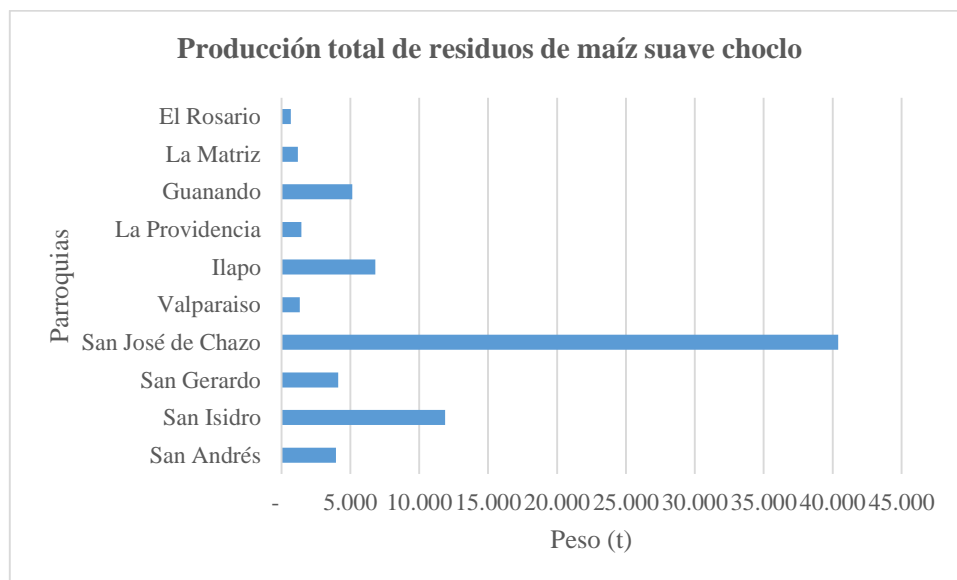


Gráfico 7-3: Producción total de residuos de maíz suave choclo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

El Gráfico 7-3 muestra el peso en producción total de residuos de maíz suave choclo, en donde se distingue notablemente que San José de Chazo es el mayor productor de residuos de este tipo, sin competencia alguna, los mismos que podrían ser usados con fines energéticos, con un peso total de 40408 toneladas aproximadamente. Por otra parte El Rosario representa la parroquia con menos generación de residuos de maíz suave choclo, con 689 toneladas.

3.1.1.2. Residuos de maíz suave seco

Tabla 2-3: Producción total de residuos de maíz suave seco en el cantón Guano

Código de muestra	MSS1	MSS2	MSS3	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7	MSS8	MSS9	MSS10
Parroquia	San Andrés	San Isidro	San Gerardo	San José de Chazo	Valparaiso	Ilapo	La Providencia	Guanando	La Matriz	El Rosario
Representante parroquial	Sr. Néstor Bravo	Ing. José Guevara	Sr. Manuel Zea	Sr. Patricio Sani	Sr. Felipe Guano	Lcda. Lucía Pérez	Sr. César Páez	Sr. María Estrada	Ing. Raúl Cabrera	Ing. Raúl Cabrera
Fecha de recolección de datos	02/04/2018	03/04/2018	04/04/2018	05/04/2018	06/04/2018	09/04/2018	10/04/2018	11/04/2018	12/04/2018	13/04/2018
Hora de recolección de datos	9:00 AM	8:15 AM	8:00 AM	9:15 AM	7:30 AM	8:00 AM	8:10 AM	7:45 AM	8:05 AM	7:50 AM
Tiempo promedio de desarrollo (meses)	6	6	7	7	8	8	8	7	6	6
Superficie cultivada (ha)	163,78	58,73	17,60	150,17	10,08	16,09	11,30	50,78	7,88	4,20
Número de plantas por cada m²	10	9	8	8	7	8	8	8	10	8
Número total de plantas	16378000	5285700	1408000	12013600	705600	1287200	904000	4062400	788000	336000
Tamaño de la planta (m)	1,75	1,76	1,73	1,68	1,53	1,60	1,68	1,72	1,77	1,74
Peso de hojas (kg)	0,058	0,065	0,052	0,051	0,036	0,053	0,049	0,059	0,069	0,054
Peso de cañas (kg)	0,511	0,413	0,441	0,321	0,412	0,429	0,498	0,615	0,539	0,485
Peso de tusas (kg)	0,158	0,194	0,115	0,179	0,101	0,121	0,139	0,094	0,178	0,142
Peso total planta de maíz (kg)	0,727	0,672	0,608	0,551	0,549	0,603	0,686	0,768	0,786	0,681
Peso producción total de residuos (t)	11907	3552	856	6619	387	776	620	3120	619	229

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En la Tabla 2-3 se observa los códigos de las muestras de maíz suave seco, nombres de los representantes parroquiales (proveedores de datos), fecha y hora de recolección, tiempo promedio de desarrollo o crecimiento de la planta, superficies cultivadas en hectáreas, número de plantas por cada metro cuadrado, tamaño de las plantas en metros, peso de hojas, tusas y cañas, peso total de la planta en kilogramos y la producción total de residuos de maíz en toneladas.

3.1.1.2.1. *Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave seco*

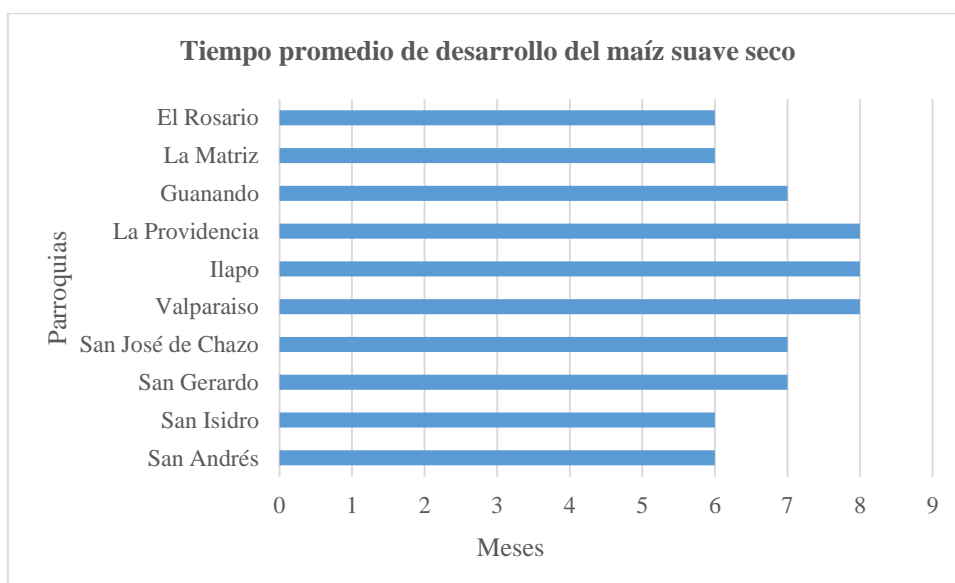


Gráfico 8-3: Tiempo promedio de desarrollo del maíz suave seco
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En el Gráfico 8-3 se refleja el tiempo promedio de desarrollo de las plantas de maíz suave seco, de 7 meses. Las parroquias donde su crecimiento fue más rápido son: El Rosario, La Matriz, San Isidro y San Andrés. Por otro lado en las parroquias La Providencia, Ilapo y Valparaíso se dio un crecimiento más tardío. Esta variable contribuyó en la determinación del tiempo en que las plantas de maíz se convierten en residuos para de esta forma poder actuar dentro de la propuesta de aprovechamiento energético.

3.1.1.2.2. Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave seco

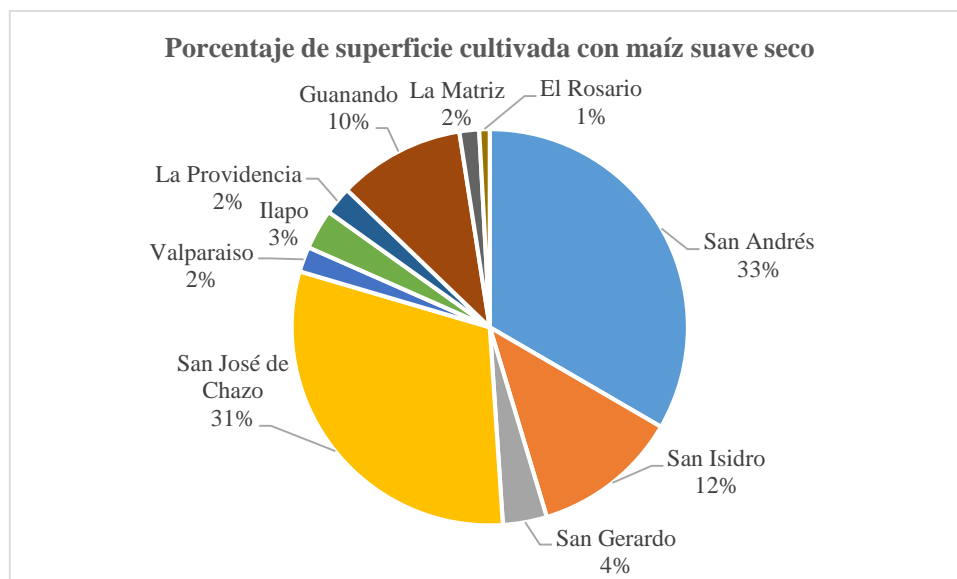


Gráfico 9-3: Porcentaje de superficie cultivada con maíz suave seco
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Se muestra el porcentaje de superficie cultivada con maíz suave seco. La parroquia donde más se cultiva este producto es San Andrés, con una superficie total de 163,78 ha, que corresponde a un 33 %, seguido muy de cerca por San José de Chazo con 150,17 ha equivalente al 31 % de producción total de maíz suave seco, mientras que la parroquia El Rosario apenas cuenta con 4,20 ha (1 %) dentro de la superficie cultivada.

