



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Facultad de Ingeniería Química

Carrera de Ingeniería Química

TEMA:

Evaluación y caracterización de los residuos de corte
de caña de azúcar de la Provincia del Guayas

AUTOR:

Zúñiga Vera Stephany Carolina

TUTOR:

Ing. Sandra Peña Murillo, Msc.

Guayaquil, Septiembre 2023



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Facultad de Ingeniería Química

Carrera de Ingeniería Química

TEMA:

Evaluación y caracterización de los residuos de corte
de caña de azúcar de la Provincia del Guayas

AUTOR:

Zúñiga Vera Stephany Carolina

TUTOR:

Ing. Sandra Peña Murillo, Msc.

Guayaquil, Septiembre 2023

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ANEXO XI. FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Zúñiga Vera Stephany Carolina		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Sandra Emperatriz Peña Murillo MSc.		
INSTITUCION:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ingeniería Química		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:	Título De Ingeniero Químico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:		No. DE PAGINAS:	125
AREAS TEMÁTICAS:	Ciencias básicas, bio conocimiento y desarrollo industrial		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORD:	Caracterización, RAC		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El presente proyecto engloba el trabajo de titulación con tema Evaluación y caracterización de los residuos de caña de azúcar de la provincia del Guayas, para este trabajo se logró la obtención del Rac de los sectores Milagro, Coné, Naranjito, Guayas, Naranjal, Taura y Bucay, en los cuales se obtuvieron residuos como cogollos, raíces, hojas secas, bagazo, entre otros. Se realizó el pretratamiento de los residuos para convertirlos en polvo y alcanzar una medida de tamaño de partícula menor a 0,5 mm para ser llevados a análisis. Para poder realizar el análisis de caracterización se tomaron como referencia las normativas ASTM D7582-15, D5865/D5865M-19, ASTM D4239-18, ASTM D5373-21 para los análisis próximos, elementales, azufre, poder calorífico respectivamente. Dando como resultado en análisis próximos para el Cz, Hr, CF valores <15%, y Mv valores <90%, en análisis elementales los valores para H, N se encontró un 0,4% y 6% y para el C <50%, para el análisis de azufre los valores resultantes estuvieron entre 0,05% y 0,4% y los resultados de los análisis de poder calorífico fueron entre 3690 y 4700 cal/g, cumpliendo con todos los objetivos de la investigación.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: Stephany Carolina Zúñiga Vera 0968888346		Email: stephany.zunigav@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCION:	Nombre: Universidad de Guayaquil – Facultad de Ingeniería Química Teléfono: 04-229-2949 E-mail: http://www.fiq.ug.edu.ec/		

ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guayaquil, 10 de Agosto de 2023

Sr. /Sra.

Ing. Sandra Peña Murillo Msc.

DIRECTOR (A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación denominado **“Evaluación y caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar de la Provincia del Guayas”** de la estudiante **Zúñiga Vera Stephany Carolina**, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que la estudiante **Zúñiga Vera Stephany Carolina** está apta para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
SANDRA EMPERATRIZ
PEÑA MURILLO

ING. SANDRA PEÑA MURILLO MSc.
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
C.I. 0917228801
FECHA: 10/08/2023



ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado SANDRA EMPERATRIZ PEÑA MURILLO, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por ZUNIGA VERA STEPHANY CAROLINA, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERA QUÍMICA.

Se informa que el trabajo de titulación: EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS-1, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio TURNITIN quedando el 7% de coincidencia.

<https://ev.turnitin.com/app/carta/es/?o=2143548622&lang=es&u=1143820544&s=1>

Tesis Zuñiga

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	5 %	1 %	2 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	2 %
2	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante	2 %
3	repository.unilibre.edu.co Fuente de Internet	2 %
4	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	2 %



Firmado electrónicamente por:
SANDRA EMPERATRIZ
PEÑA MURILLO

SANDRA EMPERATRIZ PEÑA MURILLO

C.I. 0917228801

FECHA: 10/08/2023

ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR

Guayaquil,

Sr. /Sra.

Ing. Sandra Peña Murillo Msc.
DIRECTOR (A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación: **“Evaluación y caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar de la Provincia del Guayas”** de la estudiante **Zúñiga Vera Stephany Carolina**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 12 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.

La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que la estudiante **Zúñiga Vera Stephany Carolina** está apta para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**TYRONE FERNANDO
ALCIVAR REYNA**

Nº de Identificación: 0930147798
C.I. 0930147798

**ANEXO XII. DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA
GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO
COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACION**



**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA
PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES
NO ACADÉMICOS**

Yo, **STEPHANY CAROLINA ZUÑIGA VERA** con C.I. No. **095478033-4**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS”** son de mi absoluta propiedad y responsabilidad y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente.

Zúñiga Vera Stephany Carolina

C.I No 0954780334

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a la mujer que seré en un futuro, orgullosa del trabajo realizado en esta etapa de mi vida y de la persona en la que me convertiré.

Stephany Carolina Zúñiga Vera

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas aquellas personas que han sido parte importante dentro de la creación de este trabajo de investigación, a las personas que aun sin conocerme me brindaron su apoyo generoso y desinteresado en la búsqueda de la caña de azúcar de todos los sectores involucrados, muchas gracias.

Agradezco a mi familia por brindarme su apoyo de forma incondicional durante esta etapa de mi vida estudiantil.

Agradezco a Dios por brindarme su compañía y las fuerzas necesarias para salir adelante y poder hacer realidad este objetivo profesional.

Agradezco a mi tutora la ing. Sandra Peña por su guía y valiosa ayuda para poder culminar mi trabajo de titulación.

Agradezco a las personas que me dieron la oportunidad de laboral sin dejar a un lado mis estudios.

Stephany Carolina Zúñiga Vera

ANEXO XIII. RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA****CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CORTE DE
CAÑA DE AZÚCAR DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS”****Autor:** Stephany Carolina Zúñiga Vera**Tutor:** Ing. Sandra Emperatriz Peña Murillo**RESUMEN**

En este trabajo de titulación se tuvo como objetivo la evaluación y caracterización de residuos de corte de caña de azúcar debido a la alta cantidad que estos generan en épocas de cosecha, los cuales generan un alto impacto ambiental y un bajo aprovechamiento para creación de nuevos subproductos elaborados hechos a base de este residuo y por ello se escogió a la provincia del Guayas como lugar de estudio ya que la antes mencionada la cual es posicionada actualmente como una de las más grandes productoras de caña de azúcar de todo el país, para ello se tomaron muestras representativas en distintos sectores ubicados en los diferentes puntos dentro del área provincial como lo son los sectores de Naranjito, Milagro, Coné, Taura, Bucay, Naranjal, San Antonio- Vía a Playas, en los cuales se realizó el acondicionamiento o pretratamiento del RAC como la clasificación, limpieza, secado, molienda y tamizado para dar lugar a la realización de los análisis experimentales tales como análisis de próximos bajo la normativa ASTM D7582 – 15, análisis elementales bajo la normativa ASTM D5373 – 21, ambas en base húmeda y base seca, análisis de azufre bajo la normativa ASTM D4239-18, y poder calórico con la normativa ASTM D5865/D5865M – 19, dando como resultado en porcentajes por sectores, para los análisis próximos, elementales, azufre, poder calórico respectivamente, dando como resultado en análisis próximos para el Cz, Hr, CF valores <15%, y Mv valores <90%, en análisis elementales los valores para H, N se encontró un 0,4% y 6% y para el C <50%, para el análisis de azufre los valores resultantes estuvieron entre 0,05% y 0,4% y los resultados de los análisis de poder calórico fueron entre 3690 y 4700 cal/g, cumpliendo con todos los objetivos de la investigación y de esta forma pudimos conocer, evaluar y caracterizar cada uno de los residuos de corte de caña de azúcar obtenidos de los diversos sectores de la provincia del Guayas.

Palabras claves análisis próximos, elementales, base húmeda

ANEXO XIV. RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA****CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CORTE DE
CAÑA DE AZÚCAR DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS”****Autor:** Stephany Carolina Zúñiga Vera**Tutor:** Ing. Sandra Emperatriz Peña Murillo**ABSTRACT**

The objective of this degree work was the evaluation and characterization of sugar cane cutting residues due to the high quantity generated at harvest time, which generate a high environmental impact and a low utilization for the creation of new by-products made from this residue. For this reason, the province of Guayas was chosen as the place of study since it is currently positioned as one of the largest producers of sugar cane in the country, For this purpose, representative samples were taken in different sectors located in different points within the provincial area such as Naranjito, Milagro, Coné, Taura, Bucay, Naranjal, San Antonio - Vía a Playas, in which the conditioning or pretreatment of the RAC was carried out, such as classification, cleaning, drying, grinding and sieving, in order to carry out the experimental analyses such as proximate analysis under ASTM D7582 - 15, elemental analysis under ASTM D5373 - 21, both on a wet and dry basis, sulfur analysis under ASTM D4239-18, and calorific value under ASTM D5865/D5865M - 19, both on wet and dry basis, sulfur analysis under ASTM D4239-18, and calorific value under ASTM D5865/D5865M - 19, resulting in percentages by sectors, for proximate analysis, elemental, sulfur, calorific value respectively, giving as a result in proximate analysis for Cz, Hr, CF values <15%, and Mv values <90%, in elemental analysis the values for H, N were found to be 0.4% and 6% and for C <50%, for sulfur analysis the resulting values were between 0.05% and 0, 4% and the results of the calorific value analysis were between 3690 and 4700 cal/g, fulfilling all the objectives of the investigation and in this way we were able to know, evaluate and characterize each one of the sugar cane cutting residues obtained from the different sectors of the province of Guayas.

Key words: proximate analysis, elemental, wet basis

Índice

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.....	3
1. TEMA.....	3
1.1. Planteamiento del Problema -----	3
1.2. Formulación y sistematización del Problema-----	4
1.2.1. Formulación del Problema.....	4
1.2.2. Sistematización del Problema	4
1.3. Limitación del estudio de investigación-----	4
1.3.1. Delimitación espacial	4
1.4. Alcance de la investigación-----	5
1.5. Objetivos-----	6
1.5.1. Objetivo General	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
1.6. Justificación -----	6
1.6.1. Justificación Teórica.....	6
1.6.2. Justificación Metodológica	7
1.6.3. Justificación Práctica	7
1.7. Delimitación de la Investigación-----	8
1.7.1. Premisa	8
1.7.2. Hipótesis	8
1.7.2.1. Hipótesis General	8
1.7.2.2. Hipótesis de Causalidad	8
1.8. Variable del Proyecto -----	9
1.8.1. Variable Dependiente	9
1.8.2. Variable Independiente.....	9
1.9. Operacionalización de variables -----	10
CAPITULO II	11
2. MARCO REFERENCIAL.....	11
2.1. Antecedentes de la investigación -----	11
2.2. Marco Teórico-----	13
2.2.1. Origen de la caña de azúcar	13
2.2.2. Caña de azúcar	13
2.2.2.1. Cualidades morfológicas de la caña de origen azucarera	13
2.2.2.2. Composición fisicoquímica de la caña de azúcar	14
2.2.3. Cultivos en Ecuador y Guayas.....	15
2.2.4. Componentes ambientales precosecha de caña de azúcar	17
2.2.5. Cosecha.....	18
2.2.6. Método de cosecha para extracción de caña de azúcar	19
2.2.6.1. Cosecha Manual.....	19

2.2.6.2.	Cosecha Mecánica.....	20
2.2.7.	Producción de caña de azúcar en América Latina	21
2.2.8.	Producción de caña de azúcar en el Ecuador y en la Provincia del Guayas	22
2.2.9.	Residuos de caña de azúcar para reutilización.....	23
2.2.10.	Residuos de caña de azúcar en la provincia del Guayas	24
2.2.11.	Composición química de los residuos de caña de azúcar	25
2.2.12.	Ingenios azucareros en el Guayas.....	25
2.2.13.	Precio de la caña de azúcar en el Ecuador	26
2.3.	Marco Conceptual -----	27
2.3.1.	Que es una biomasa	27
2.3.2.	Tipos de biomasa.....	27
2.3.2.1.	Biomasa natural.....	27
2.3.2.2.	Biomasa Residual.....	28
2.3.3.	Fuentes de la biomasa.....	28
2.3.4.	Definición de residuos agrícolas	28
2.3.5.	Características de los residuos agrícolas	29
2.3.6.	Caracterización de los residuos sólidos	29
2.3.6.1.	Contenido de humedad.....	29
2.3.6.2.	Contenido de ceniza	31
2.3.6.3.	Material volátil.....	32
2.3.6.4.	Carbono fijo	33
2.3.6.5.	Índice de combustibilidad (Poder calorífico)	33
2.3.6.6.	Componentes elementales del RAC	34
2.4.	Marco Contextual -----	34
CAPITULO III		35
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1.	Técnicas de investigación-----	35
3.1.1.	Tipos de investigación.....	35
3.1.1.1.	Investigación Observacional.....	35
3.1.1.2.	Investigación Prospectiva	35
3.1.2.	Nivel de investigación	35
3.1.2.1.	Nivel exploratorio	35
3.2.	Diseño experimental-----	35
3.2.1.	Obtención de las muestras para la investigación	36
3.2.2.	Tratamiento físico del residuo de corte de caña de azúcar	37
3.2.2.1.	Clasificación y selección de los residuos obtenidos	37
3.2.2.2.	Limpieza	37
3.2.2.3.	Proceso de secado	37
3.2.2.4.	Molienda.....	37
3.2.2.5.	Tamizado	38
3.2.2.6.	Almacenado	39
3.3.	Equipos y materiales utilizados para la recolección, pretratamiento y almacenado de los residuos de caña de azúcar -----	40

3.4. Flujograma del pretratamiento del RAC -----	41
3.5. Esquema de equipos del proceso de tratamiento físico del RAC -----	41
3.6. Evaluación y análisis fisicoquímicos del RAC -----	42
3.7. Etapa de caracterización del RAC -----	42
3.7.1. Metodología y análisis para caracterización del RAC	43
3.7.1.1. Análisis termogravimétrico	43
3.7.1.2. Análisis de poder calorífico	43
3.7.1.3. Análisis de azufre	44
3.7.1.4. Análisis elemental	45
CAPITULO IV	46
4. Resultados y discusión.....	46
4.1. Balances durante el proceso de tratamiento físico del RAC -----	46
4.1.1. Balance de proceso de secado.....	46
➤ Análisis de resultados balance de proceso de secado	49
4.1.2. Balance de proceso de molienda	50
➤ Análisis de resultados proceso de molienda.....	53
4.1.3. Balance de proceso de tamizado	54
Porcentaje de RAC retenido	54
Porcentaje de rendimiento en el proceso de tamizado	58
➤ Análisis del proceso de tamizado	61
4.2. Resultados de la caracterización de los residuos de caña de azúcar -----	61
4.2.1. Resultados de análisis próximos o termogravimétricos TGA	63
4.2.1.1. Resultados de análisis de humedad residual.....	63
Análisis de resultados de humedad residual.....	64
4.2.1.2. Resultados de análisis de material volátil.....	65
Análisis de resultados de contenido de material volátil	66
4.2.1.3. Resultados de análisis de ceniza	67
Análisis de resultados de contenido de ceniza	68
4.2.1.4. Resultados de análisis de carbono fijo	69
Análisis de resultados de contenido de carbono fijo.....	70
4.2.2. Resultados de análisis elementales.....	71
4.2.2.1. Resultados de análisis de Carbono	72
Análisis de resultados de contenido de carbono.....	72
4.2.2.2. Resultados de análisis de Hidrógeno.....	74
Análisis de resultados de contenido de hidrógeno.....	74
4.2.2.3. Resultados de análisis de Nitrógeno.....	76
Análisis de resultados de contenido de nitrógeno	76
4.2.3. Resultados de porcentaje de contenido de azufre	77
Análisis de resultados de contenido de azufre.....	80
4.2.4. Resultados de poder calorífico.....	82
Análisis de resultados de contenido de poder calorífico	84
4.3. Costos de producción-----	85