3.1.1.2.3. Número total de plantas de maíz suave seco

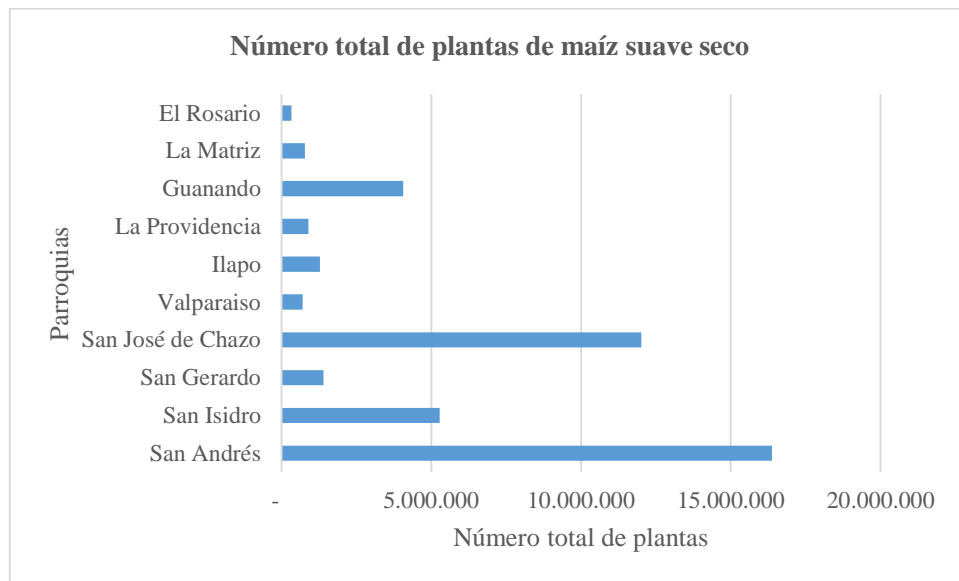


Gráfico 10-3: Número total de plantas de maíz suave seco
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En el Gráfico 10-3 se representa el número total de plantas de maíz suave seco, donde la parroquia San Andrés cuenta con 16378000 plantas de maíz a lo largo de toda su superficie. Por otra parte la parroquia El Rosario posee un número de 33600 plantas de maíz suave seco. Estos datos proporcionaron la información necesaria para saber de dónde se puede obtener mayor cantidad de residuos.

3.1.1.2.4. *Tamaño de la planta de maíz suave seco*

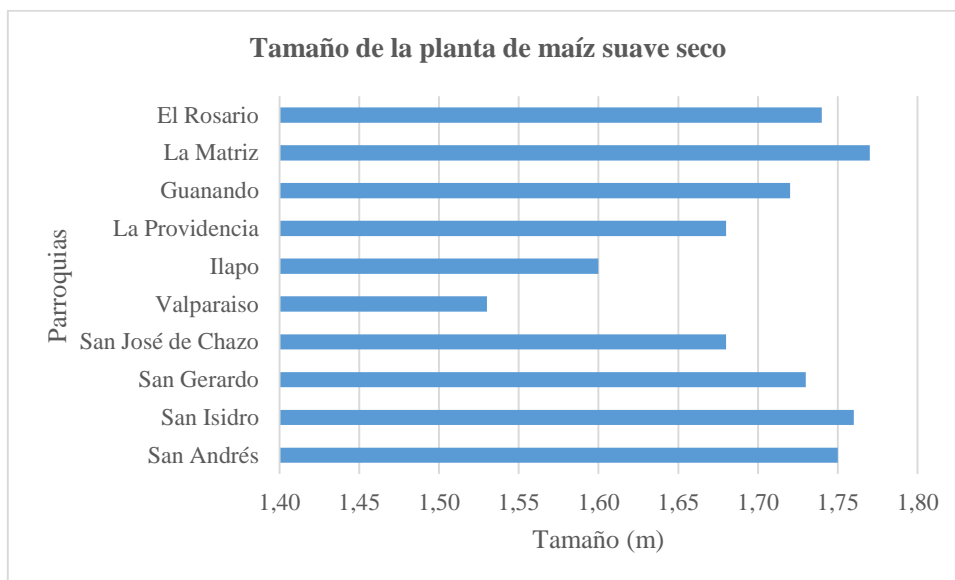


Gráfico 11-3: Tamaño de la planta de maíz suave seco
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En el Gráfico 11-3 se muestra el tamaño o altura de las plantas de maíz suave seco. En la parroquia La Matriz se observó que las plantas presentaban un mayor tamaño de las plantas que se puede asociar a ciertos factores nutricionales y abonos adicionados por los agricultores. Por el contrario la parroquia de Valparaiso posee tamaños de más bajos, al ser una zona mayoritariamente seca. Las alturas aproximadas de las plantas de maíz para cada parroquia son 1,77 y 1,53 respectivamente.

3.1.1.2.5. *Composición porcentual de componentes de maíz suave seco*

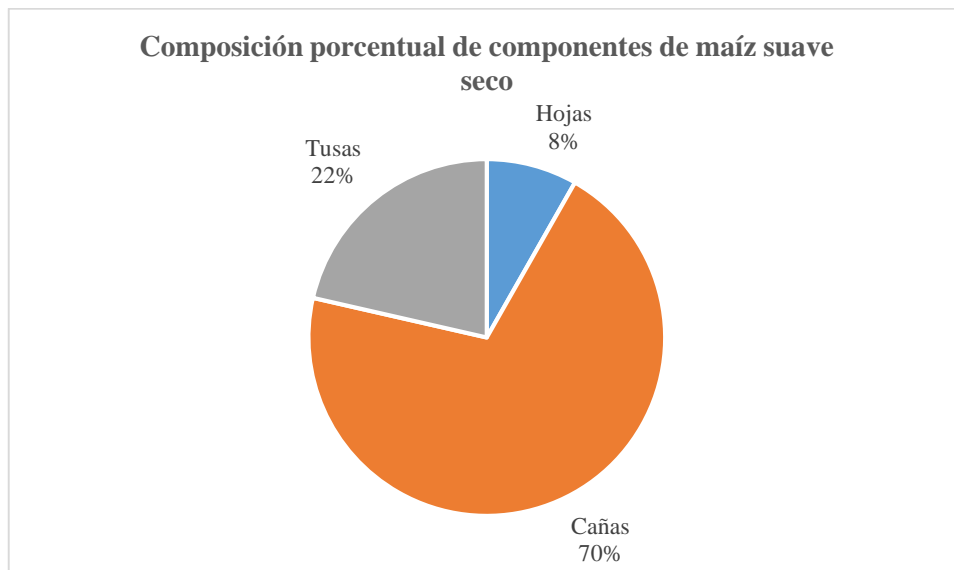


Gráfico 12-3: Composición porcentual de componentes de maíz suave seco
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En lo que se refiere al Gráfico 12-3, muestra la composición porcentual de componentes estructurales de maíz suave seco del cantón Guano, el 70% correspondió a cañas, el 22% a tusas, y un 8% a hojas. Sin lugar a duda los residuos de cañas son los que se generan en gran proporción siendo idóneos para ser aprovechados por medio de procesos que a su vez generen subproductos útiles para los seres humanos.

3.1.1.2.6. Producción total de residuos de maíz suave seco

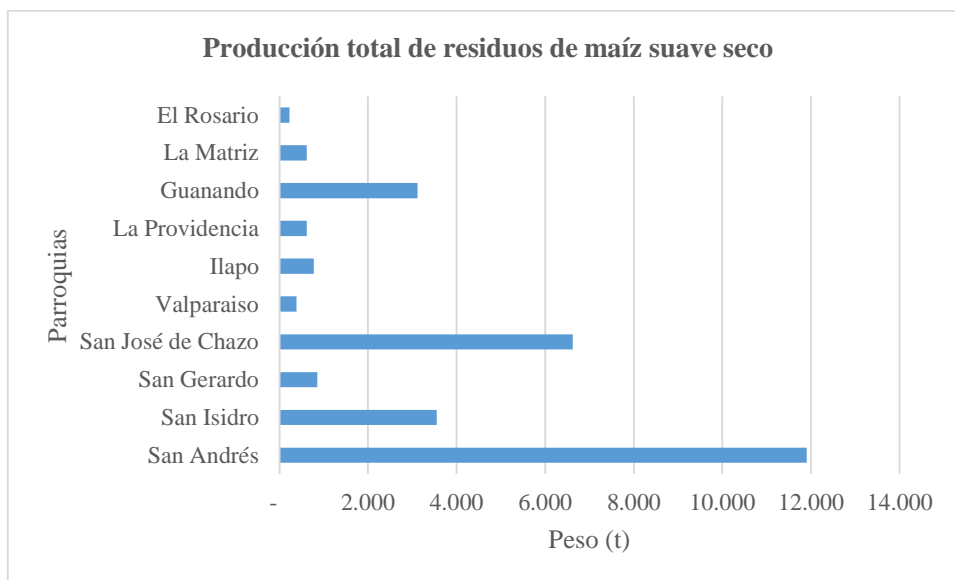


Gráfico 13-3: Producción total de residuos de maíz suave seco
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

El Gráfico 13-3 representa la producción total de residuos de maíz suave seco. San Andrés es el mayor productor de residuos de este tipo, con un peso aproximado de 11907 toneladas. El Rosario representa la parroquia con menos generación de residuos de maíz suave seco, con 229 toneladas.

3.1.1.3. *Composición porcentual de residuos de maíz en el cantón Guano*

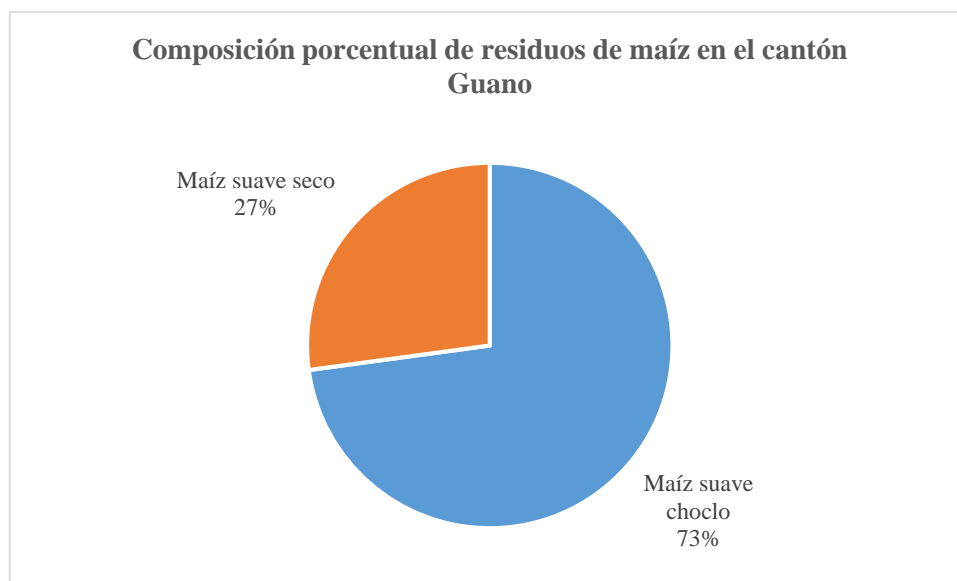


Gráfico 14-3: Composición porcentual de residuos de maíz en el cantón Guano
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

El Gráfico 14-3 señala la composición porcentual de residuos de maíz en el cantón Guano. Se evidenció un mayor porcentaje de residuos de maíz suave choclo con 76994 toneladas, equivalente al 73% y 28686 toneladas que corresponde a un 27% de residuos de maíz suave seco. La producción total de residuos de maíz en el cantón Guano entre ambas variedades es de 105680 toneladas aproximadamente.

3.1.2. Cálculo de densidad de los residuos de maíz en el cantón Guano

Tabla 3-3: Densidad de los residuos de maíz suave choclo

Código de muestra	Número de repetición	Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
MSCH	1	2,86	0,012	238,33	230,28
MSCH	2	2,72	0,012	226,67	
MSCH	3	2,71	0,012	225,83	
MSCC	1	5,61	0,012	467,50	466,94
MSCC	2	5,95	0,012	495,83	
MSCC	3	5,25	0,012	437,50	
MSCT	1	3,19	0,012	265,83	268,05
MSCT	2	3,21	0,012	267,50	
MSCT	3	3,25	0,012	270,83	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En la Tabla 3-3 se detallan las densidades de residuos de hojas, cañas y tusas de maíz suave choclo con sus respectivas codificaciones, tres réplicas por cada muestra, la masa o peso encontrado dentro de los análisis de campo, volumen del recipiente con dimensiones conocidas y finalmente el valor de la densidad. El promedio obtenido en hojas fue 230,28 kg/m³, en cañas 466,94 kg/m³ y en tusas 268,05 kg/m³. Al contener estos residuos una alta densidad, necesitaron un espacio reducido de almacenamiento y transporte para poder ser aprovechados energéticamente.

Tabla 4-3: Densidad de los residuos de maíz suave seco

Código de muestra	Número de repetición	Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
MSSH	1	1,24	0,012	103,33	103,89
MSSH	2	1,22	0,012	101,67	
MSSH	3	1,21	0,012	100,83	
MSSC	1	2,69	0,012	224,17	212,78
MSSC	2	2,42	0,012	201,67	
MSSC	3	2,55	0,012	212,50	
MSST	1	2,01	0,012	167,50	165,00
MSST	2	1,95	0,012	162,50	
MSST	3	1,98	0,012	165,00	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Se detallan las densidades de los residuos de hojas, cañas y tusas de maíz suave seco, con sus códigos de muestra, tres repeticiones por cada componente, la masa hallada dentro de los análisis de campo, volumen del recipiente donde se realizó la prueba de densidad y por último los valores

promedio. La densidad de hojas fue 103,89 kg/m³, de cañas 212,78 kg/m³ y de tusas 165,00 kg/m³. Al poseer estos residuos una baja densidad, necesitaron un mayor volumen de almacenamiento y transporte.

3.1.3. *Determinación del porcentaje de humedad*

3.1.3.1. *Determinación del porcentaje de humedad mediante la balanza de humedad*

Tabla 5-3: Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave choclo mediante la balanza de humedad

Código de muestra	Número de repetición	Peso inicial (gramos)	Peso final (gramos)	Tiempo (minutos)	Porcentaje de Humedad (%)	Promedio de Porcentaje de Humedad (%)
MSCH	1	5,04	1,49	45	67,10	69,10
MSCH	2	5,06	1,38	45	70,23	
MSCH	3	5,01	1,51	43	69,98	
MSCC	1	5,07	1,48	45	71,96	72,62
MSCC	2	5,03	1,41	45	73,68	
MSCC	3	5,01	1,52	43	72,21	
MSCT	1	5,05	1,50	45	78,28	78,29
MSCT	2	5,02	1,53	45	78,31	
MSCT	3	5,06	1,47	43	78,29	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 5-3 muestra el porcentaje de humedad de residuos de maíz suave choclo (hojas, cañas y tusas). Tomando como referencia su código de muestra, número de réplicas, peso inicial y final en gramos, y el tiempo en que se llevó a cabo el proceso (43 a 45 minutos). Al efectuarse la metodología se obtuvo como resultado: 69,10 % en hojas, 72,62 % en cañas y 78,29 % en tusas. Según estos datos se debe realizar previamente un secado o acondicionamiento a los residuos de maíz suave choclo, puesto que contienen una humedad superior al 50 %.

Tabla 6-3: Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave seco mediante la balanza de humedad

Código de muestra	Número de repetición	Peso inicial (gramos)	Peso final (gramos)	Tiempo (minutos)	Porcentaje de Humedad (%)	Promedio de Porcentaje de
-------------------	----------------------	-----------------------	---------------------	------------------	---------------------------	---------------------------

						Humedad (%)
MSSH	1	5,00	4,44	30	14,13	15,11
MSSH	2	5,00	4,42	30	14,96	
MSSH	3	5,03	4,39	30	16,23	
MSSC	1	5,01	4,52	30	10,13	11,21
MSSC	2	5,00	4,55	30	11,56	
MSSC	3	5,00	4,66	30	11,95	
MSST	1	5,00	4,43	30	13,25	12,95
MSST	2	5,00	4,44	30	12,36	
MSST	3	5,00	3,96	30	13,25	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 6-3 representa el porcentaje de humedad de residuos de maíz suave seco (hojas, cañas y tusas). Obteniendo como resultado: 15,11 % en hojas, 11,21 % en cañas y 12,95 % en tusas. De acuerdo con estos datos no sería necesario realizar procesos de secado o acondicionamiento a los residuos de maíz suave seco, puesto que contienen una humedad óptima para el aprovechamiento energético, inferior al 50 %. Estos residuos podrían ser utilizados directamente sin dar un tratamiento previo.