4.3.1. Costos de producción para producción de 200 a 300 g de 7 muestras RAC de caña de azúcar en polvo en 7 sectores del Guayas.....	85
4.3.2. Análisis de costo fijo	86
4.3.3. Análisis de costo variable	86
4.3.4. Análisis de costo total.....	87
CAPITULO IV.....	87
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
5.1. Conclusiones -----	87
5.2. Recomendaciones-----	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	94

Índice de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables-----	10
Tabla 2. Composición química de la caña de azúcar hoja verde originaria de materia seca -	15
Tabla 3. Total de cultivos permanentes en Ecuador por superficie plantada, cosechada y su producción del año 2020 al 2022-----	22
Tabla 4. Composición química de residuos agrícolas de caña de azúcar por tonelada -----	25
Tabla 5. Provincias con establecimientos para la producción en el azúcar 2020-----	26
Tabla 6. Datos para cálculo del porcentaje de rendimiento de tamizado -----	39
Tabla 7. Equipos y materiales utilizados para la recolección, pretratamiento y almacenado del RAC -----	40
Tabla 8. Resultados de % de pérdida de humedad del RAC en secado -----	48
Tabla 9. Resultados de % de pérdida de RAC no molido-----	52
Tabla 10. Resultados de % de retenido en el proceso de tamizado -----	57
Tabla 11. Resultados de porcentaje de rendimiento en el proceso de tamizado-----	60
Tabla 12. Identificación de análisis de caracterización-----	62
Tabla 13. Resultados de análisis próximos -----	63
Tabla 14. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo (Humedad residual y total)-----	64
Tabla 15. Resultados de análisis elementales -----	71
Tabla 16. Resultados de análisis de contenido de azufre-----	77
Tabla 17. Resultados de poder calorífico -----	82
Tabla 18. Tabla de costo fijo y variable-----	85

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación Provincia del Guayas.	5
Figura 2. Rasgos morfológicos de la caña de azúcar	14
Figura 3. Cosecha manual de caña de azúcar	20
Figura 4. Cosecha mecánica de RAC agrícola de caña de azúcar	21
Figura 5. Producción de caña de azúcar (Tm) en Guayas, Imbabura y Loja	23
Figura 6. Residuos de caña de azúcar	24
Figura 7. Peso de muestra para análisis de laboratorio	40
Figura 8. Flujograma de pretratamiento del RAC	41
Figura 9. Esquema de equipos del proceso de pretratamiento del RAC	42
Figura 10. Balance de materia proceso de secado	46
Figura 11. Proceso de molienda del RAC	50
Figura 12. Balance de proceso de tamizado del RAC	54

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de provincias con mayor participación de superficie plantada en el Ecuador año 2022.....	16
Gráfico 2. Resultado de % de pérdida de humedad del RAC en secado	49
Gráfico 3. Resultados de % de RAC perdido no molido	53
Gráfico 4. Porcentaje de retenido en el tamizado.....	58
Gráfico 5. Resultados de porcentajes de rendimiento en tamizado del RAC	60
Gráfico 6. Porcentaje de contenido de Humedad residual y total	63
Gráfico 7. Porcentaje de contenido de material volátil.....	65
Gráfico 8. Porcentaje de contenido de cenizas.....	67
Gráfico 9. Porcentaje de contenido de carbono fijo	69
Gráfico 10. Porcentaje de contenido de carbono.....	72
Gráfico 11. Porcentaje de contenido de hidrógeno	74
Gráfico 12. Porcentaje de contenido de nitrógeno	76
Gráfico 13. Porcentaje de contenido de azufre seco al aire	78
Gráfico 14. Porcentaje de azufre seco	80
Gráfico 15. Índice de poder calorífico seco al aire.....	82

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de humedad en base seca	30
Ecuación 2. Porcentaje de contenido de humedad en base húmeda	30
Ecuación 3. Porcentaje de contenido de cenizas	31
Ecuación 4. Porcentaje de material volátil.....	32
Ecuación 5. Porcentaje de carbono fijo	33
Ecuación 6. Porcentaje de retenido de tamizado	38
Ecuación 7. Porcentaje de rendimiento.....	58

NOMENCLATURA

SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
° C	Grados centígrados
g	Gramo
T	Temperatura
t	Tiempo
h	Hora
Kg	Kilogramo
ha	Hectárea
Hr	Humedad residual
Mv	Material volátil
Cz	Ceniza
CF	Carbono Fijo
C	Carbono
H	Hidrógeno
N	Nitrógeno
p/p	Partes por millón
%	Porcentaje
cal / g	Caloría por gramo

INTRODUCCION

En cuanto al origen de las actividades agrícolas de hace ya más de 10.000 años, se pudo observar que ha existido presencia de desechos generados a partir de las cosechas y de sus procesos productivos, a estos los llamamos residuos agrícolas; los cuales se han vuelto objeto de estudio universal ya que poseen de ciertas propiedades y características energéticas únicas que hacen de este, un recurso de gran utilidad para dar lugar al aprovechamiento para la creación de subproductos de uso sustentable ya sea para fines energéticos, como compost, reciclaje, alimentación de ganado, entre otros.

Actualmente existen industrias agrícolas a nivel mundial que participan activamente en el uso, control y manejo de desechos agroindustriales, como lo son las industrias azucareras, cuya demanda de productos manufacturados utilizando caña de azúcar como materia prima, el cual ha ido en incremento a través de los años, haciendo de este un productor de biomasa potencial, lo cual lo hace beneficiario en dar una función de sus desechos más amigable para el medio ambiente.

De acuerdo con (Sánchez et al., 2019) la caña de azúcar figura en un aproximado del 86% de los cañaverales alrededor del mundo y los países que encabezan la lista por liderar la industria en producción de caña de azúcar son en primer lugar Brasil, y los siguientes países en los primeros puestos Tailandia, India y China.

En el Ecuador, provincias como Cañar, Imbabura, Loja, Guayas, entre otras producen miles de Tm de caña de azúcar al año siendo Guayas la que mayor participación tiene en el país actualmente, contando con una participación del 86,8% en la superficie plantada total y una superficie cosechada de 113.148 por ha en el último año frente a otras provincias según (ESPAC, 2022), por lo cual se ha visto la necesidad de tomar acciones correctivas ante la alta cantidad de RAC en los cortes de la caña de azúcar producidos durante su cosecha, cuya

presencia ocupan espacios de forma innecesaria y que la mayor parte del tiempo no son utilizados para beneficio alguno.

Uno de los beneficios medioambientales con los que cuentan los residuos a partir de caña de azúcar es la eficiencia durante su uso en la fotosíntesis al capturar energía solar y su gran capacidad de absorber el CO₂ (APAH, 2022) ayudando a disminuir la contaminación y el calentamiento global, es por ello que conocer más las características térmicas y elementales de la principal provincia productora (Guayas) nos ayudaría a descubrir la identidad del RAC frente a futuros posibles manejos de estos residuos y usos del mismo.

En esta investigación se tiene como objetivo evaluar y caracterizar el RAC producido durante los cortes de caña de azúcar generados actualmente en los distintos sectores ubicados dentro de la Provincia del Guayas en la región costa de Ecuador como son Coné, Naranjito, Naranjal, Bucay, San Antonio- Vía a Playa, Taura, y Milagro utilizando la normativa ASTM D5373-21, para realizar la caracterización de compuestos elementales; la normativa ASTM D7582 – 15 para realizar los análisis próximos; la normativa ASTM D5865/D5865M – 19 para analizar el poder calorífico y la normativa ASTM D4239 – 18, para determinar el contenido de azufre de cada una de ellas, de esta forma conocer y evaluar la identidad de cada uno a nivel residual y medioambiental.

CAPITULO I

1. TEMA

Evaluación y caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar de la Provincia del Guayas.

1.1. Planteamiento del Problema

Según datos tomados de los resultados de la Encuesta de Superficie de Producción Agropecuaria en el año 2022 por Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (ESPAC, 2022), el sector geográfico de Guayas contó con una participación del 86,8% en la superficie plantada total y una superficie cosechada de 113.148 por hectárea y de acuerdo con para (Bermeo Palacios & Reyes Catillo, 2023) menciona en su investigación que por cada ha en la cual se ha cosechado la caña de azúcar se produce una cantidad estimada de entre 10 a 14 toneladas de RAC.

Por lo general para cosechar la caña de azúcar se suele emplear dos técnicas muy comunes, la principal es quemando la caña con la finalidad de disminuir la existencia de cuerpos extraños y reducir los follajes (técnica que genera gases invernaderos como monóxido de carbono, oxido de azufre, entre otros) y por otro lado la cosecha cruda o verde ;ambas técnicas generan cantidades de residuos muy notables lo cual los productores tienen la necesidad de aprovechar parte de sus residuos y utilizarlos como abono por causa de su alto contenido en nutrientes como nitrógeno, potasio además de fósforo, calcio presentes en hojas, cogollos, raíces y pedazos de tallos ayudando a mejorar la calidad del suelo para futuros cultivos y como alimento de ganado. (CONADESUCA, 2016).

Dentro de esta investigación se tiene como objetivo evaluar el RAC de corte de caña de azúcar obtenido en los sectores Milagro, Taura, Naranjal, Naranjito, San Antonio—Vía a Playas, Bucay, Coné ubicados dentro de la Provincia de Guayas, las cuales han sido tomadas muestras de RAC en distintos puntos de los cañaverales, acondicionando estas muestras y

llevándolas a un pretratamiento correspondiente para luego realizar análisis próximos, de compuestos elementales, poder calorífico y azufre los cuales podremos observar, verificar, analizar y comparar de acuerdo las normativas vigentes en la cual se podrá conocer a través de los resultados los beneficiosos propios de esta biomasa.

1.2. Formulación y sistematización del Problema

1.2.1. Formulación del Problema

¿Podrá realizarse la evaluación y caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar de distintos sectores en la Provincias del Guayas?

1.2.2. Sistematización del Problema

1. ¿Se podrá realizar la recolección de muestras dentro de la Provincia del Guayas?
2. ¿Qué sectores estarán involucrados en la investigación?
3. ¿Cuáles son los análisis que se van a evaluar para la caracterización fisicoquímica de los residuos de corte de caña?
4. ¿Cuáles serían las técnicas o métodos para realizar cada uno de los análisis de caracterización de los residuos de caña de azúcar de los sectores involucrados?
5. ¿Como se diseña la metodología para evaluar el RAC de acuerdo con los resultados?

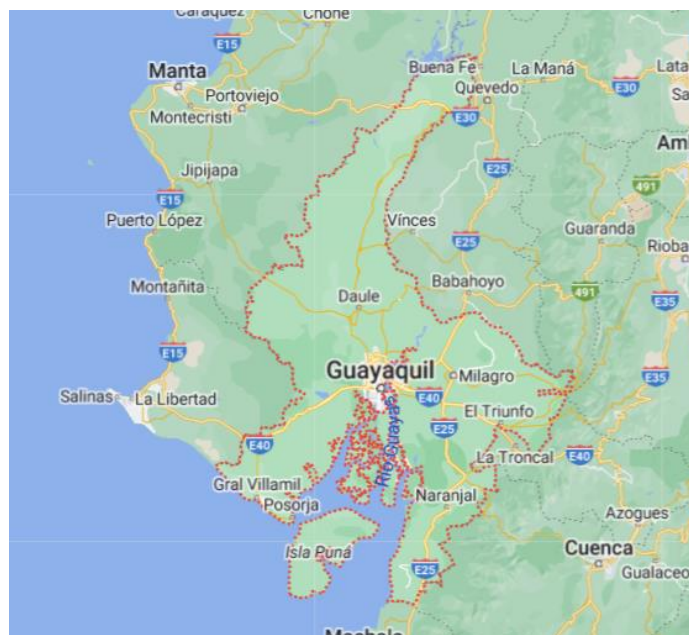
1.3. Limitación del estudio de investigación

1.3.1. Delimitación espacial

Para lograr el objetivo de esta investigación se ha seleccionado los sectores Coné, Taura, Milagro, Naranjito, Naranjal, San Antonio- Vía a playas, y Bucay como lugares principales para la toma de muestras de residuos de corte de caña de azúcar, los cuales están ubicados dentro de la Provincia del Guayas en el Ecuador tal como se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1.

Ubicación Provincia del Guayas.



Nota. Tomado de Google Maps

El pretratamiento del RAC de corte de caña de azúcar, se lo llevo a cabo en un establecimiento dedicado a la transformación de madera balsa en el sector de Yaguachi dentro de la Provincia del Guayas.

Y los análisis de poder calorífico, análisis próximos, análisis de componentes elementales y análisis de azufre fueron realizados en un laboratorio de calidad de un establecimiento dedicado a la fabricación de materiales de construcción ubicado en el sector Durán.

1.4. Alcance de la investigación

El presente documento de titulación se hizo posible en un lapso de 9 meses a partir del CICLO II 2022 – 2023 tiempo en el cual se hizo la exploración de los sectores en los cuales se recopilaban las muestras de los residuos de caña en los diferentes sectores del Guayas y durante el CICLO I 2023-2024 se desarrolló la recopilación de información, diseño de la

metodología y caracterización de cada una de las muestras de RAC obtenidas, recopilando los datos para evaluar los resultados de los análisis.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar y caracterizar los residuos del corte de la caña de azúcar de la Provincia del Guayas.

1.5.2. Objetivos Específicos

- ✓ Obtener muestras de RAC explorando los diferentes sectores de la Provincia del Guayas de los sectores Milagro, Coné, Naranjito, Taura, Naranjal, Bucay, San Antonio- Vía a Playas.
- ✓ Seleccionar los análisis a realizar para evaluar las características físico- químicas de los residuos durante el corte de caña de azúcar.
- ✓ Definir los métodos de caracterización de la biomasa según sus criterios analíticos y la normativa vigente.
- ✓ Comparar los resultados de la caracterización del RAC de acuerdo con su ubicación sectorial identificando su nivel de aprovechamiento de la biomasa.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación Teórica

En el Ecuador existe una alta demanda en producción de productos de primera y segunda necesidad como azúcar, etanol, melaza, entre otros, todos estos elaborados a partir de la caña de azúcar, esta situación conlleva a que se produzca una gran cantidad de residuos que generan una alta contaminación al ambiente debido a su largo tiempo de descomposición y altos costos en su recolección. Es muy común que sus mismos productores reutilicen el RAC de las cosechas como un combustible alternativo y más económico durante la generación de

energía de calderos en muchos ingenios azucareros, durante sus procesos productivos, considerando que esta acción genera una huella ecológica en el ambiente por los gases invernadero que provoca.