3.1.3.2. Determinación de la humedad mediante la estufa a 105 °C

Tabla 7-3: Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave choclo mediante la estufa a 105 °C

Código de muestra	Número de repetición	Peso inicial (gramos)	Peso final (gramos)	Tiempo (horas)	Porcentaje de Humedad (%)	Promedio de Porcentaje de Humedad (%)
MSCH	1	265,26	82,32	24	68,97	68,96
MSCH	2	265,11	82,25	24	68,98	
MSCH	3	265,20	82,40	24	68,93	
MSCC	1	320,13	87,48	24	72,67	72,67
MSCC	2	320,21	87,53	24	72,66	
MSCC	3	320,11	87,45	24	72,68	
MSCT	1	380,15	82,56	24	78,28	78,29
MSCT	2	380,10	82,45	24	78,31	
MSCT	3	380,11	82,52	24	78,29	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 7-3 muestra el porcentaje de humedad de residuos de maíz suave choclo (hojas, cañas y tusas) determinados en una estufa a 105 °C, sus respectivas codificaciones, número de réplicas, pesos iniciales – finales y tiempo (24 horas) requerido para hallar el contenido de humedad. Al efectuarse dicho análisis se obtuvo como resultado: 68,96 % en hojas, 72,67 % en cañas y 78,29 % en tusas. En este caso se puede decir que los porcentajes de humedad por los dos métodos son muy similares y a partir del análisis se ratifica que es necesario un secado o acondicionamiento a los residuos de maíz suave choclo.

Tabla 8-3: Porcentaje de humedad de residuos de maíz suave seco mediante la estufa a 105 °C

Código de muestra	Número de repetición	Peso inicial (gramos)	Peso final (gramos)	Tiempo (horas)	Porcentaje de Humedad (%)	Promedio de Porcentaje de Humedad (%)
MSSH	1	114,75	96,94	12	15,52	15,59
MSSH	2	114,45	96,41	12	15,76	
MSSH	3	114,20	96,52	12	15,48	
MSSC	1	84,85	75,04	12	11,56	11,65
MSSC	2	84,75	74,85	12	11,68	
MSSC	3	84,89	74,96	12	11,70	
MSST	1	370,93	321,32	12	13,37	13,39
MSST	2	370,80	321,13	12	13,40	
MSST	3	370,65	320,95	12	13,41	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 8-3 representa el porcentaje de humedad de residuos de maíz suave seco, conjuntamente con la demás variables objeto de estudio. El tiempo en el cual los residuos obtuvieron un peso constante fue de 12 horas, a diferencia de los residuos de maíz suave choclo que se necesitó aproximadamente 24 horas para lograr definir finalmente el contenido de humedad. Los resultados obtenidos fueron: 15,59 % en hojas, 11,65 % en cañas y 13,39 % en tusas. Con base en estos datos se comprobó que no es necesario llevar a cabo procesos de secado o acondicionamiento a los residuos de maíz suave seco ya que pueden ser suministrados de forma inmediata.

3.1.3.3. *Porcentaje de humedad promedio (balanza de humedad y estufa a 105 °C)*

Tabla 9-3: Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave choclo

Código de muestra	Porcentaje de Humedad - Balanza de Humedad (%)	Porcentaje de Humedad - Estufa a 105 °C (%)	Porcentaje de Humedad Promedio (%)
MSCH	69,10	68,69	68,90
MSCC	72,62	72,67	72,65
MSCT	78,29	78,29	78,29

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En la Tabla 9-3 se muestra el porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave choclo entre los dos métodos realizados, para la obtención de dicha variable. Apreciándose claramente una similitud indiscutible entre los valores emitidos al efectuar los dos procedimientos, por lo que fueron promediados, obteniendo como datos finales de contenidos de humedad un alto porcentaje en tusas (78,29 %), seguido por las cañas (72,65 %) y finalmente las hojas (68,90 %) que obtuvieron un menor número en lo referente a este factor analizado. Para poder extraer el potencial energético de dichos residuos, es importante ejecutar previamente un secado.

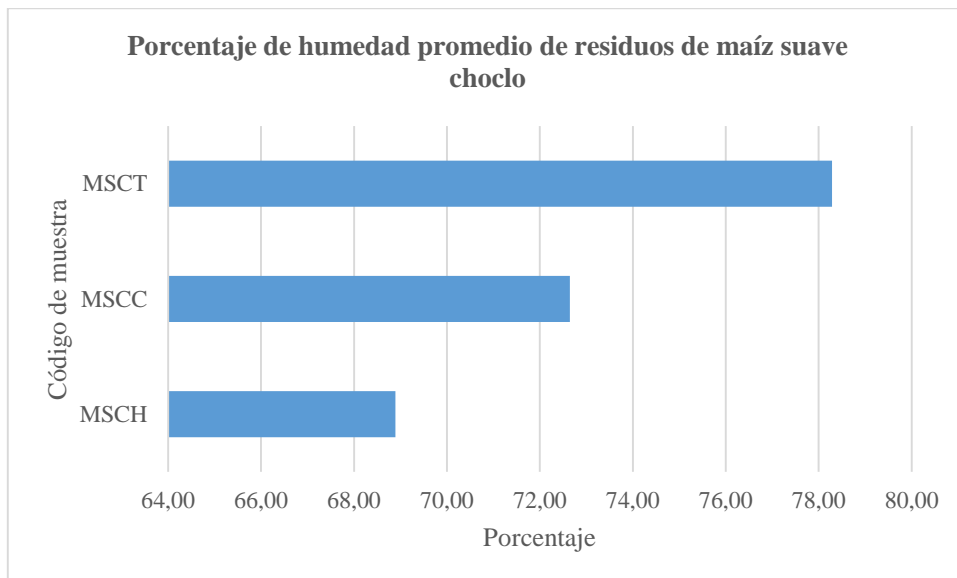


Gráfico 25-3: Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave choclo
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En torno a lo anteriormente expresado, el Gráfico 25-3 representa los porcentajes promedio de humedad al aplicar las dos metodologías, donde fue notable el marcado contenido en tusas, y en hojas una escasa cantidad. Al ser las tusas y cañas los principales residuos generados, es necesario implementar procesos de secado para que estos componentes puedan ser usados con fines energéticos.

Tabla 10-3: Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave seco

Código de muestra	Porcentaje de Humedad - Balanza de Humedad (%)	Porcentaje de Humedad - Estufa a 105 °C (%)	Porcentaje de Humedad Promedio (%)
MSSH	15,11	15,59	15,35
MSSC	11,21	11,65	11,43
MSST	12,95	13,39	13,17

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En la Tabla 10-3 se muestra el porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave seco (hojas, cañas y tusas) entre los dos métodos aplicados. Los valores emitidos fueron muy semejantes entre los dos métodos, por lo que se procedió a promediar, obteniendo como datos finales de contenidos de humedad, un alto porcentaje en hojas (15,35 %), seguido por las tusas (13,17 %) y finalmente las cañas (11,43 %) obtuvieron un menor valor. Dicha evaluación automáticamente informa que los residuos pueden ser utilizados inmediatamente sin dar previo tratamiento o acondicionamiento.

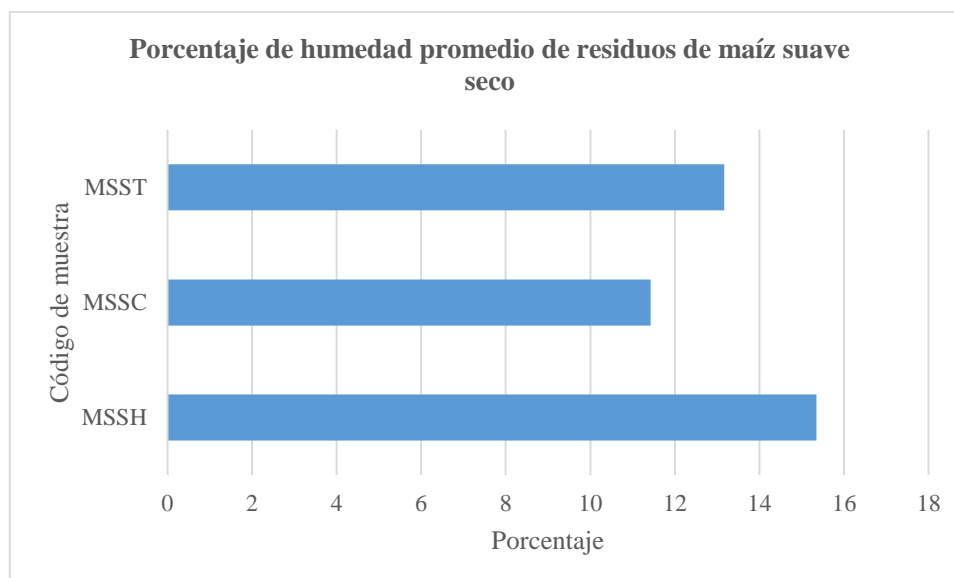


Gráfico 16-3: Porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave seco

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

En el Gráfico 16-3 se representa lo anteriormente expuesto referente al porcentaje de humedad promedio de residuos de maíz suave seco. En este caso existe un alto contenido de humedad en hojas, a diferencia de los residuos de maíz suave choclo, donde el mayor porcentaje se encontraba en tusas.