Los residuos de corte de caña de azúcar que normalmente se producen durante la época denominada zafra (cosecha) son hojas secas, raíces, cogollos, y algunas partes del tallo, los cuales se generan en grandes cantidades y que de acuerdo con el tipo de cosecha quemada o cruda se los reutiliza para mejorar los suelos para los siguientes cultivos.

La Provincia del Guayas es actualmente la principal provincia que cosecha caña de azúcar en el país con una superficie cosechada de 113.148 por ha de acuerdo con (ESPAC, 2022), razón por la cual tomaremos los residuos pertenecientes a la misma como objeto de esta investigación y analizaremos sus características elementales, térmicas, y próximas.

1.6.2. Justificación Metodológica

El enfoque que tiene esta investigación está en la exploración de los lugares ubicados en la Provincia del Guayas que cuenten con una alta concentración de residuos agrícolas de caña de azúcar en época de cosecha por lo cual se obtienen muestras en las cuales luego de ser acondicionadas sometiéndolas a un proceso de pretratamiento, posterior a ello se definen las técnicas y metodología adecuada para realizar una caracterización de sus componentes elementales, térmicos y próximos, que mediante sus resultados nos permiten conocer el RAC para una evaluación comparativa de cada uno de los sectores seleccionados.

1.6.3. Justificación Práctica

Los residuos agrícolas que normalmente se generan durante los cortes en las cosechas y al momento de procesar la caña de azúcar, pueden utilizarse para uso de alimentación animal, reciclar nutrientes propios de esta biomasa y en forma de materia orgánica en sistemas agrícolas, se puede utilizar también como capa de cobertura vegetal encima del suelo que

sirve para conservar la humedad y prevenir la existencia alguna de la erosión que se genera, estos residuos ayudan además a controlar plantas indeseables o microorganismos extraños, y como comúnmente se utiliza en los ingenios como si fuera un carburante para la formación de energía.

Para empezar se toma las muestras de residuos en el sector agrícola azucarera a partir del corte de caña de azúcar en sectores dentro de las superficies cultivadas de la Provincia del Guayas como objetivo principal de esta investigación con la finalidad de realizar una recopilación de resultados de varios tipos de análisis para descubrir porcentajes de compuestos elementales, azufre, el poder calorífico, análisis próximos como lo son el contenido de humedad, materia volátil, porcentaje de carbón, contenido de ceniza para así poder evaluar sus características en base a los obtenidos para así comparar y considerar su uso hacia un fin menos contaminante y más eco amigable.

1.7. Delimitación de la Investigación

1.7.1. Premisa

¿Se logrará diseñar las técnicas, métodos y aplicación de normativas adecuadas en la evaluación y caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar en la Provincia del Guayas para analizar sus características fisicoquímicas?

1.7.2. Hipótesis

1.7.2.1. Hipótesis General

¿Es posible obtener muestras de los residuos de corte de caña de varios sectores de la Provincia del Guayas para su evaluación y caracterización?

1.7.2.2. Hipótesis de Causalidad

1.7.2.2.1. Hipótesis de Investigación (Hi)

¿Es posible encontrar las características elementales, análisis próximos, azufre y poder calorífico de los residuos de corte de caña en los sectores de la provincia del Guayas mediante análisis fisicoquímicos y normativas aplicadas?

1.7.2.2.2. Hipótesis nula (Ho)

¿No es posible encontrar las características elementales, análisis próximos, azufre y poder calorífico de los residuos de corte de caña en los sectores de la provincia del Guayas mediante análisis fisicoquímicos y sus respectivas normativas aplicadas?

1.7.2.2.3. Hipótesis alternativa (Ha)

¿Se logrará encontrar los resultados de los análisis fisicoquímicos de RAC en el corte de caña de azúcar para conseguir realizar una evaluación comparativa entre los diferentes sectores de la Provincia del Guayas y así sugerir para que uso medioambiental este puede ser utilizado?

1.8. Variable del Proyecto

1.8.1. Variable Dependiente

Evaluación y caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar de la Provincia del Guayas.

1.8.2. Variable Independiente

Estudio e implementación de métodos de evaluación de las propiedades fisicoquímicas según el lugar de origen del RAC para el desarrollo de análisis comparativo entre distintos sectores de la provincia del Guayas y su definición en el aspecto medioambiental según resultados.

1.9. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

Tipo de Variables	Indicadores	Tipos de variables	Unidades	Definiciones
Independiente	Análisis próximos	Humedad residual (Hr)	%	Es la cantidad de agua presente en una muestra representativa.
		Ceniza (Cz)	%	Cantidad que indica presencia de material inorgánico posterior a la oxidación e ignición de una muestra de material orgánico.
		Material volátil (Mv)	%	Es la cantidad de masa perdida cuando el carbón se calienta a temperatura y condiciones estándar, sin tener contacto con el aire.(Eduardo & Rodríguez, 2017)
		Carbono fijo (Cf)	%	Es la cantidad de carbono elemental presente en el carbón existente en la muestra.
	Análisis elementales	Carbono (C)	%	Cantidad de carbono en la muestra.
		Hidrogeno (H)	%	Cantidad de hidrogeno en la muestra.
		Nitrógeno (N)	%	Cantidad de nitrógeno en la muestra.
Dependiente	Otros	Azufre (S)	% p/p	Cantidad de azufre en la muestra.
		Poder calorífico (X, X1, X2)	(cal/g)	Cantidad de energía producida por unidad de masa generada en un combustible al producirse una reacción de combustión.

Elaborado por: autor

CAPITULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

Existen varias universidades que han realizado investigaciones con respecto al comportamiento de la caña de azúcar, el dominio y participación que esta tiene en el sector medioambiental, como es el caso de (Sánchez & Amable, 2020) ,en donde se tiene como objetivo lograr la evidencia del comportamiento de tres cultivares de caña de azúcar en los parámetros agro productivos en las condiciones agroecológicas de una granja llamada Santa Inés la cual pertenece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, teniendo como ubicación el km 5.5 de la vía Machala -Pasaje, donde durante de esta investigación se puede visualizar cómo factores del medio ambiente podrían alterar la calidad de la cosechas de la caña de azúcar exponiendo la manera en la que esta afecta a la composición química de los residuos. Los resultados más sobresalientes confirmaron que la humedad relativa, la temperatura y las precipitaciones, tienen alta incidencia en el crecimiento caña de origen azucarera y que la calidad de vida agrícola existente en la zona de estudio, son las más optimas y convenientes para el establecimiento de cultivo agrícola de la caña de azúcar a nivel comercial.

Por otro lado, tenemos el trabajo de titulación de (Bermeo Palacios & Reyes Catillo, 2023) de la Facultad de Ingeniería Química, ubicada en el interior de Universidad de Guayaquil, investigación basada en la evaluación del residuo de corte de caña de naturaleza azucarera como materia prima para la producción de biocombustibles sólidos, su objetivo es evaluar el residuo de corte de caña de azúcar producto de las cosechas de la azucarera en Ingenio Valdez y examinar si este RAC puede utilizarse como fuente de energía, por medio de la fabricación de los denominados pellets. En el proceso experimental de esta investigación se efectuaron diferentes proporciones de mezcla logro verificar que la mejor proporción de mezcla fue 53%

RAC con 47% de aglutinante, esto se determinó mediante el análisis proximal y la determinación del poder calorífico, de los cuales se obtuvieron los resultados de % H=5.768, %MV=82.313, %Cz=6.376, %Cf= 5.543 y Pc= 15.635 MJ/Kg. En base a los resultados se deduzco que los residuos de corte originarios de caña de azúcar analizados en esta investigación, si cumplieron con los rasgos fisicoquímicos para ser usados como materia prima en la elaboración de biocombustible sólido mediante pellets.

En la Universidad Técnica de Ambato el autor (Toapanta Molina & Morales Fiallos, 2017) realizó una investigación sobre el “Análisis del bagazo de la caña de azúcar como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de lácteos "Lácteos Valenzuela Divino Niño" de la Provincia de Cotopaxi, en el Cantón Saquisilí cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia del bagazo de caña de azúcar en el pretratamiento de un efluente residual lácteo; para el desarrollo del trabajo el autor tomó un periodo de 90 días, en el cual se estimó un caudal residual de (0.13ltrs/seg) y un volumen final = 4680ltrs por jornada laboral, correspondiendo un volumen de residuos lácteos = 360ltrs/Jornada laboral. La capacidad depuradora del material filtrante se determinó mediante un muestreo del agua filtrada para análisis cada 10 días en los cuales las eficiencias máximas que se alcanzaron dieron como resultados en porcentajes de alrededor de: 30.55% (Aceites y grasas), 81.07% (DBO5) y 79.78% (DQO), durante los primeros 60 días. Obteniendo una eficiencia promedio real de 55.97 %, y un barrido microscópico que revela una estructura morfológica dominada por el desgaste de la superficie, poros totalmente sellados por residuos sólidos lácteos a nivel micrométrico, fibras casi lisas separadas creando vacíos entre ellas e incluso presencia de microorganismos. Se dedujo que la vida útil de filtración funcional del BCA es menos 30 días y una vida útil de filtración funcional de valor decreciente de 10 días, al tener una variación de resultados considerable en relación a la muestra de agua cruda y tratada, posterior a este tiempo los valores de concentración de la materia tendían a ascender por problemas de

saturación y degradación rápida por los cambios bruscos ambientales, que con el pasar del tiempo dieron paso a la generación de organismos bacterianos por efecto adsorbato/adsorbente es decir tratar un efluente de características orgánicas con un medio orgánico.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Origen de la caña de azúcar

Acorde con la información publicada por en la (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). La caña de azúcar la cual también es conocida por su nombre científico *Saccharum officinarum* L. es una planta tipo gramínea la cual es originaria de Oceanía específicamente de Nueva Guinea; esta se cultivó por vez primera hace alrededor de 327 A.C. en las regiones tropicales del subcontinente indio y sureste asiático para más luego extenderse a China y otros sectores del mundo.

2.2.2. Caña de azúcar

La caña de azúcar es perteneciente al género *Saccharum*, que proviene de la familia de Gramíneas. Existen una diversidad de especies como lo son *Saccharum Barberi*, *Saccharum sinensi*, *Saccharum robustum*, *Saccharum edule*, *Saccharum officinarum* y *Saccharum spontaneum* siendo la *Saccharum officinarum* la más comúnmente cosechada y utilizada para industrialización y comercialización en el Ecuador (Joaquín et al., 2019).

Esta planta es utilizada comúnmente para la producción de azúcar de mesa, vinaza, etanol de uso comercial y panela en polvo o bloques y sus subproductos post cosecha es decir sus residuos se utilizan por lo general como fuente de energía para las calderas en los Ingenios azucareros durante los procesos productivos (Peña Otacoma, 2020).

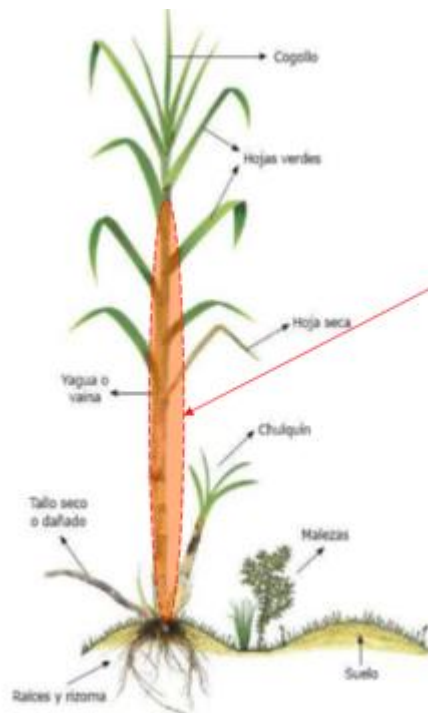
2.2.2.1. Cualidades morfológicas de la caña de origen azucarera

Los tallos de la caña de azúcar como se logra observar en la **Figura 2**, pueden llegar a tener una altura de entre 1,0 a 5,0 m son de forma cilíndrica, erectos y fibrosos, tiene un rango

de 1,0 cm a 5,0 cm de diámetro. La hoja de la caña de azúcar, después de que ya está completamente desarrollada, crea una lámina y una vaina las cuales juntas rodean al tallo (Joaquín et al., 2019) y el 64,99% de las raíces se sitúan en la parte inicial a casi 20 cm de profundidad del suelo.

Figura 2.

Rasgos morfológicos de la caña de azúcar



Nota: tomada de <http://bitly.ws/P2Qn>

2.2.2.2. Composición fisicoquímica de la caña de azúcar

Conforme con la inspección bibliográfica de (Martínez Romero & Leyva Galán, 2014), se permite establecer que la biomasa existente en todo tipo de plantas comprende en su composición química como promedio un 45 % del elemento carbono, el cual en hojas secas provenientes de la caña de azúcar asciende al 43 %. La composición física vegetativa de la caña azucarera refiriéndose a la materia seca pura es: 70 % caña para moler, 19 % cogollos y

paja y 10,99 % raíces. Esto varía dependiendo de sus condiciones climáticas, temperatura, estado del suelo, entre otros.

Tabla 2.

Composición química de la caña de azúcar hoja verde originaria de materia seca

Análisis Químico	Porcentaje %
Proximal	
Proteína Cruda	4.44
Ceniza	7.86
Fibra	34.17
Materia seca	32.69
Grasa	1.46
Energía Bruta	Mcal/Kg
Energía Bruta	4.44

Nota. Tomado de *Caracterización nutricional de los residuos orgánicos en la caña de azúcar del cantón La Troncal*, (Humberto et al., 2021) ,Instituto Superior Tecnológico Enrique Noboa Arizaga, La Troncal, Cañar, Ecuador.

2.2.3. Cultivos en Ecuador y Guayas

El sector azucarero en el país es uno de los más importantes ya que genera empleos a los ecuatorianos destinados a alimentación, e industrialización de una diversidad de productos. De acuerdo con la Federación Nacional de Azucareros, FENAZUCAR (Navarrete & Naikiat, 2022), mediante su investigación, lograron dilucidar que se hallan más de 110.000 hectáreas de caña de azúcar esparcido en diferentes zonas del Ecuador, de las cuales entre 80.000 y 85.000 ha permanecen destinadas principalmente para la industrialización y

producción de azúcar además también se incluyen las partes restantes de las hectáreas para fabricar etanol y producir otros derivados como la panela.

Según la encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - (ESPAC, 2022) la superficie plantada de caña de azúcar a nivel nacional fue de 116.515 hectáreas en la cual la provincia del Guayas tuvo el 86,8 % de participación de superficie plantada es decir que se cultivaron alrededor de 101,14 hectáreas; en el **Gráfico 1** podemos observar los datos tomados de (ESPAC, 2022) en un periodo de recolección a partir del mes de septiembre a noviembre del año 2022 en toda la cobertura geográfica exceptuando las islas Galápagos.

Gráfico 1.

Porcentaje de provincias con mayor participación de superficie plantada en el Ecuador año 2022



Nota: Tomado de datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del año 2022, (ESPAC, 2022) del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

2.2.4. Componentes ambientales precosecha de caña de azúcar

La caña de azúcar se cultiva generalmente en climas cálidos en regiones tropicales y subtropicales. Las cualidades principales climáticas que controlan el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la caña son la temperatura, la luz y la humedad disponible de acuerdo con la Guía técnica de caña de azúcar de (Joaquín et al., 2019).

- **Temperatura.** La temperatura es un parámetro de fundamental ayuda gracias a su habilidad de determinar el tiempo en el cual se puede dar inicio al cultivo de la caña de azúcar, y normalmente estos ciclos finalizan por las alas temperaturas existentes.
El ciclo de vida de la caña de azúcar se divide en 3 fases:
 1. **Germinación y desarrollo radicular.** En esta primera fase la temperatura apropiada es de 26°C a 33°C, recalando que si la temperatura se encuentra bajo los 20°C esta fase se desarrollara de forma más lenta.
 2. **Crecimiento.** En la segunda fase la temperatura óptima será de 30°C a 34°C la caña de azúcar, si la temperatura llegara a caer por debajo de 15° paraliza su crecimiento de igual forma si la temperatura sube por arriba de los 38°C.
 3. **Maduración.** En esta etapa, se ve reflejadas temperaturas más bajas, de las cuales surge un aumento de producción y almacenaje de sacarosa, mientras que el crecimiento de la caña es muy reducido.
- **Humedad.** Según la guía técnica de cultivo de caña de azúcar (Joaquín et al., 2019) para que exista un correcto desarrollo de las 3 fases desde el crecimiento de la planta hasta su cosecha debe existir la suficiente cantidad de agua de un promedio de precipitación de 1.200 a 1.500 mm al año en los suelos; ya que en su primera fase de germinación pueden no desarrollarse correctamente las raíces y provocar que la planta no se desarrolle y ocasione su muerte en los suelos, para su segunda fase de crecimiento que es donde se produce el nivel más alto de la biomasa, si la humedad no

es la correcta puede la planta desarrollarse con un bajo rendimiento y en la tercera fase de maduración, por lo contrario es cuando existe una cantidad reducida de agua, ya que al existir menos agua, en esta etapa se detiene el crecimiento y es justamente allí donde la sacarosa puede almacenarse.

- **Luz solar.** En presencia de la luz solar, la caña de azúcar puede lograr desarrollarse adecuadamente. Durante la etapa de macollamiento que es donde se producen nuevos brotes en la planta, el desarrollo de la caña de azúcar se ve estimulada dado por la alta intensidad y prolongada exposición de rayos solares en días soleados que por lo contrario si existiera un día nublado afectaría su crecimiento (Joaquín et al., 2019). Si la luz diurna se extiende alrededor de 10 a 14 horas, la caña de azúcar se ve beneficiada en su crecimiento.

2.2.5. Cosecha

Durante la cosecha se realiza la quema de la plantación ya culminada la maduración de la planta luego de verificar que ya sus hojas están secas y marchitas, con el fin de eliminar algún tipo de malezas que impidan los cortes de la caña (CONADESUCA, 2015). Es importante recalcar que el estado de madurez de la planta determina si la caña de azúcar se encuentra en un estado óptimo para ser cosechada, guiándose por los siguientes indicadores según la Guía para cultivo de caña de azúcar de (Eco Business fund, 2021):

- ✓ **Tonalidad de la hoja:** Las hojas deben estar secas y tener un tomo amarillo, el número de hojas verdes alcanza a 5 por planta según (Eco Business fund, 2021).
- ✓ **Índice de grados Brix:** Se extrae una muestra del jugo de caña de azúcar, y con ayuda de refractómetro debe indicar el valor de grados brix para una caña en su completo estado de maduración dentro de un rango de 0,95 a 1, esto determina el valor de solidos solubles (Eco Business fund, 2021).

- ✓ **Tiempo de vida de la caña:** El tiempo de madurez de la caña es de aproximadamente 12 a 18 meses dependiendo de los cuidados precosecha a la que haya sido sometida y según la variedad de caña sembrada.
- ✓ **Análisis de laboratorio:** Se mide el porcentaje de sacarosa y pureza de la caña de azúcar.

Por lo general, la zafra o también denominada cosecha inicia en Junio de todos los años normalmente y finaliza los primeros días de diciembre.

2.2.6. Método de cosecha para extracción de caña de azúcar

En la actualidad existen dos métodos tradicionales para realizar el corte de caña de azúcar utilizados en las cosechas:

2.2.6.1. Cosecha Manual

Se debe cortar al ras (es decir por encima de la superficie) con la ayuda de un machete y posterior a ello se limpia el material cosechado y se despunto de forma inmediata a una altura optima. Esta técnica ayuda a que se evita material extraño en la cosecha (Eco Business fund, 2021).

Figura 3.

Cosecha manual de caña de azúcar



Nota: Tomado de documento de foto reportaje: La zafra: cosecha de la caña de azúcar en Bella Unión por (Cattani, 2019)

2.2.6.2. Cosecha Mecánica

En esta técnica se utilizan maquinas cosechadoras que cortan la caña en segmentos o fragmentos que a su vez logran dividir los residuos de los tallos del restante que queda los suelos. Esta técnica ayuda a que reducir gastos por mano de obra, maximice el tiempo de cosecha, existen cosechadoras que no requieren de una quema previa lo que ayuda a que reduzca la huella ambiental(Eco Business fund, 2021).

Figura 4.

Cosecha mecánica de RAC agrícola de caña de azúcar



Nota: Tomado de documento de investigación *Efectos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar sobre el suelo*, por (López Bravo et al., 2022)

2.2.7. Producción de caña de azúcar en América Latina

En América Latina, Brasil (país vecino de Ecuador) actualmente se encuentra en la primera posición como uno de los mayores productores del mundo, cuyo mercado principal se enfoca en producción de azúcar refinado junto a las actividades de exportación del etanol.

Durante la cosecha del periodo pasado 2022-2023, se estima según (Conab, 2023) se recogió alrededor de 610,1 millones de toneladas de caña de azúcar, con una producción en un 5,4 % mayor a la del período de hace 2 años en el ciclo 2021-2022, según proyecciones oficiales por la Compañía Nacional de Abastecimiento (Conab), organismo vinculado al Ministerio de Agricultura y Pecuaria(Conab, 2023).

Si revisamos las hechas del año 2020 Brasil fue considerado como principal productor de caña de azúcar en todo el mundo con una producción del 757,116,855 toneladas que en porcentaje de participación seria 40.5%, seguido por India con una producción de 370,500,000 toneladas es decir acaparando el 19.8% y China continental con 108,121,000 toneladas y un porcentaje del 5.8%, por lo cual se estipula que estos 3 países se proclamaron

como productores del 66.1% de la producción mundial en el sector de la caña de azúcar(Conab, 2023).

2.2.8. Producción de caña de azúcar en el Ecuador y en la Provincia del Guayas

En 2022, la caña de azúcar para azúcar, banano y palma africana son los cultivos de mayor producción a nivel nacional. En este mismo año la superficie plantada de caña de azúcar a nivel nacional fue de 116.515 hectáreas como se lo menciona en la **Tabla 3**.

Observando que la producción se concentra en la provincia del Guayas con el 85,8 % con una producción del 7.740.492 tm de caña según (ESPAC, 2022)

Tabla 3.

Total de cultivos permanentes en Ecuador por superficie plantada, cosechada y su producción del año 2020 al 2022

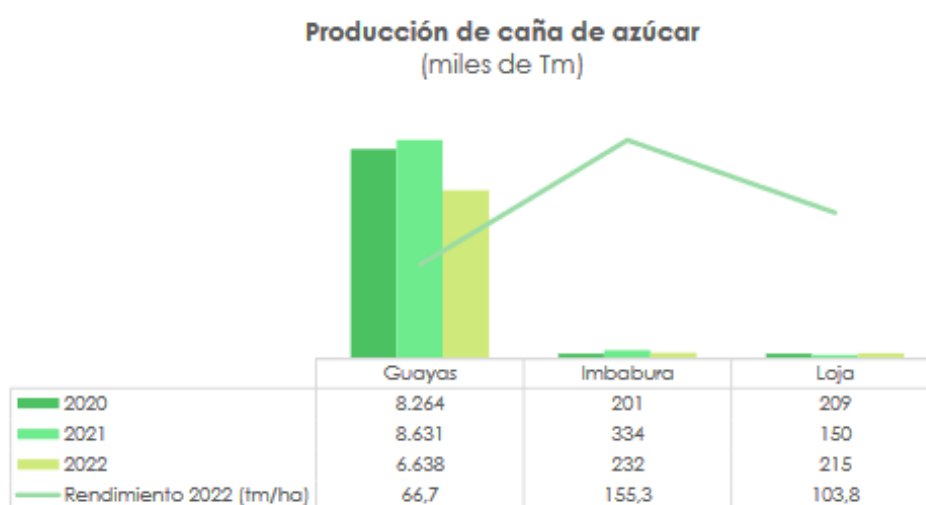
AÑO	SUPERFICIE (ha)		PRODUCCIÓN (Tm)
	Plantada	Cosechada	
2020	142.010	139.406	11.016.167
2021	130.677	130.398	11.372.505
2022	116.515	113.148	7.740.492

Nota: Tomado de *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos* (ESPAC, 2022)

En la **Figura 5** podemos visualizar la cantidad de miles de Tm en las provincias Guayas, Imbabura y Loja y podemos dilucidar que la provincia del Guayas es quién supera en cantidades de producción de caña de azúcar de las 3 provincias mencionadas, siendo 2021 el año más productivo en el cual obtuvo una cantidad de 8.631 de miles de Tm.

Figura 5.

Producción de caña de azúcar (Tm) en Guayas, Imbabura y Loja



Nota: Tomado de *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Contínua del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos* (ESPAC, 2022)

2.2.9. Residuos de caña de azúcar para reutilización

La cosecha de la caña azucarera es su proceso en el cual se puede obtener un beneficio industrial ambiental ya que aporta una inestimable cantidad de residuos como hojas, tallos, cogollos, raíces y otros como podemos observar en la **Figura 6**, son utilizados y aprovechados para la alimentación de los animales como rumiantes, material para alimentación de calderos de alta volatilidad para ingenios azucareros, como como abono orgánico para reutilización en los suelos por cosecha verde. La caña de azúcar entrega un total

de 1,2 toneladas de residuos de la cosecha por tonelada de azúcar producido para la cantidad de 0.79 t. métricas de cogollo y de hojas verdes y 0,41 toneladas de hojas secas o paja, con un rendimiento de 7,1 toneladas de azúcar por ha-1 de tierra. Según (Martínez Romero & Leyva Galán, 2014) investigaron que, para un suministro diario de 20 kg de residuos de la cosecha por cabeza de ganado vacuno, cada hectárea dedicada a la producción de azúcar de caña entrega simultáneamente alimentos para 1,17 animales durante todo el año.

Figura 6.

Residuos de caña de azúcar



Nota: Tomado de *Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades* por (Velasco Velasco et al., 2017)

2.2.10. Residuos de caña de azúcar en la provincia del Guayas

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2022) entre 2021 y 2022 en el país se cosechó 6'460.032 toneladas de caña de azúcar, obteniéndose una producción de azúcar de 10,48 millones de sacos de azúcar de 50 kilos (524 mil Tm) y de acuerdo con la información obtenida por (Martínez Romero & Leyva Galán, 2014) se obtienen 1.2 toneladas de residuos por tonelada de azúcar producido, al verificar en el

Gráfico 1.

Porcentaje de provincias con mayor participación de superficie plantada en el Ecuador año 2022, la participación de cultivos fue del 86.8% de producción de caña de azúcar eso quiere

decir que un alrededor del 454,832 mil Tm de azúcar fue la cantidad obtenida gracias a la participación de la provincia del Guayas lo cual nos lleva a estimar que se podría generar alrededor de 545,5 mil de Tm de residuos de caña de azúcar solo en la Provincia del Guayas en todo un año.

2.2.11. Composición química de los residuos de caña de azúcar

Tabla 4.

Composición química de residuos agrícolas de caña de azúcar por tonelada

Composición	Porcentaje %
Carbono	48.28
Hidrógeno	5.55
Oxígeno	45.61
Cenizas	9.5
Azufre	0.13
Nitrógeno	0.43

Nota: Tomado de *Generación de residuos agrícolas de cosechas de variedad de caña de azúcar y su utilización como fuente de energía: Ingenio Magdalena 2014-2016* por (Bonilla Pérez, 2018)

2.2.12. Ingenios azucareros en el Guayas

En Ecuador existen hasta el 2022 de 116.515 hectáreas de plantaciones de caña de azúcar según (ESPAC, 2022), de las cuales se dividen entre el 50% perteneciente a la propiedad de los ingenios, y 50% es perteneciente a pequeños y medianos cañicultores (Vargas Sarcos, 2023). La producción de azúcar es realizada por los ingenios:

Coazúcar, San Carlos, Valdez, Isabel María, Miguel Ángel, y San Juan, que se encuentran en la región Costa y los ingenios Monterrey y del Norte ubicados en la región Sierra, de los cuales los tres primeros de la región Costa son los que tienen la mayor producción de caña de azúcar del país siendo Guayas la provincia que cuenta con 60% de participación en establecimientos para la producción de azúcar en el año 2020 como se indica en la **Tabla 5**.

Los ingenios azucareros del Ecuador tienen como propósito producir azúcar con los más altos estándares de calidad para exportación y para consumo local, para ello se realizan varios procesos que van desde el cultivo y cosecha de la caña de azúcar, así también como la recepción y preparación de la cosecha la cual ingresa a la molienda, para luego llevarlo a purificación, evaporación, cristalización, centrifugación secado y envasado. Para esto se lleva a cabo el control de parámetros como temperatura, presión, volumen, etc. al.(Peña Otacoma, 2020).

Tabla 5.

Provincias con establecimientos para la producción en el azúcar 2020

Provincia	%
Guayas	60
Tungurahua	20
Cañar	10
Imbabura	10

Nota: Tomado de datos de *Corporación Financiera Nacional*. Fuente: (CFN, 2021).

Elaborado por: CEER, 2022.

2.2.13. Precio de la caña de azúcar en el Ecuador

El precio de la tonelada de caña de azúcar ha tenido un incremento de precio luego de 7 años hasta 2023 costando de 31.70 a 35.05 dólares por tonelada. El incremento será responsabilidad única de los ingenios azucareros de todo el país beneficiando a los pequeños

y medianos cañicultores. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2022) estableció un nuevo precio para la tonelada de caña de azúcar de acuerdo con los costos de producción obtenidos de los distintos ingenios del país.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Que es una biomasa

La biomasa es toda materia orgánica que es proveniente de origen vegetal o animal, se clasifican en residuos y desechos orgánicos, esta materia es comúnmente utilizada para fines energéticos de forma limpia debido al contenido de cenizas, azufre y nitrógeno los cuales generan muy bajas emisiones de gases de invernadero como lo son el dióxido de azufre (SO_2) y óxido de nitrógeno (NO_x)(Camargo Vargas, 2018). Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través del proceso de fotosíntesis, y parte de esta energía permanece almacenada en forma de materia orgánica.

La biomasa para energía se obtiene a partir de los restos de aprovechamientos forestales como las cosechas, de las industrias de transformación de la madera como materia prima, de producción de productos agrícolas, de los residuos de explotaciones ganaderas, entre otros.

2.3.2. Tipos de biomasa

2.3.2.1. Biomasa natural

Es aquella que se produce únicamente en ecosistemas de origen natural. Actualmente se genera en gran proporción dentro de la industria agrícola. La biomasa natural se produce sin intervención alguna del ser humano para uso potencial, para alterarla o modificarla (Camargo Vargas, 2018).