3.1.4. Determinación de cenizas

Tabla 11-3: Porcentaje de cenizas en hojas de maíz suave choclo y maíz suave seco

Código de muestra	Número de repetición	Peso del crisol vacío (gramos)	Peso de la muestra (gramos)	Peso del crisol con las cenizas (gramos)	Porcentaje de cenizas (%)	Promedio de Porcentaje de cenizas (%)
MSCH	1	38,79	2,15	39,11	14,88	14,26
MSCH	2	32,77	2,15	33,07	13,95	
MSCH	3	34,08	2,15	34,40	14,88	
MSCH	4	35,23	2,15	35,55	14,88	
MSCH	5	37,23	2,15	37,52	13,49	
MSCH	6	35,89	2,15	36,19	13,95	
MSCH	7	37,45	2,15	37,74	13,49	
MSCH	8	36,81	2,15	37,14	15,35	
MSCH	9	33,22	2,15	33,51	13,49	
MSSH	1	38,81	1,51	39,01	13,25	14,28
MSSH	2	34,05	1,51	34,29	15,89	
MSSH	3	33,95	1,51	34,19	15,89	
MSSH	4	39,22	1,51	39,43	13,91	
MSSH	5	38,12	1,51	38,32	13,25	
MSSH	6	33,41	1,51	33,63	14,57	
MSSH	7	40,21	1,51	40,44	15,23	
MSSH	8	37,26	1,51	37,46	13,25	
MSSH	9	36,15	1,51	36,35	13,25	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Los valores indicados en la Tabla 11-3 muestran los porcentajes de cenizas en hojas de maíz suave choclo y maíz suave seco. A partir de los promedios de las nueve réplicas obtenidos de los pesos de crisoles vacíos, pesos de muestras y pesos del crisol con las cenizas. Con base en estos análisis se pudo corroborar lo expuesto en artículos científicos, que no existe diferencia entre cenizas de maíz suave choclo y maíz suave seco, ya que al efectuarse la calcinación, ambos residuos llegaron al mismo punto, tal como se demuestra en la Tabla 11-3, donde se logró obtener valores de 14,26 % y 14,28 % respectivamente, que al promediarlos dieron un valor de 14,27 % como porcentaje de cenizas presentes en hojas de maíz.

Tabla 12-3: Porcentaje de cenizas en cañas de maíz suave choclo y maíz suave seco

Código de muestra	Número de repetición	Peso del crisol vacío (gramos)	Peso de la muestra (gramos)	Peso del crisol con las cenizas (gramos)	Porcentaje de cenizas (%)	Promedio de Porcentaje de cenizas (%)
MSCC	1	39,86	7,50	40,24	5,07	5,44
MSCC	2	33,85	7,50	34,26	5,47	
MSCC	3	34,87	7,50	35,30	5,73	
MSCC	4	34,10	7,50	34,51	5,47	
MSCC	5	32,27	7,50	32,67	5,33	
MSCC	6	35,82	7,50	36,24	5,60	
MSCC	7	32,21	7,50	32,60	5,20	
MSCC	8	33,58	7,50	33,99	5,47	
MSCC	9	38,11	7,50	38,53	5,60	
MSSC	1	33,78	2,04	33,89	5,39	5,45
MSSC	2	38,97	2,04	39,08	5,39	
MSSC	3	37,73	2,04	37,83	4,90	
MSSC	4	36,45	2,04	36,58	6,37	
MSSC	5	33,79	2,04	33,91	5,88	
MSSC	6	38,21	2,04	38,33	5,88	
MSSC	7	40,25	2,04	40,35	4,90	
MSSC	8	37,28	2,04	37,39	5,39	
MSSC	9	34,69	2,04	34,79	4,90	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Dentro de la Tabla 12-3 se distinguen los porcentajes de cenizas en cañas de maíz suave choclo y maíz suave seco. Realizando un total de nueve réplicas por cada muestra, que es el número adecuado establecido en la bibliografía consultada. Los resultados que se obtuvieron fueron: 5,44 % para maíz suave choclo y 5,45 % para maíz suave seco. Con lo que se comprobó que no existe diferencia alguna de cenizas entre estos dos tipos de estados. Dando como promedio de los dos valores 5,44 %.

Tabla 13-3: Porcentaje de cenizas en tusas de maíz suave choclo y maíz suave seco

Código de muestra	Número de repetición	Peso del crisol vacío (gramos)	Peso de la muestra (gramos)	Peso del crisol con las cenizas (gramos)	Porcentaje de cenizas (%)	Promedio de Porcentaje de cenizas (%)
MSCT	1	36,94	7,01	37,10	2,28	2,11
MSCT	2	33,34	7,01	33,49	2,14	
MSCT	3	34,01	7,01	34,17	2,28	
MSCT	4	39,25	7,01	39,39	2,00	
MSCT	5	33,19	7,01	33,34	2,14	
MSCT	6	32,14	7,01	32,26	1,71	

MSCT	7	35,95	7,01	36,11	2,28	2,08
MSCT	8	34,71	7,01	34,85	2,00	
MSCT	9	34,29	7,01	34,44	2,14	
MSST	1	32,79	5,02	32,89	1,99	
MSST	2	33,87	5,02	33,98	2,19	
MSST	3	34,99	5,02	35,11	2,39	
MSST	4	35,23	5,02	35,36	2,59	
MSST	5	37,23	5,02	37,34	2,19	
MSST	6	35,89	5,02	35,98	1,79	
MSST	7	37,45	5,02	37,53	1,59	
MSST	8	36,81	5,02	36,94	2,59	
MSST	9	33,22	5,02	33,29	1,39	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Los valores indicados en la Tabla 13-3 muestran los porcentajes de cenizas en tusas de maíz suave choclo y maíz suave seco. Con base en los pesos de crisoles vacíos, pesos de muestras y pesos del crisol con las cenizas. Se logró obtener valores de 2,11 % y 2,08 % respectivamente, que al promediarlos dieron un valor de 2,09 % como porcentaje de cenizas presentes en tusas de maíz.

3.1.4.1. *Porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz*

Tabla 14-3: Porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz

Código de muestra	Porcentaje promedio de cenizas MSC (%)	Porcentaje promedio de cenizas MSS (%)	Porcentaje promedio de cenizas (%)
MH	14,26	14,28	14,27
MC	5,44	5,45	5,45
MT	2,11	2,08	2,10

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 14-3 representa el porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz suave choclo y maíz suave seco, los resultados obtenidos fueron: 14,27 %, 5,45 % y 2,10 %, en hojas, cañas y tusas respectivamente. Se descartó por completo el aprovechamiento energético de hojas de maíz por su alto contenido de cenizas que podría ocasionar problemas dentro de los equipos, por las escorias que generaría. Sin embargo es importante mencionar que este residuo debería ser mejor utilizado en la alimentación de los animales de la zona, evitando posibles impactos ambientales.

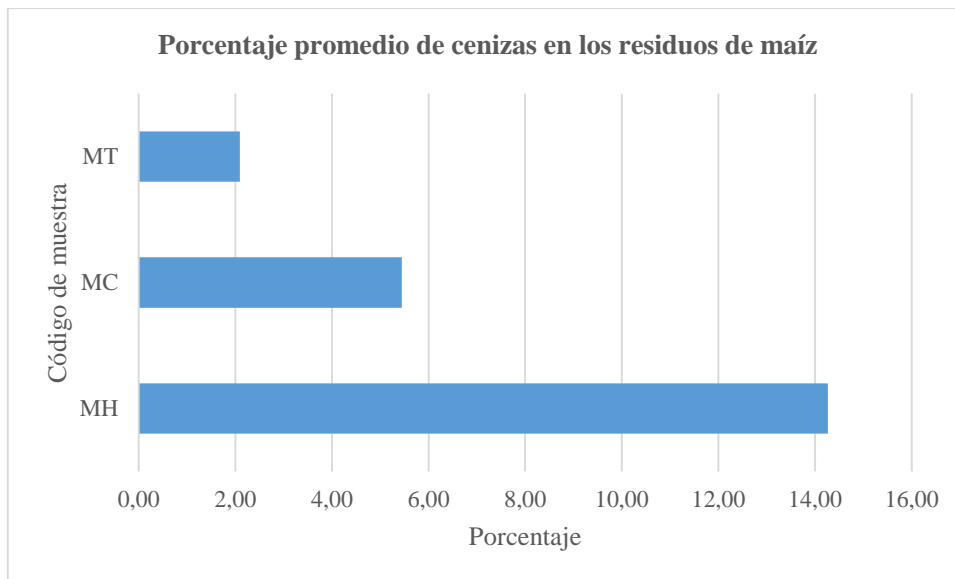


Gráfico 17-3: Porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz
Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

El Gráfico 17-3 indica el porcentaje promedio de cenizas en los residuos de maíz, obteniendo mayor porcentaje en las hojas y un menor porcentaje en tusas. Estos resultados fueron la base para poder seleccionar los residuos de maíz a ser aprovechados dentro de la propuesta energética, tomando en consideración que las cenizas pueden traer inconvenientes a corto, mediano y largo plazo.