2.3.2.2. Biomasa Residual

La biomasa residual es aquella que es generada por consecuencia de las actividades humanas que hacen uso de materia orgánica como por ejemplo producción agrícola. Esta al producirse actualmente a gran escala desde el crecimiento de la población mundial ha tenido una disyuntiva con respecto a la eliminación de esta, ya que la forma en hacerlo muchas veces provoca cambios ambientales (Camargo Vargas, 2018).

2.3.3. Fuentes de la biomasa

Los diversos tipos de biomasa provienen de los distintos residuos agrícolas existentes que pueden provenir de cultivos agrícolas, forestales, urbanos o industriales(Aguilar Romero, 2019).

2.3.4. Definición de residuos agrícolas

Son aquellos materiales resultantes generados a partir de las actividades agrícolas y ganaderas alrededor de todo el mundo. Estos residuos por lo general son abandonados y apilados en centros de acopio dentro de las plantaciones agrícolas y son constituidos fundamentalmente por altas concentraciones de materia orgánica (Blázquez, 2003).

Este tipo de residuos son conocidos por generarse de forma abundante, se ven muchas veces dispersos lo cual los hace difíciles de controlar, y los convierte en principales focos de contaminación ambiental ya que quedan acumulados en aguas subterráneas, en aguas superficiales y los suelos. A medida que han aumentado las actividades de explotación agrícolas y ganaderas, de la misma forma los problemas de contaminación ambiental también aumentan si no tiene el control y tratamiento optimo adecuado para el tipo de residuo agrícola (Blázquez, 2003).

2.3.5. Características de los residuos agrícolas

Los residuos agrícolas se caracterizan fundamentalmente por proceder de fuentes vinculadas a la actividad agrícola como también actividades de origen ganadera ya sea que provengan de origen vegetal como animal, por efecto del crecimiento y desarrollo de una estas actividades de manera intensiva y continua, estos normalmente se reutilizan como materiales destinados para uso de la propia instalación que los origina; a este grupo se unen otros tipo de materiales de diferentes orígenes de actividad los cuales son los restos de fertilizantes, fitosanitarios (insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc.) y otros residuos generados como resultado de los procesos industriales asociados a esta práctica (Blázquez, 2003).

2.3.6. Caracterización de los residuos sólidos

La caracterización de los residuos sólidos es una herramienta que nos permite obtener información principal en relación con las características de los residuos sólidos y su calidad. La caracterización de residuos sólidos se realiza mediante un estudio, del cual se logra obtener datos tanto físicos como químicos como son densidad, composición elemental, composición térmica bajo análisis próximos y humedad de los residuos sólidos dentro de una zona geográfica determinada.

A través de la obtención de los resultados de este estudio se puede realizar un plan técnico de trabajo para el buen manejo de los residuos sólidos, a nivel académico, institucional, o proyectos gubernamentales que permitan otorgarles un uso integral para su aprovechamiento a corto y largo plazo (MINAM, 2021).

2.3.6.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad se define como la cantidad contenida en un cuerpo, en el caso de esta investigación, un cuerpo solido que ha sido sometido a un acondicionamiento

previo a una temperatura determinada dentro de un lapso establecido, expresándose en dos tipos de termino, en termino de base seca o en base húmeda (Martines & Lira, 2010) .

- **Porcentaje de contenido de humedad en base seca:** se lo determina como el cociente entre la relación la masa de agua en el material sólido y masa seca del residuo multiplicado por 100, tal como se lo puede visualizar en la **Ecuación 1**.

Ecuación 1.

Porcentaje de humedad en base seca

$$\%H_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \times 100$$

Nota: Tomado del simposio del *Centro Nacional de Metrología en la ciudad de Querétaro* por los autores (Martines & Lira, 2010)

Donde **H_{bs}** representa la Humedad en base seca, **m_{H₂O}** la masa de agua, y **m_s** es la masa seca

- **Porcentaje de contenido de humedad en base húmeda:** en la **Ecuación 2** se observa que esta fórmula se expresa como el cociente entre la relacion de la masa de agua dentro del material sólido y su respectiva masa húmeda total multiplicado por 100.

Ecuación 2.

Porcentaje de contenido de humedad en base húmeda

$$\%H_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_h} \times 100$$

Nota: Tomado del simposio del *Centro Nacional de Metrología en la ciudad de Querétaro* por los autores (Martines & Lira, 2010)

Donde H_{bh} representa la Humedad en base seca, m_{H_2O} la masa de agua, y m_h es la masa húmeda.

2.3.6.2. **Contenido de ceniza**

El contenido de ceniza es un proceso conocido como oxidación o cenizas secas ya que relaciona al residuo inorgánico sobrante que queda justamente después de la haber realizado el proceso de ignición o la oxidación completa de la materia orgánica en una sustancia o alimento (Flores et al., 2021). El contenido de cenizas generalmente en los laboratorios de análisis químicos tradicionales se expresa en forma de porcentaje (g/100 g de muestra), como se muestra en la

Ecuación 3.

- **Porcentaje de contenido de cenizas:** se expresa como el cociente entre la diferencia de masa del residuo acondicionado (alimento) luego de ser sometido a una temperatura en estufa en un tiempo determinado con la masa de un crisol vacío entre la masa del residuo final luego de la ignición multiplicado por 100.

Ecuación 3.

Porcentaje de contenido de cenizas

$$\%cenizas = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2} \right) \times 100$$

Nota: Tomado del Protocolo para determinación de cenizas en microalgas liofilizadas de los autores (Flores et al., 2021)

Donde m_3 es la masa del residuo con pretratamiento, m_1 masa del crisol, m_2 masa total del residuo

El contenido de cenizas es medido gravimétricamente al calcinar una muestra dentro de una mufla a una temperatura elevada durante un período de tiempo determinado. Es importante recalcar que actualmente existen varios métodos para determinar el contenido de cenizas en diversos materiales de origen biológico, definiendo que las principales diferencias se encontraran en varios parámetros como la temperatura de calcinación, el tiempo, el peso y tamaño de la muestra (Flores et al., 2021).

2.3.6.3. Material volátil

La cantidad de material volátil principalmente que se encuentra conformado por combinaciones de carbono, hidrogeno y otros elementos según (Camargo Vargas, 2018). Se define como material volátil a el grupo de constituyentes obtenidos a partir biomasa (exceptuando la humedad), al separarlo de una partícula cuando esta se somete a una temperatura que logre calentarla. Los componentes volátiles provienen tanto de origen orgánico como inorgánico de una biomasa.

- **Porcentaje de material volátil:** se determina comúnmente como la diferencia entre el porcentaje de pérdida de peso y porcentaje de humedad equivale a la materia volátil de la muestra como se muestra en la **Ecuación 4**.

Ecuación 4.

Porcentaje de material volátil

$$\%MV = \left[\frac{C - D}{C} * 100 \right] - \% Humedad$$

Nota: Tomado de trabajo de investigación *Evaluación del proceso de pirolisis de material lignoceluloso proveniente del eucalipto en atmosfera de dióxido de carbono* por el autor (Camargo Vargas, 2018)

Donde **C** es el peso inicial en gr de muestra utilizados y **D** se expresa como el peso final en gr de muestra después del calentamiento.

2.3.6.4. *Carbono fijo*

El carbono fijo se emplea para medir el carbono elemental presente en la madera, carbón y en residuos de material orgánico tras la volatilización de compuestos ligeros. El porcentaje de carbono fijo se obtiene por la diferencia de los resultados hallados de los porcentajes de análisis de humedad, cenizas y materia volátil, los cuales se sumarán y se restara del 100%.

Ecuación 5.

Porcentaje de carbono fijo

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100 - \% \text{ humedad} - \% \text{ material volátil} - \% \text{ cenizas}$$

Nota: Tomado de Tomado de trabajo de investigación *Evaluación del proceso de pirolisis de material lignoceluloso proveniente del eucalipto en atmosfera de dióxido de carbono* por el autor (Camargo Vargas, 2018)

2.3.6.5. *Índice de combustibilidad (Poder calorífico)*

El índice de combustibilidad o poder calorífico de una sustancia es el principal parámetro que se debe tener en cuenta al realizar la caracterización energética de un material sólido. Este representa la cantidad de calor generado por kilogramo o metro cúbico a partir de

reacción de combustión de una unidad de masa de dicho combustible en condiciones normalizadas (presión y volumen constante)(Camargo Vargas, 2018).

2.3.6.6. Componentes elementales del RAC

Estudio que permite detectar el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre presentes en muestras de origen orgánica e inorgánica, tanto sólidas como líquidas.

De acuerdo con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2023).El análisis elemental se basa en la combustión de una muestra a analizar en un ambiente de oxígeno puro, ajustándolo a una temperatura aproximada entre 950°C a 1000°C. Con esta combustión se consigue hacer una conversión de las moléculas orgánicas de la muestra en gases simples (CO₂, H₂O, N₂, etc). Luego de producirse los gases simples, estos son llevados a presurización para después separarse mediante una columna cromatográfica. Finalmente, se mide la cantidad de cada uno de ellos gracias a sus diferentes conductividades térmicas.

2.4. Marco Contextual

En este trabajo de investigación se realizó la toma de muestras de 7 sectores en una de las Provincias de la región Costa, el Guayas, y para ello se ejecutó una exploración de campo para obtener residuos de caña de azúcar de pequeños y medianos cañicultores que proveen a los ingenios más grandes del país. Los sectores fueron Milagro, Coné, San-Antonio, Vía a Playas, Bucay, Taura, Naranjito, Naranjal. Las muestras tomadas fueron acondicionadas bajo un proceso de pretratamiento en una fábrica para transformación de madera Balsa ubicada en el sector Yaguachi que cuenta con certificación BPM de la misma forma que el laboratorio de calidad de una compañía dedicada a la fabricación de materiales de construcción ubicado en el sector Durán ambos establecimientos ubicados dentro de la Provincia del Guayas.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Técnicas de investigación

3.1.1. Tipos de investigación

3.1.1.1. *Investigación Observacional*

Se realizo el análisis y la investigación de los lugares o sectores con mayor afluencia o existencia de cosecha azucarera por observación a través de libros, revistas, periódicos y visitas directas a los lugares.

3.1.1.2. *Investigación Prospectiva*

Se realizo una comparación de datos con la información obtenidas en el Instituto Nacional de estadísticas y Censos (ESPAC, 2022) para poder lograr la obtención de resultados del grupo de sectores a investigar.

3.1.2. Nivel de investigación

3.1.2.1. *Nivel exploratorio*

Se realizo la investigación de acuerdo con la toma de muestras de diferentes sectores del Guayas en la región Costa de residuos del corte de la caña de azúcar generados en temporada de zafra desde los meses de junio hasta diciembre del año 2022. Este se realizó visitando el lugar de cosechas y sus respectivos centros de acopio de residuos de caña de azúcar de cada sector.

3.2. Diseño experimental

Para el desarrollo experimental de esta investigación se lo dividió en 4 procesos, donde primero se procedió con la búsqueda y obtención de los residuos de corte de caña (objeto principal de la investigación) de distintos sectores, para luego ser llevado a acondicionamiento bajo proceso de pretratamiento físico y una vez transformada la muestra se

realiza la caracterización del residuo mediante análisis elementales, próximos, y poder calorífico, para finalmente obtener los resultados y dilucidar el análisis de cada uno de ellos de manera ambiental.

Antes de realizar el pretratamiento se inicia la selección y clasificación de los residuos que se encuentren aptos de ser usados, luego se aplica una limpieza de los RAC y se reduce la humedad de las mismas secando al sol por 7 días para posteriormente llevar los residuos a un laboratorio de operaciones unitarias de una fábrica de transformación de madera balsa, en la cual se llevó a secado por 16 horas a una temperatura de 80°, para posterior a ello someterlo a molienda en el molino de martillo, para poder reducir su tamaño. Los residuos de la cosecha de caña de azúcar fueron pasados por un tamiz, obteniendo una muestra en polvo de color café y luego fueron almacenados en una bolsa plástica transparente ziploc.

Una vez que se consigue la muestra con un tamaño de partícula menor, estas se trasladan a un laboratorio dentro del departamento de calidad de una empresa dedicada a la manufactura de materiales de construcción ubicado en la ciudad de Durán para caracterizarlos, donde los análisis que se realizaron fueron porcentaje de humedad, contenido de ceniza, materia volátil, y contenido de carbono fijo, análisis elementales como hidrogeno, carbono, nitrógeno, contenido de azufre y poder calorífico.

3.2.1. Obtención de las muestras para la investigación

Los residuos de corte de la cosecha de caña de azúcar a partir de la cosecha fueron obtenidos en los sectores Milagro, Naranjito, Coné, Taura, San Antonio -Vía a Playas, Naranjal y Bucay de la Provincia del Guayas cuya muestra se conforma de raíces, cogollos, pequeños tallos y hojas de la caña tal como se puede observar en el **Anexo 1** y **Anexo 2**.

Se realizó la toma de las muestras en puntos específicos por ejemplo se toma las muestras en 4 puntos diferentes del mismo cañaveral ubicando los centros de acopio que contengan los residuos de caña de azúcar post cosecha, esto se lleva a la práctica de la misma

manera para la toma de todas las muestras. De cada lugar fue tomado 1 saco de aproximadamente de 3 a 4 kg **Anexo 3**.

3.2.2. Tratamiento físico del residuo de corte de caña de azúcar

El pretratamiento proporcionado a las muestras de residuos de caña de azúcar se ejecutó en las instalaciones de un laboratorio de operaciones unitarias de un establecimiento de transformación de madera balsa, ubicado en el cantón Yaguachi de la Provincia del Guayas que cuenta con certificación BPM.

3.2.2.1. Clasificación y selección de los residuos obtenidos

Se clasifica y se selecciona los residuos que se van a utilizar separando aquellos que no se encuentren óptimos como se observa en el **Anexo 4**, utilizando tijeras para podar y adecuando el tamaño de la muestra de manera haciéndolo más homogéneo y tener una cantidad igual en cada una de las muestras.

3.2.2.2. Limpieza

Se procedió a limpiar las muestras obtenidas con abundante agua encima de un recipiente metálico mostrado en el **Anexo 5**, verificando si existía la visibilidad de algún cuerpo extraño dentro de la muestra y posterior a ella poner la muestra cruda durante 7 días expuesta la luz solar para que la humedad en ella disminuya de forma gradual **Anexo 6**.

3.2.2.3. Proceso de secado

La muestra fue clasificada, cortada, pesada y llevada a un cámara de secado mostrado en el

Anexo 7 por el lapso de 16 horas a una temperatura de 80°C. Cabe recalcar que fueron ingresados 3 kg de residuos de cada sector a la cámara la cámara de secado.

3.2.2.4. Molienda

La molienda en este punto se realiza en un molino de martillo mostrado en el **Anexo 8** de una potencia de 1,2 Hp disminuyendo el tamaño de partícula de los residuos, esta cuenta

una criba de 2 mm dando como resultado el tamaño de partícula de alrededor de 0,02 mm- 0,4 mm como se observa en el **Anexo 9**, dando como resultado un tamaño de partícula adecuado para dar inicio al proceso de tamizado.

3.2.2.5. *Tamizado*

El tamizado fue realizado con la ayuda de dos tamices, un tamiz de acero inoxidable con una medida de 8" x 2" malla n°20 con un tamaño de orificio de 0,841 mm y un tamiz de 8" x 2" malla n°40 con un tamaño de orificio de 0,420 mm **Anexo 12** de forma manual realizando movimientos circulares, tomando un valor estándar de 250 g que al realizar la operación de tamizado se han obtenido de 200 a 240 g de cada muestra en polvo de tonalidad café como se puede observar en el **Anexo 10**. Recalcando que solo se hizo con este proceso con un solo plato ya que las muestras fueron muy bien molidas en el molino de martillo debido a su potencia, cumpliendo con la normativa ASTM E11 para tamices de cumplimiento.

Para este proceso se debe tomar en cuenta el % de retenido en plato de tamiz que se ha utilizado para esta sección tomando la información de la **Tabla 6** y utilizando la **Ecuación 6**.

Ecuación 6.

Porcentaje de retenido de tamizado

$$\%Retenido = \frac{m_f}{m_i} * 100$$

Donde **m_f** es la masa final retenida en el plato y **m_i** la masa que se coloca al inicio del proceso.

Tabla 6.*Datos para cálculo del porcentaje de rendimiento de tamizado*

Numero de tamiz	Tamaño de orificio (mm)	Muestra del sector	Peso inicial (g)	Peso retenido (g) Tamiz nº 20	Peso retenido (g) Tamiz nº 40	Valor del pasante obtenido (g)
		Naranjito		19	11	219
20	0,841	Coné		23	19	208
		Milagro		17	10	223
40	0,420	Taura	250	8	4	238
		Naranjal		13	7	230
		San Antonio		8	6	236
		Bucay		15	11	224

Elaborado por: Autor

3.2.2.6. Almacenado

Luego de que cada muestra fuera tratada físicamente y se encuentre en óptimas condiciones, esta se almacena en fundas transparentes plásticas (ziploc) como se muestra en el **Anexo 13** para ser transportadas al lugar en donde serán analizadas de acuerdo con las normativas vigentes para cada estudio. Cada muestra almacenada se hace por duplicado, luego de tener el total el total de muestra después del tamizado se coloca dentro de una funda

plástica ziploc que se envía a laboratorio para análisis se toman de 100 a 150 g y el restante lo guardamos, como podemos ver en la **Figura 7** tomando como ejemplo la muestra del sector Naranjito.

Figura 7.

Peso de muestra para análisis de laboratorio



Fuente: Autor

3.3. Equipos y materiales utilizados para la recolección, pretratamiento y almacenado de los residuos de caña de azúcar

Tabla 7.

Equipos y materiales utilizados para la recolección, pretratamiento y almacenado del RAC

EQUIPOS			MATERIALES	
	Nombre	Cantidad	Nombre	Cantidad
Recolección			Guantes de polietileno	2
			Fundas grandes de plástico	7
			RAC por sector	-
Pretratamiento	Cámara de secado	1	Bandeja de aluminio	1
	Molino de martillo	1	Tijeras de podar	1

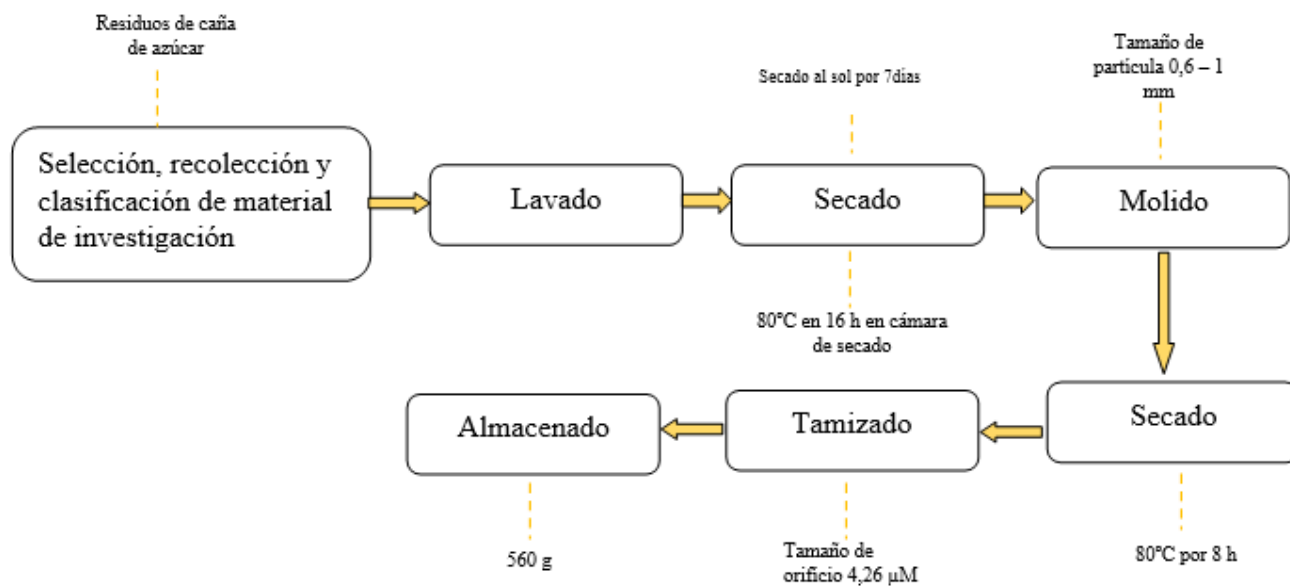
	Tamiz	1	
Almacenado		Fundas transparentes Ziploc	14

Elaborado por: Autor

3.4. Flujograma del pretratamiento del RAC

Figura 8.

Flujograma de pretratamiento del RAC



Elaborado por: Autor

3.5. Esquema de equipos del proceso de tratamiento físico del RAC

Figura 9.

Esquema de equipos del proceso de pretratamiento del RAC



Elaborado por: Autor

3.6. Evaluación y análisis fisicoquímicos del RAC

Se realizaron análisis próximos (porcentajes de humedad, de ceniza, de materia volátil, y carbono), análisis elementales (nitrógeno, carbono, oxígeno y azufre) y análisis de poder calorífico de cada una de las muestras de estudio por sector en un laboratorio de calidad dedicado a la fabricación de harina de camarón en el cantón Durán.

3.7. Etapa de caracterización del RAC

Para realizar los análisis se tomaron 7 muestras en polvo almacenadas de residuos de caña de azúcar obtenidas de los cañaverales en distintas zonas del Guayas y se realizaron los siguientes procedimientos utilizando equipos termogravimétricos que proporciona la información de forma automatizada de alta precisión marca LECO que podremos ir visualizando en el desarrollo de la parte metodológica.

3.7.1. Metodología y análisis para caracterización del RAC

3.7.1.1. *Análisis termogravimétrico*

Este método está sustentado bajo la normatividad, **ASTM D7582 – 15** “Proximate Analysis of Coal and Coke by MacroThermogravimetric Analysis”

Para ejecutar este estudio se utilizó un equipo Leco TGA 701, que determina de manera simultánea humedad, materia volátil y ceniza como se puede observar en el **Anexo 14**.

En el equipo se montaron los crisoles necesarios para el análisis **Anexo 15**, se pesó de forma automática y se procede a cargar las muestras (aproximadamente entre 0.8 y 1.2 gramos con cuatro cifras significativas (0.0000))

Para el análisis de humedad el equipo eleva su temperatura hasta 107 °C, En una atmosfera de oxígeno y se secan las muestras hasta alcanzar la estabilidad. Posteriormente a cada crisol se le coloca una tapa cerámica y el equipo eleva su temperatura hasta 950 °C, durante 7 minutos en una atmosfera de nitrógeno para determinar el porcentaje de materia volátil, finalmente el equipo baja la temperatura y pide retirar las tapas, una vez hecho esto sube de nuevo hasta 750 °C, en atmosfera de oxígeno y no se detiene hasta obtener las cenizas del material. El porcentaje de contenido de carbono fijo en la muestra se determina en función de la diferencia, es decir: $100 - (\text{humedad} + \text{materia volátil} + \text{ceniza})$.

3.7.1.2. *Análisis de poder calorífico*

Este método se basa en la normatividad, **ASTM D5865/D5865M – 19** “Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke”

Para la determinación del poder calorífico se utilizó el equipo LECO AC-500 observado en el **Anexo 16**, que es una bomba isoperibólica, que tiene una computadora integrada para la determinación y cálculos por corrección del poder calorífico superior.

Para el análisis se pesan en los crisoles entre 0.8000 g y 1.2000 g de muestra y se llevan a una bomba calorimétrica, con su respectivo alambre de ignición y se carga con una atmosfera de oxígeno puro (aprox 450 psi), esta bomba se introduce en un baño de agua de volumen conocido y se carga en el equipo AC-350 y se conectan los diodos de ignición. Se alimentan los datos de masa en el equipo y se inicia el análisis que dura aprox 8 min, al final se agregan los valores de corrección por azufre y nitrógeno y se obtienen los valores de poder calorífico en cal/g.

3.7.1.3. Análisis de azufre

Este método se basa en la normatividad **ASTM D4239 – 18**, “Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion”.

Para determinar el porcentaje de contenido de azufre en las muestras, se utiliza el equipo LECO SC632 visualizado en el **Anexo 17**, que se basa en la técnica de altas temperaturas con analizador de IR, Actualmente es uno de los métodos que refleja los resultados mucha más brevemente y de una buena precisión que permite determinar el azufre total.

Para el análisis se pesan 100 mg de muestra con una precisión de 0.0000, posteriormente el equipo SC632, debe estar precalentado a 1350 °C, se deben digitar en el software el peso de la muestra y su código, posteriormente al darle analizar al equipo, y cargar la muestra en el horno, este abrirá una corriente de oxígeno que sirve como atmosfera oxidante pero también transportará los gases de combustión hasta el analizador IR. Al final la intensidad registrada por el equipo contrastada con la masa del material nos entregara el valor porcentual de Azufre total.

3.7.1.4. Análisis elemental

Este método se basa en la normatividad *ASTM D5373 – 21* “Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke”

Para la determinación de los porcentajes de hidrogeno, nitrógeno y carbono se utilizó el equipo LECO CHN- 628 que se puede observar en el **Anexo 18**, que se basa en dos técnicas conjuntas, IR para el carbono hidrogeno y conductividad térmica para el nitrógeno, los tres parámetros se analizan de forma simultánea con una duración aproximada de 9 min por muestra.

Para el análisis se pesan 100 mg de muestra con una precisión de 0.0000, se envuelven en porta muestras de papel de estaño, posteriormente se analizan en el equipo que tiene un horno dual a 950°C y 850°C, respectivamente donde las muestras son consumidas y posteriormente arrastradas por una corriente de helio puro, que las conduce a través de una serie de catalizadores que las lleva desde sus estados de oxidación (CO₂, H₂O y NO₂) Hasta sus estados elementales donde los sensores IR y de conductividad térmica reportan su intensidad y contrastada con la masa del material nos entregara el valor porcentual de cada elemento.

CAPITULO IV

4. Resultados y discusión

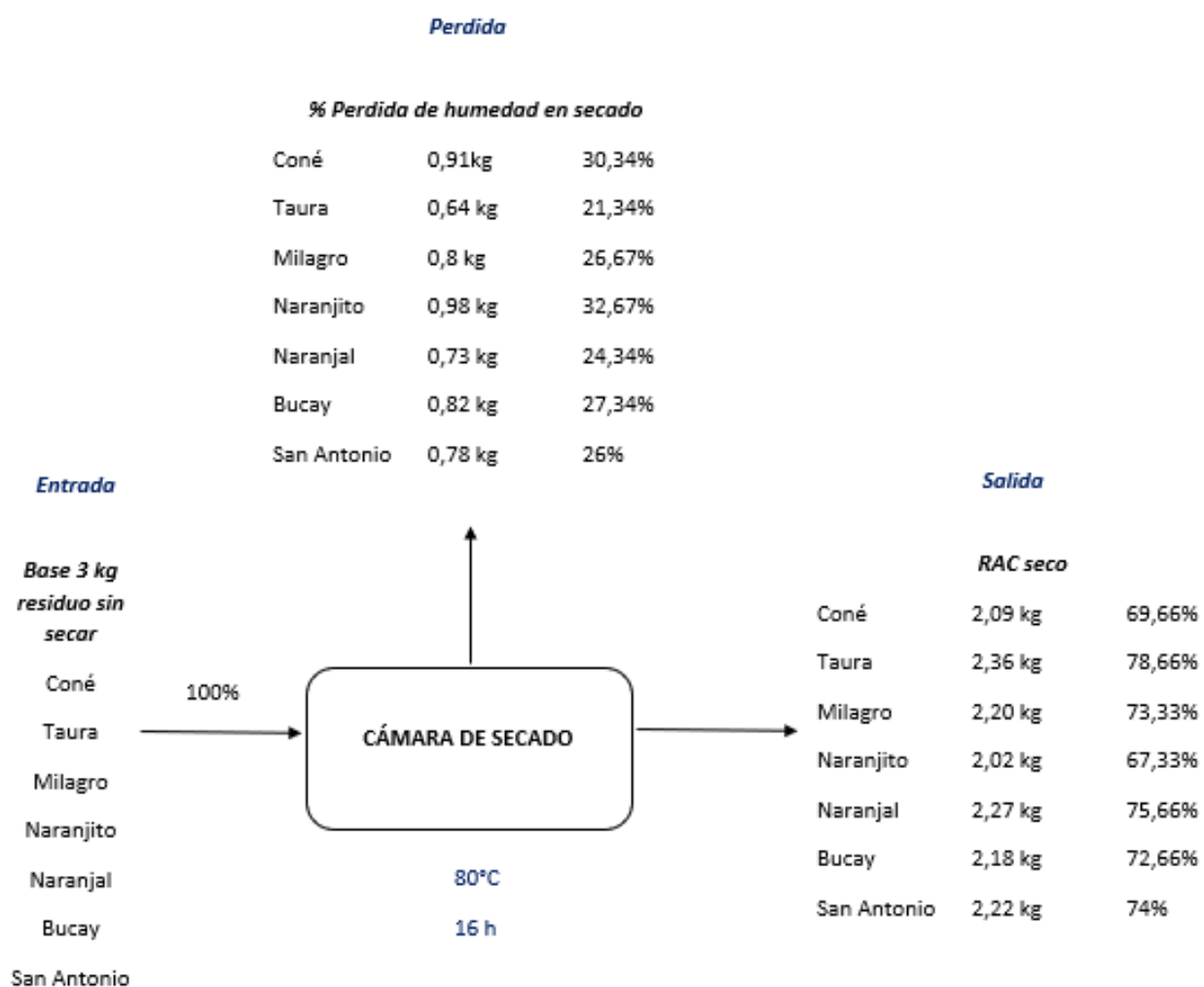
Este capítulo se encuentra conformado en 2 partes, resultado de los procesos de pretratamiento de los residuos del corte de caña obtenidos de los sectores de la Provincia del Guayas y los análisis de caracterización de cada muestra en base húmeda y en base seca.

4.1. Balances durante el proceso de tratamiento físico del RAC

4.1.1. Balance de proceso de secado

Figura 10.