3.2. Aplicación de la propuesta metodológica en la determinación del poder energético presente en el caso de estudio

La aplicabilidad del proceso de aprovechamiento de los residuos de maíz y sus componentes depende de la contribución mancomunada de todos los actores representativos e involucrados en el proceso: sociedad civil (agricultores de cada parroquia), grupos base de cada parroquia (GAD parroquiales) coordinados específicamente con el GADM del cantón Guano, que como refiere el Art. 3 del COOTAD es competencia de ellos asumir una visión de forma integral, logrando asegurar los aspectos ambientales, económicos, sociales, culturales e institucionales, promoviendo un desarrollo sustentable y fomentando la realización de actividades productivas y agropecuarias. (COOTAD, 2015)

3.2.1. *Determinación del poder calorífico*

Tabla 15-3: Poder calorífico de los residuos de maíz

Código de muestra	Número de repetición	Poder Calorífico (J/g)	Promedio de Poder Calorífico (J/g)
MH	1	16675	16432
MH	2	16193	
MH	3	16429	
MC	1	16483	16584
MC	2	16671	
MC	3	16598	
MT	1	16865	16573
MT	2	16743	
MT	3	16112	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 15-3 representa el poder calorífico de los residuos de maíz, evidenciando el código de muestra, número de réplicas, poder calorífico y el promedio de dichos valores. Después de haber realizado el análisis de laboratorio se halló un valor de 16432 J/g en hojas, 16584 J/g en cañas y 16573 J/g en tusas. Datos muy semejantes pero que a continuación se reflejan de forma más clara.

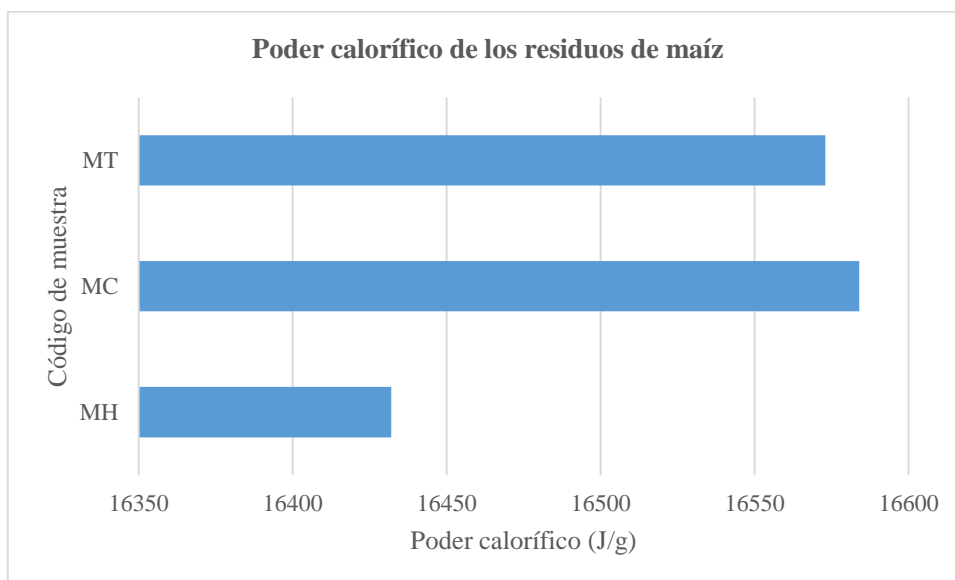


Gráfico 18-3: Poder calorífico de los residuos de maíz

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

El Gráfico 18-3 indica el poder calorífico obtenido en cada uno de los residuos de maíz, encontrándose mayoritariamente en las cañas, muy seguido por las tusas y finalmente el componente en el que menos se encontró potencial de calor son las hojas. Con lo expuesto en el Gráfico 18-3 y tomando en cuenta que las hojas generan el mayor porcentaje de cenizas, finalmente se descarta la utilización de dicho residuo en propuestas energéticas, dentro de este estudio.

3.3. Elaboración de propuesta de aprovechamiento del residuo de maíz para el cantón Guano con base en los resultados obtenidos

3.3.1. Selección de la tecnología o proceso adecuado

La selección del proceso adecuado, se consideró, tomando como guía datos de desempeño estandarizados a nivel nacional e internacional:

Tabla 16-3: Selección de la tecnología o proceso adecuado para los residuos de maíz suave choclo

Residuo	Tipo de residuos	Tecnología o proceso	Principal producto generado	Requerimiento a satisfacer dentro del cantón	Eficiencia aproximada	Ventajas que ofrece	Inversión en dólares
Maíz suave choclo (cañas y tusas)	Residuos Lignocelulósicos	Combustión	Calor	Secadores de cereales y gramíneas a pequeña escala	Del 70% al 90% aproximadamente	Facilidad de control	120 a 425
						Bajos costos en comparación con otras tecnologías	
						Reducción de tiempo de secado	

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 16-3 indica la selección de la tecnología o proceso adecuado para los residuos de maíz suave choclo. La combustión es aplicada para producir calor. En este caso la propuesta es utilizar dicho calor en el secado de cereales y gramíneas que producen los agricultores dentro del cantón

Guano. Está comprobado que esta técnica se la puede usar con total facilidad en secadores ya sea a nivel artesanal o industrial. El proceso brinda la posibilidad de quemar los residuos de maíz suave choclo y maíz suave seco, generados dentro del cantón, que contenga un porcentaje de humedad inferior al 50%, caso contrario simplemente se deberá esperar que naturalmente los residuos pierdan su humedad por un tiempo aproximado de 2 meses, para después ser recolectados y finalmente aprovechados, sin la necesidad de realizar procesos de secado. Mientras dure el proceso de secado de los residuos de maíz suave choclo, se aprovecharían inicialmente los residuos de maíz suave seco que poseen un contenido de humedad apto para ser usado inmediatamente. (Arenas, 2013, pp. 31-34)

Tabla 17-3: Selección de la tecnología o proceso adecuado para los residuos de maíz suave seco

Residuo	Tipo de residuos	Tecnología o proceso	Principal producto generado	Requerimiento a satisfacer dentro del cantón	Eficiencia aproximada	Ventajas que ofrece	Inversión en dólares
Maíz suave seco (cañas y tusas)	Residuos Lignocelulósicos	Combustión	Calor	Secadores de cereales y gramíneas a pequeña escala	Del 70% al 90% aproximadamente	Facilidad de control Bajos costos en comparación con otras tecnologías Reducción de tiempo de secado	120 a 425

Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

La Tabla 17-3 muestra la selección de la tecnología o proceso adecuado para los residuos de maíz suave seco. Al igual que para los residuos de maíz suave choclo, la propuesta es utilizar dicho calor de la combustión en el secado de cereales y gramíneas que producen los agricultores dentro del cantón Guano.

3.3.1.1. *Ventajas de la propuesta dentro del ámbito ambiental*

- **Disminución de residuos de maíz:** esto se da gracias a su aprovechamiento como fuente energética, ya que los residuos son generalmente incinerados a cielo abierto, causando

impactos en el ambiente. Con la implementación de esta tecnología también se brinda una solución viable a cultivos que han sido afectados por plagas y enfermedades.

- **Disminución de emisiones de CO₂:** a pesar de que al llevarse a cabo el aprovechamiento energético de los residuos de maíz se procede a realizar una combustión donde también se obtendrá H₂O y CO₂, la cantidad de dióxido de carbono que se emite, es mínima en comparación a los de combustibles fósiles y no se incrementa este gas en la atmósfera, puesto que representa la misma cantidad captada por las plantas en su proceso de crecimiento.
- **No ocasiona la lluvia ácida:** al no emitir contaminantes sulfurados o nitrogenados, no aporta a la formación de lluvia ácida.
- **Evita la erosión y degradación de suelos altamente cultivables:** con esta técnica se logra prevenir el abandono de los suelos por parte de los agricultores y más bien se incentiva a este campo productivo.

3.3.1.2. *Ventajas de la propuesta dentro del ámbito socioeconómico*

- **Nuevas fuentes de trabajo:** debido a que se necesita mano de obra para realizar este tipo de procesos.
- **Fácil de obtener:** la ventaja del residuo de maíz es que se produce en 10 de las 11 parroquias del cantón Guano y se encuentra en ésta zona sin representar algún valor comercial.
- **Nuevos ingresos dentro del sector agrícola:** puede contribuir a un aumento económico en las zonas rurales del cantón Guano principalmente donde más se generan residuos de maíz. Debido a que mediante la revalorización de los residuos de maíz se estaría obteniendo un producto útil para el cantón y a su vez se estaría disminuyendo los tiempos de secado de gramíneas y cereales generando más productos para la venta y en menor tiempo.
- **Promueve la participación social:** este tipo de procesos y estudios son la base para la creación de emprendimientos efectivos de aprovechamiento energético. Impulsando a los agricultores a capacitarse, porque al obtener mayores ingresos, o quizá ahorro en algún

proceso los actores involucrados van a convertirse en un referente para todo el cantón y de ésta manera contribuirán como modelo a otros grupos sociales

3.3.1.3. Inconvenientes de la propuesta

- Es importante mencionar que los residuos de maíz poseen rendimientos energéticos menores, que el resto de combustibles fósiles.
- Para lograr obtener los mismos valores de energía que con combustibles fósiles, es necesario utilizar mayor cantidad de residuos de maíz.
- En cuanto a costos se le debe adicionar los gastos de transporte y almacenamiento.

CONCLUSIONES

- Las variables que intervinieron en la determinación del poder calorífico de los residuos de maíz fueron: densidad debido al espacio que ocupa en el transporte y almacenamiento, humedad para conocer en que residuo es más factible realizar el aprovechamiento energético y decidir el proceso o tecnología adecuada, cenizas para saber que residuo de maíz genera mas escorias y poder calorífico que es la variable de mayor relevancia ya que con ella se decidió los componentes del maíz idóneos para el aprovechamiento energético. Adicionalmente se analizaron variables como el tiempo promedio de desarrollo del maíz, número de plantas por metro cuadrado y número de hectáreas cultivadas, con el fin de conocer la producción total de residuos en el cantón Guano.
- La producción total de residuos de maíz suave choclo es de 76994 t cada 5 meses y de maíz suave seco 28686 t cada 7 meses, que es el tiempo promedio de desarrollo previo a su cosecha, posterior a estos períodos los residuos de maíz pueden ser aprovechados con fines energéticos, obteniendo los residuos de maíz suave choclo una mayor densidad (sin compactar). Lo expuesto representa que los residuos requieren por tanto un menor espacio de almacenamiento y transporte para poder ser aprovechados energéticamente. Mientras que para el caso de maíz suave seco la densidad fue más baja, por lo tanto requieren mayor espacio de almacenamiento y transporte para poder ser aprovechados energéticamente.
- Se evaluó el potencial energético de los residuos de maíz, el mayor porcentaje se presentó en las cañas con 16584 J/g, seguido muy de cerca por las tusas con 16573 J/g. Estos dos componentes de los residuos de maíz son totalmente aptos para ser aprovechados energéticamente. Las hojas fueron descartadas debido a su bajo poder calorífico y al elevado porcentaje de cenizas (14,27 %) que genera, pudiendo ocasionar fallos en los equipos o en la tecnología a emplearse, sin embargo estos residuos pueden ser usados optimamente en la alimentación de animales.
- Por otra parte los porcentajes de humedad mediante las dos metodologías realizadas (balanza de humedad y estufa a 105°C) fueron similares, encontrándose valores más altos en el maíz suave choclo con, 78,29 % en tusas, 72,65 % en cañas y 68,90 % en hojas.

Mientras que el maíz suave seco obtuvo porcentajes bajos que corresponden a 15,35 % en hojas, 13,17 % en tusas y finalmente 11,43 % en cañas. Con dicha evaluación se conoció que los residuos de maíz suave seco pueden ser empleados inmediatamente, sin embargo los residuos de maíz suave choclo no se los puede usar inmediatamente posterior a su cosecha. Por lo que se debe esperar 2 meses más antes de ser aprovechados.

- Con base en los resultados adquiridos dentro de los análisis de campo y de laboratorio, se ratifica la viabilidad y factibilidad de la propuesta de aprovechamiento energético mediante biomasa residual de maíz, logrando alcanzar valores de eficiencia adecuados del 70 % al 90%, por medio de la combustión, de acuerdo a los potenciales energéticos emitidos, aportando a la protección del ambiente en todas sus formas. La viabilidad económica que conlleva la realización de dicha propuesta de aprovechamiento en el cantón Guano ascendería sustancialmente mediante la colaboración pública y sobre todo con el respaldo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados parroquiales y municipal.

RECOMENDACIONES

- Se requiere realizar pesajes continuos de los residuos de maíz que han sido colocados en la estufa, hasta obtener un peso constante.
- Se debe hacer uso de un desecador por un tiempo de 15 a 20 minutos previos a realizar los pesajes y no dejar enfriar al ambiente, para de esta forma obtener resultados más fiables. En el desecador es importante realizar movimientos circulares con la tapa del mismo, evitando que se genere demasiada presión debido al calor del interior.
- Es recomendable sellar bien el picador de vegetales antes de realizar la operación, y usar el equipamiento necesario, puesto que podría resultar peligroso para quien lo maneje. Colocando de a poco los residuos para evitar fundiciones del motor.
- La determinación de la densidad se debe realizar inmediatamente, para prevenir la pérdida de humedad, lo cual alteraría los resultados.
- En los análisis dentro de la balanza de humedad, se debe colocar como mínimo una cantidad de 5 gramos y no abrir el equipo una vez colocada la muestra, ya que de lo contrario el equipo no podrá trabajar de forma correcta y los resultados sufrirían variaciones.
- Se aconseja abrir y cerrar continuamente la mufla en los primeros minutos en que se colocan los crisoles con las muestras, para evitar un ahogamiento del equipo. Una vez terminado el proceso se debe bajar la temperatura de la mufla y sacar los crisoles de forma segura.
- Para realizar los análisis de humedad en la estufa, las bandejas deben ser cubiertas totalmente de papel aluminio y realizar pequeños agujeros que faciliten el flujo de calor dentro del interior del equipo.
- Es importante tomar en cuenta que para hallar el poder calorífico en la bomba calorimétrica, se debe deshidratar por completo a las muestras y de ésta forma los resultados serán más óptimos.
- Se recomienda continuar con evaluaciones del potencial energético de diferentes residuos sólidos orgánicos, permitiendo incrementar los conocimientos que conlleven hacer comparaciones tanto de eficiencia como de factibilidad.
- Implementar programas y estrategias que fomenten el aprovechamiento energético de la biomasa residual, mediante la sensibilización de la población, con respecto a los aspectos perjudiciales a la salud y al ambiente, que representa la inadecuada disposición final de dichos residuos. Buscando siempre el apoyo de entidades públicas (GADM), debido a

que ellos son los responsables del cumplimiento o no de la propuesta, rescatando la participación colectiva para el involucramiento de esta propuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- **Acevedo, C.** Cuantificación del potencial energético de los residuos agrícolas de la caña de azúcar en el Departamento de Cundinamarca. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 2017. pp. 15-19. [Consulta: 02 Febrero 2018]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6390>
- **Al-Kassir, R.** Caracterización y preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Instituto Politécnico de Portalegre. Portalegre, Portugal. 2013. pp. 7-19. [Consulta: 02 Febrero 2018]. Disponible en: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17064/1/RaulDisertacaoJunio2013.pdf>
- **Aldana, M & Bizzo, A.** “Evaluación del potencial energético de los residuos de la caña de azúcar en el Perú”. *Huancayo* [En línea], 2017, (Perú) 127(2), pp. 3-12. [Consulta: 03 Marzo 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318020087_EVALUACION_DEL_POTENCIAL_ENERGETICO_DE_LOS_RESIDUOS_DE_LA_CANA_DE_AZUCAR_EN_EL_PERU
- **AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD.** *Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. [En línea]. Ecuador. 2017. pp. 10-13. [Consulta: 03 Marzo 2018]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/>
- **Arenas, D.** Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café. [En línea]. (Tesis). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 2013. pp. 31-34. [Consulta: 01 Junio 2018]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7371/tesis407.pdf>
- **Arvizu, J.** Biocombustibles derivados del maíz. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 2014. pp. 3-7. [Consulta: 02 Abril 2018]. Disponible en: <https://www.ineel.mx/boletin012014/tecni1.pdf>
- **Armas, D.** Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava L*) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura. [En línea]. (Tesis). Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias. Ibarra,

Ecuador. 2017. p. 11. [Consulta: 01 Junio 2018]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6479/2/ARTICULO.pdf>.

- **ASTM D5468-02.** (2007). *Método de prueba estándar para el valor calorífico bruto y el valor de la ceniza de los materiales de desecho.*
- **ASTM E1755-01.** (2007). *Método de prueba estándar para cenizas en biomasa.*
- **ASTM E1756-08.** (2008). *Método de prueba estándar para la determinación de sólidos totales en biomasa.*
- **ASTM E711-87.** (2004). *Método de prueba estándar para el valor calorífico bruto del combustible derivado de desperdicios por la bomba calorimétrica.*
- **Bartolini, R.** “El maíz”. *Ediciones Mundi-Prensa.* 105 (3). (2014). (España). pp. 60 - 121.
- **Bonel, B.** “Análisis de parámetros energéticos en la producción del cultivo de maíz (*Zea mays*, l.) para biocombustible”. *Glober.* 29(32). (2014). (México). pp. 15 - 18.
- **Cabrera, J.** Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: papel, cartón, madera y materia orgánica de la parroquia Limoncocha. Año 2015 – 2016. [En línea]. (Tesis). Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito, Ecuador. 2016. pp. 25 - 30. [Consulta: 02 Febrero 2018]. Disponible en: http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2522/2/M..Cabrera_Cuantificaci%C3%B3n%20PCS%20y%20PCI%20de%20RSU%20Limoncocha%20REV%20FI.pdf.
- **CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN.** [En línea]. Ecuador. 2015. [Consulta: 03 Marzo 2018]. Disponible en: http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf
- **Cano, L.** Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidos en los residuos sólidos urbanos de la parroquia de Limoncocha. 2015- 2016. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales. Quito, Ecuador. 2016. p. 4. [Consulta: 25 Junio 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2499/3/Resumen%20ejecutivo.pdf>
- **Colomer, F.** Estimación del potencial energético de la biomasa residual agrícola y análisis de aprovechamiento en los municipios de la Comarca del Alto Palancia. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Jaime I. Castellón de la Plana, España. 2016. pp. 10 - 16. [Consulta: 05 Febrero 2018]. Disponible en:

http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/165971/TFM_2016_BudiOrdu%C3%B1aAlicia.pdf?sequence=1.