Balance de materia proceso de secado



Elaborado por: autor

$$E=S$$

Entrada = Salida

Residuo sin secar= RAC seco + Humedad

Cálculo peso en masa

Base de cálculo= 3 kg (masa de entrada)

Masa Rac sin secar – Masa total de RAC a la salida (por sector) = humedad perdida en masa

$$\text{Coné} \quad 3 \text{ kg} - 2,09 \text{ kg} = 0,91 \text{ kg}$$

$$\text{Taura} \quad 3 \text{ kg} - 2,36 \text{ kg} = 0,64 \text{ kg}$$

$$\text{Milagro} \quad 3 \text{ kg} - 2,20 \text{ kg} = 0,8 \text{ kg}$$

$$\text{Naranjito} \quad 3 \text{ kg} - 2,02 \text{ kg} = 0,98 \text{ kg}$$

$$\text{Naranjal} \quad 3 \text{ kg} - 2,27 \text{ kg} = 0,73 \text{ kg}$$

$$\text{Bucay} \quad 3 \text{ kg} - 2,18 \text{ kg} = 0,82 \text{ kg}$$

$$\text{San Antonio} \quad 3 \text{ kg} - 2,22 \text{ kg} = 0,78 \text{ kg}$$

Cálculo de Porcentaje de humedad perdida

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{\text{Base RAC sin secar} - \text{Masa RAC seco}}{\text{Base RAC sin secar}} * 100 =$$

Coné

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,09 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 30,33\%$$

Taura

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,36 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 21,34\%$$

Milagro

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,20 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 26,67\%$$

Naranjito

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,02 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 32,67\%$$

Naranjal

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,27 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 24,34\%$$

Bucay

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,18 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 27,34\%$$

San Antonio

$$\% \text{Humedad perdida} = \frac{3 \text{ kg} - 2,22 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100 = 26\%$$

Tabla 8.

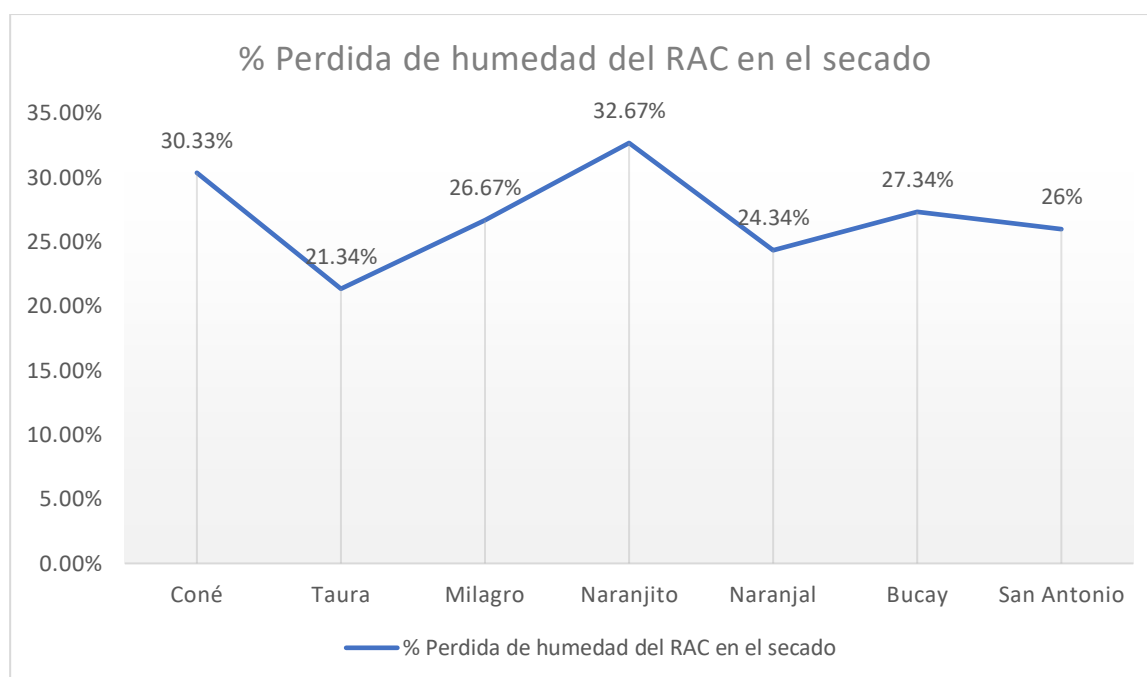
Resultados de % de perdida de humedad del RAC en secado

Muestras por sector	Peso humedad perdida (kg)	% Humedad perdida
Coné	0,91	30,33
Taura	0,641	21,34
Milagro	0,8	26,67
Naranjito	0,98	32,67
Naranjal	0,73	24,34
Bucay	0,82	27,34
San Antonio	0,78	26

Elaborado por: autor

Gráfico 2.

Resultado de % de perdida de humedad del RAC en secado



Elaborado por: autor

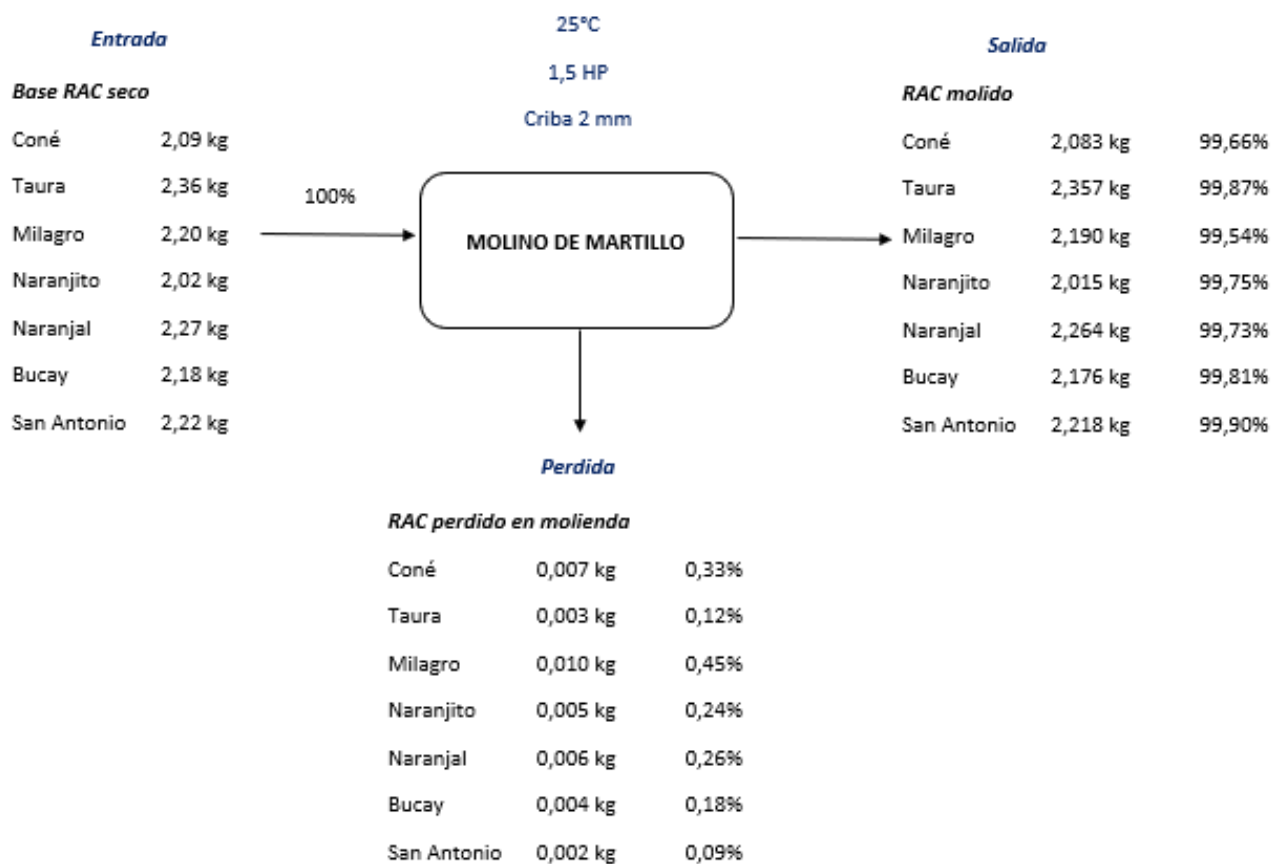
➤ ***Análisis de resultados balance de proceso de secado***

Se ha tomado como base de cálculo 3 kg para el proceso de secado de cada sector del Guayas en los cuales se tomaron las muestras, en este balance se toma el cálculo de la masa del RAC a la salida y su respectiva perdida de humedad de cada muestra saliente en donde podemos observar que el sector que cuenta con la mayor cantidad de masa obtenidos la tiene el sector Taura con un valor de 2,36 kg quien cuenta con el menor porcentaje de humedad perdida con un total de 21,34% y el sector con la menor cantidad obtenida de masa fue el sector Naranjito con una cantidad de 2,02 kg quien cuenta con el mayor porcentaje de perdida de humedad con un total de 32,67%. Los valores del RAC seco y la humedad perdida varían ya que cada uno depende del estado de la cosecha de caña antes de ser recolectada cada muestra de residuo y de su ubicación geográfica.

4.1.2. Balance de proceso de molienda

Figura 11.

Proceso de molienda del RAC



Elaborado por: autor

$$E = S$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$\text{RAC seco} = \text{RAC molido} + \text{Rac perdido}$$

$$\text{Rac seco} - \text{Rac molido} = \text{Rac Perdido}$$

Cálculo peso en masa (kg) RAC perdido

$$\text{Coné} \quad 2,09 \text{ kg} - 2,083 \text{ kg} = 0,007 \text{ kg}$$

Taura $2,36 \text{ kg} - 2,357 \text{ kg} = 0,003 \text{ kg}$

Milagro $2,20 \text{ kg} - 2,190 \text{ kg} = 0,010 \text{ kg}$

Naranjito $2,02 \text{ kg} - 2,015 \text{ kg} = 0,005 \text{ kg}$

Naranjal $2,27 \text{ kg} - 2,264 \text{ kg} = 0,006 \text{ kg}$

Bucay $2,18 \text{ kg} - 2,176 \text{ kg} = 0,004 \text{ kg}$

San Antonio $2,22 \text{ kg} - 2,218 \text{ kg} = 0,002 \text{ kg}$

Cálculo de Porcentaje de RAC perdido

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{\text{Masa RAC seco} - \text{Masa RAC molido}}{\text{Masa RAC seco}} * 100 =$$

Coné

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,09 \text{ kg} - 2,083 \text{ kg}}{2,09 \text{ kg}} * 100 = 0,33\%$$

Taura

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,36 \text{ kg} - 2,357 \text{ kg}}{2,36 \text{ kg}} * 100 = 0,12\%$$

Milagro

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,20 \text{ kg} - 2,190 \text{ kg}}{2,20 \text{ kg}} * 100 = 0,45\%$$

Naranjito

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,02 \text{ kg} - 2,015 \text{ kg}}{2,02 \text{ kg}} * 100 = 0,24\%$$

Naranjal

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,27 \text{ kg} - 2,264 \text{ kg}}{2,27 \text{ kg}} * 100 = 0,26\%$$

Bucay

$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,18 \text{ kg} - 2,176 \text{ kg}}{2,18 \text{ kg}} * 100 = 0,18\%$$

San Antonio

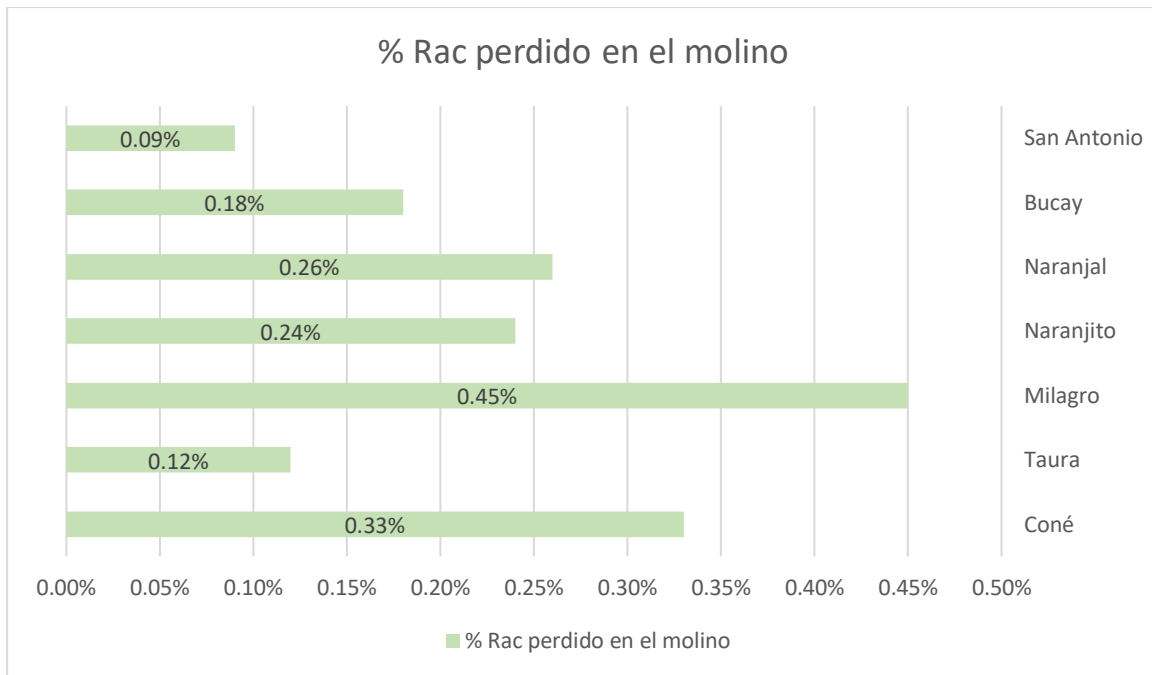
$$\% \text{ RAC perdido} = \frac{2,22 \text{ kg} - 2,218 \text{ kg}}{2,22 \text{ kg}} * 100 = 0,09\%$$

Tabla 9.