- **CONACYT.** *Maíz*. [En línea]. Ecuador. 2014. [Consulta: 01 Febrero 2018]. Disponible en: <https://datos.gob.mx/busca/organization/conacyt>.
- **Iglesias, L; Ruperti, S; Valencia, K.** “El cambio de la matriz energética en el Ecuador y su incidencia en el desarrollo social y económico de la población”. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*. [En línea]. 2017. (Ecuador). 3 (2). pp. 26-35. [Consulta: 01 Febrero 2018]. ISSN 2528-7842. Disponible en: <http://186.46.158.26/ojs/index.php/mikarimin/article/view/695>
- **INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES.** *Aprovechamiento de biomasa*. [En línea]. Ecuador. 2017. [Consulta: 26 Marzo 2018]. Disponible en: <https://www.iner.gob.ec/pdf>.
- **Jácome, T.** *Potencial Energético de la Biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía*. [En línea] 2015. pp. 522-528 [Consulta: 02 Febrero 2018.] <http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/biomasa.pdf>.
- **Lara, V.** *La biomasa convierte los residuos en recursos energéticos*. [En línea]. Madrid. Ecotimes. 2016. pp. 20 - 23. [Consulta: 01 Febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ambientum.com/revista/2016/octubre/biomasa-convierte-residuos-recursos-energeticos.asp>.
- **Lindao, D & Quisnancela, E.** Aprovechamiento y potencial energético de los desechos sólidos urbanos generados en el cantón Guayaquil, en base a su identificación y caracterización. [En línea]. (Tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Guayaquil, Ecuador. 2016. pp. 89 – 96. [Consulta: 03 Abril 2018]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32245>
- **Lozano, S.** Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. [En línea]. (Tesis). Universidad de Gerona. Cataluña, España. 2009. pp. 3 - 7. [Consulta: 01 Febrero 2018]. Disponible en: <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4849/tsml1de1.pdf?sequence=5>.
- **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Proyecto GENCAPER realiza talleres de Generación de Capacidades para el Aprovechamiento Energético de Residuos Agropecuarios*. [En línea]. Ecuador. 2013. [Consulta: 26 Febrero 2018]. Disponible en:

<http://www.ambiente.gob.ec/proyecto-gencaper-realiza-talleres-de-generacion-de-capacidades-para-el-aprovechamiento-energetico-de-residuos-agropecuarios/>.

- **Mayorga, G.** Estudio de factibilidad de la producción energética en el Ecuador y sus proyecciones con la matriz productiva. [En línea]. (Tesis). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas. Guayaquil, Ecuador. 2015. pp. 22-28. [Consulta: 28 Febrero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/10688>
- **Montenegro, M.** Propuesta metodológica de aprovechamiento de biomasa residual de cultivos agrícolas en la región de la Araucanía. [En línea]. (Tesis). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 2014. pp. 26-32. [Consulta: 25 Febrero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100024/browse?authority=fae5bcf8-22da-4d9c-8867-a09996672733&type=author>
- **Núñez, D.** “Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta”. *Tecnura*. [En línea], 2013, (Colombia) 16 (34), pp. 142-156. [Consulta: 13 Junio 2018]. ISSN 0123-921X. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2012000400011
- **Ponce, G.** *Flora pratense y forrajera cultivada de la península Ibérica*. [En línea]. España: Departamento de producción agraria. 2015. [Consulta: 01 Febrero 2018]. Disponible en: http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/especies_ncien.htm.
- **Pozo, M.** Análisis de los beneficios de una adecuada gestión de manejo de residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Pontificia Universidad Católica, Facultad de Economía. Quito, Ecuador. 2016. pp. 6-13. [Consulta: 12 Abril 2018]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12628>
- **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura*. [En línea]. Italia. 2015. [Consulta: 24 Marzo 2018]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a-i4260s.pdf>
- **Ortez, D & Zelada, M.** Evaluación del potencial energético de desechos sólidos de granjas de engorde avícolas en El Salvador. [En línea]. (Tesis). Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. 2014. pp. 21-24. [Consulta: 01 Mayo 2018]. Disponible en: http://ri.ues.edu.sv/2156/1/Evaluaci%C3%B3n_del_potencial_energ%C3%A9tico_de_desechos_s%C3%B3lidos_de_granjas_de_engorde_av%C3%ADcolas_en_El_Salvador.pdf.

- **Rocano, C.** Aprovechamiento de biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues. [En línea]. (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. 2015. pp. 10-18. [Consulta: 25 Mayo 2018]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7907>
- **Romero, A.** “Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles”. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat.* 47 (231). (2012). (España). pp. 7-10.
- **Ruales V.** Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Nacional de Colombia., Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales, Colombia. 2015. pp. 6-19. [Consulta: 02 Febrero 2018]. Disponible en: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/residuos-de-uva-con-alto-potencial-antioxidante.html>
- **Salazar, G & Panchi, B.** “Análisis de la evolución de la demanda eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética”. *Revista EPN.* 33 (3). (2014). (Ecuador). pp. 3-8.
- **Sumba, L.** *Producción Histórica de maíz duro seco.* [En línea]. Ecuador. 2014. pp. 1-7. [Consulta: 01 Febrero 2018]. Disponible en: <https://dugi.doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4849/tsml1de1.pdf?sequence=5>.
- **Villamarín, M.** Análisis de la valoración energética de residuos sólidos urbanos del distrito metropolitano de Quito. [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales. Quito, Ecuador. 2015. pp. 12-21. [Consulta: 25 Junio 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1487>

ANEXOS

Anexo A. Análisis de campo y recolección de datos



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Anexo B. Cálculo de densidad de los residuos de maíz



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Anexo C. Trituración de residuos de maíz en una picadora de vegetales



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Anexo D. Método del cuarteo con los residuos de maíz

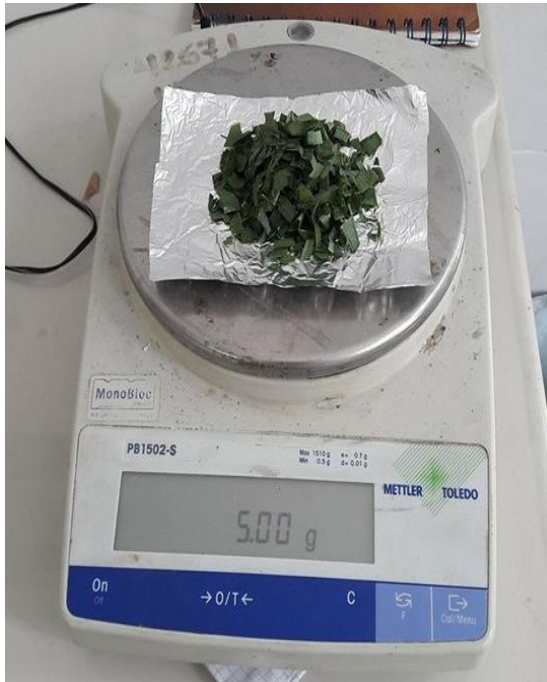


Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

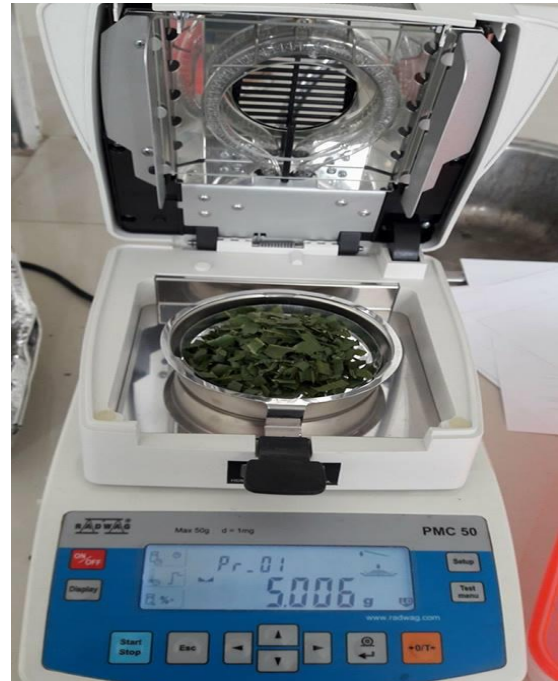


Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Anexo E. Cálculo del porcentaje de humedad de los residuos de maíz en la balanza de humedad



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Anexo G. Cálculo de cenizas de los residuos de maíz



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018

Anexo H. Molienda de residuos de maíz para obtener el poder calorífico



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018



Realizado por: Catherine Cabrera, 2018