Resultados de % de perdida de RAC no molido

Muestra de sector	Peso de RAC perdido (kg)	% RAC perdido no molido
Coné	0,007	0,33
Taura	0,003	0,12
Milagro	0,010	0,45
Naranjito	0,005	0,24
Naranjal	0,006	0,26
Bucay	0,004	0,18
San Antonio	0,002	0,09

Elaborado por: autor

Gráfico 3.*Resultados de % de RAC perdido no molido*

Elaborado por: autor

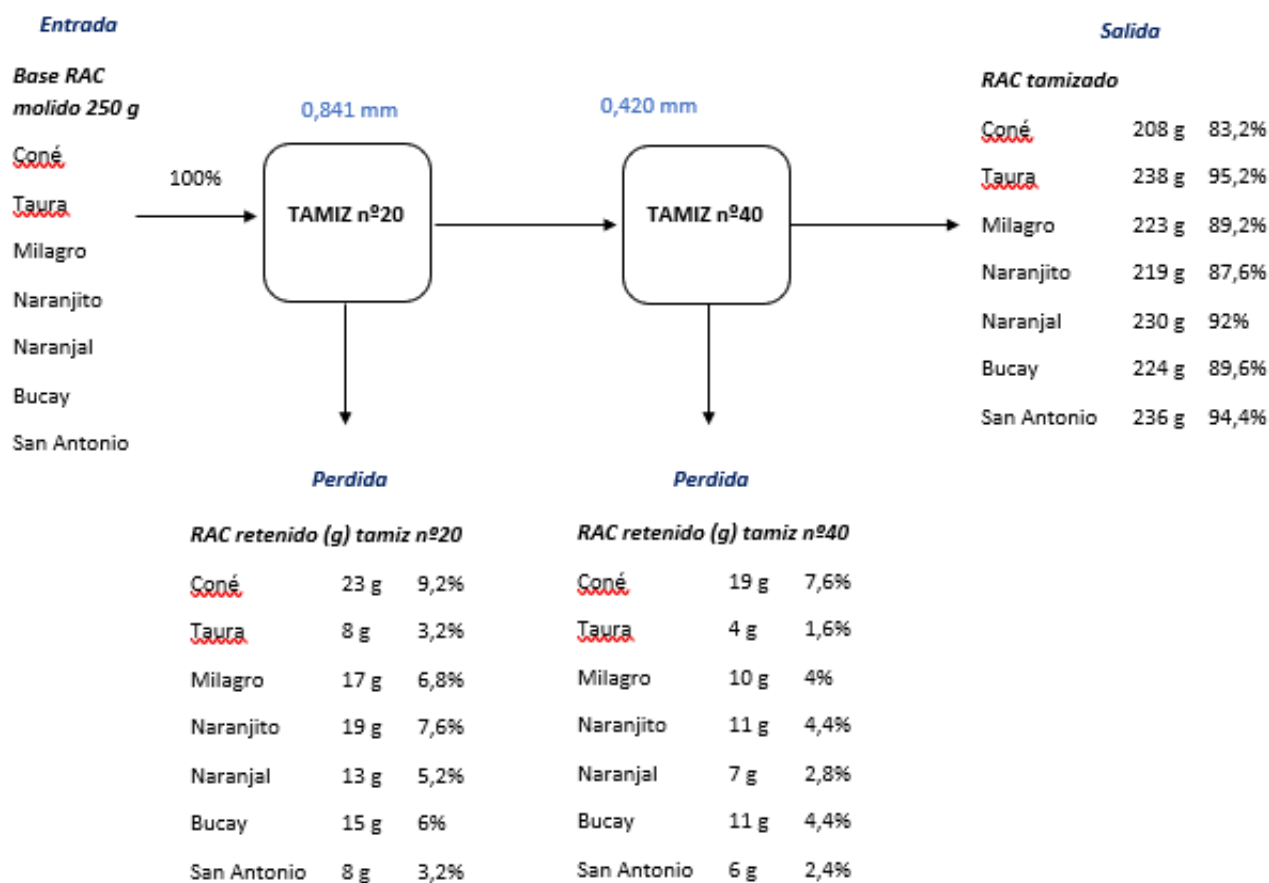
➤ Análisis de resultados proceso de molienda

Para este proceso se ha tomado como base de cálculo el valor obtenido en masa de cada RAC seco de cada sector de la Provincia del Guayas de los cuales pudimos obtener en su valor > a 99% lo que significa que no se generaron pérdidas significativas en ninguno de los procesos, siendo Milagro el sector que mayor tuvo pérdidas durante el proceso con un 0,45% y el sector que tuvo un porcentaje de pérdida menor fue San Antonio. Estas pérdidas se deben a la cantidad de material rugoso dentro de las muestras de RAC tomados desde la cosecha y luego del proceso de secado, quedando algunos residuos dentro de los orificios y los alrededores de la criba, por en medio del rotor y adherido en la pantalla del molino de martillo.

4.1.3. Balance de proceso de tamizado

Figura 12.

Balance de proceso de tamizado del RAC



Elaborado por: autor

Porcentaje de RAC retenido

Para este cálculo de porcentaje de retenido se utiliza la **Ecuación 6** para cada Rac retenido en los tamices durante el traspase del residuo molido de caña de azúcar de cada sector del Guayas por las mallas, utilizando los datos de la **Tabla 6**.

$$\% \text{Retenido} = \frac{m_f}{m_i} * 100$$

Tamiz n° 20 de 0,841 mm

Coné

$$\%Retenido = \frac{23 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 9,2\%$$

Taura

$$\%Retenido = \frac{8 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 3,2\%$$

Milagro

$$\%Retenido = \frac{17 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 6,8\%$$

Naranjito

$$\%Retenido = \frac{19 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 7,6\%$$

Naranjal

$$\%Retenido = \frac{13 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 5,2\%$$

Bucay

$$\%Retenido = \frac{15 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 6\%$$

San Antonio

$$\%Retenido = \frac{8 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 3,2\%$$

Tamiz n°40 de 0,420 mm

Coné

$$\%Retenido = \frac{19 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 7,6\%$$

Taura

$$\%Retenido = \frac{4 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 1,6\%$$

Milagro

$$\%Retenido = \frac{10 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 4\%$$

Naranjito

$$\%Retenido = \frac{11 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 4,4\%$$

Naranjal

$$\%Retenido = \frac{7 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 2,8\%$$

Bucay

$$\%Retenido = \frac{11 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 4,4\%$$

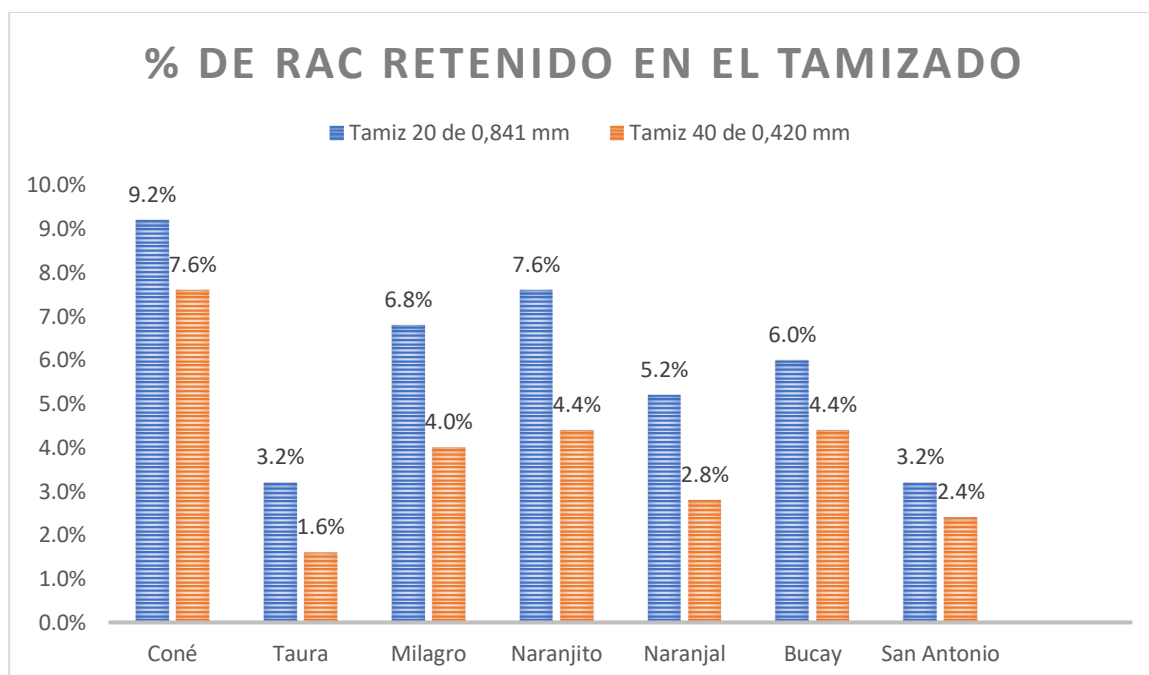
San Antonio

$$\%Retenido = \frac{6 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 2,4\%$$

Tabla 10.*Resultados de % de retenido en el proceso de tamizado*

Muestra del sector	Peso inicial (g)	Tamiz n°20 de 0,841 mm		Tamiz n°40 de 0,420 mm	
		Peso retenido (g)	% retenido	Peso retenido (g)	% retenido
Coné	250 g	23	9,2	19	7,6
Taura		8	3,2	4	1,6
Milagro		17	6,8	10	4
Naranjito		19	7,6	11	4,4
Naranjal		13	5,2	7	2,8
Bucay		15	6	11	4,4
San Antonio		8	3,2	6	2,4

Elaborado por: autor

Gráfico 4.*Porcentaje de retenido en el tamizado*

Elaborado por: autor

Porcentaje de rendimiento en el proceso de tamizado

Para calcular el porcentaje de rendimiento de todos los sectores del Guayas, de las muestras de residuos preacondicionados de esta investigación se utilizan los datos obtenidos en la **Tabla 6** en el cual se tomará la masa inicial y la masa final obtenida después del tamizado, estos datos serán utilizados en la ecuación de rendimiento.

Ecuación 7.*Porcentaje de rendimiento*

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{m_f}{m_i} * 100 =$$

Coné

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{208 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 83,2\%$$

Taura

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{238 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 95,2\%$$

Milagro

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{223 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 89,2\%$$

Naranjito

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{219 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 87,6\%$$

Naranjal

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{230 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 92\%$$

Bucay

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{224 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 89,6\%$$

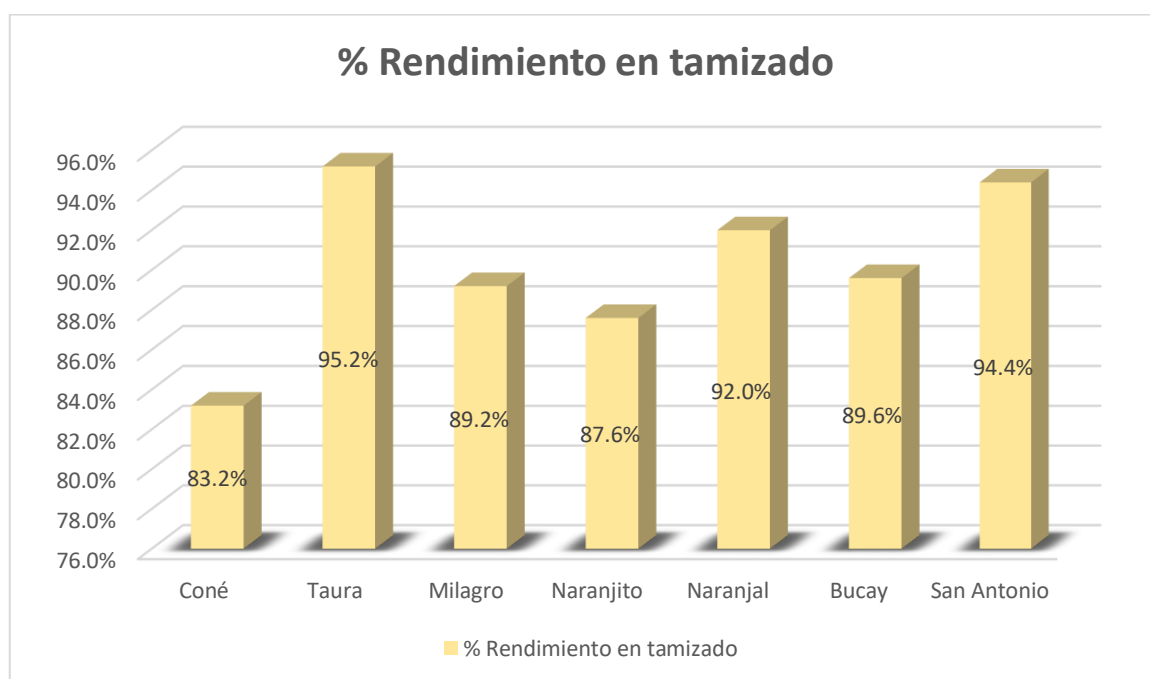
San Antonio

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{236 \text{ g}}{250 \text{ g}} * 100 = 94,4\%$$

Tabla 11.*Resultados de porcentaje de rendimiento en el proceso de tamizado*

Muestra por sector	RAC obtenido por tamizado (g)	% de rendimiento
Coné	208	83,2
Taura	238	95,2
Milagro	223	89,2
Naranjito	219	87,6
Naranjal	230	92
Bucay	224	89,6
San Antonio	236	94,4

Elaborado por: autor

Gráfico 5.*Resultados de porcentajes de rendimiento en tamizado del RAC*

Elaborado por: autor

➤ **Análisis del proceso de tamizado**

Durante el proceso de tamizado se calcularon dos parámetros: el % de retenido de RAC en los tamices y el rendimiento de cada uno de ellos al final del proceso. Para obtener los resultados del porcentaje de retenido se utilizó la ecuación **Ecuación 6** en el cual podemos observar en el **Gráfico 4** que el sector que menos obtuvo RAC retenido fue Taura con un porcentaje de 3,2% y 1,6% para los tamices de orificios 0,841 mm y 0,420 mm respectivamente y el sector que más retuvo RAC fue Coné con un 9,2% y 7,6% para los tamices de orificios 0,841 mm y 0,420 mm estos valores se deben a la cantidad de residuo uniforme debido a las cantidades de cogollos o pedazos del tronco recogidos durante la toma de muestras en los cañaverales en los cuales por lo general son contienen material duro y el molino no ha podido moler en su totalidad por su alta densidad y para obtener los resultados del rendimiento se utilizó la ecuación **Ecuación 7** por la cual pudimos obtener el porcentaje final de cada muestra a partir de una base de cálculo de 250 g, es en el **Gráfico 5** que podemos observar que los resultados obtenidos reflejaron que el sector que mayor porcentaje de rendimiento tuvo en el proceso de tamizado fue Taura con un 95,2% que justamente fue uno de los sectores que tuvo una menor cantidad de RAC retenido de acuerdo con el **Gráfico 4** y el sector con un menor porcentaje de rendimiento fue Coné con un 83,2% quien tuvo el porcentaje más alto de RAC retenido, del cual concluimos que los sectores Taura y Coné tienen una relación inversamente proporcional, es decir a menor cantidad de residuos retenidos mayor será su porcentaje de rendimiento.

4.2. Resultados de la caracterización de los residuos de caña de azúcar

Luego de someter por tratamiento físico los residuos del corte de caña azucarera tomados de los sectores Coné, Taura, Milagro, Naranjal, Naranjito, Bucay y San Antonio. Las

muestras almacenadas fueron enviadas por su respectiva caracterización fisicoquímica mediante 4 diferentes métodos de análisis mencionados en el Capítulo 3.

Los análisis para caracterizar residuos de los cortes hechos en la cosecha de caña de azúcar, se los realizó en un laboratorio de calidad dentro un establecimiento dedicado a la fabricación de materiales de construcción ubicado en el cantón Durán.

En este proceso se empieza identificando los parámetros correspondientes con su respectiva abreviatura y estos se pueden visualizar en la **Tabla 12** en donde se encuentran los parámetros con sus respectivos tipos de análisis y métodos aplicados:

Tabla 12.

Identificación de análisis de caracterización

Tipo de análisis	Método	Abreviatura	Parámetro
Análisis próximo o termogravimétrico TGA	ASTM D7582- 15	Hr	Humedad residual
		Mv	Material volátil
		Cz	Ceniza
		CF	Carbono Fijo
Análisis elemental	ASTM D5865/D5865M- 19	C	Carbono
		H	Hidrógeno
		N	Nitrógeno
Análisis de azufre	ASTM D4239- 18	X	Muestras
		X1	
		X2	
Poder calorífico	ASTM D5373- 21		
Otros		Ht	Humedad Total

Elaborado por: autor

Notas: Los datos de para el hallazgo de porcentaje de contenido de humedad, ceniza, carbono fijo y además materia volátil. se reportan en base seca al aire y base húmeda. Los análisis de CHN han sido reportado tanto en base seca como en base húmeda.

4.2.1. Resultados de análisis próximos o termogravimétricos TGA

Tabla 13.

Resultados de análisis próximos

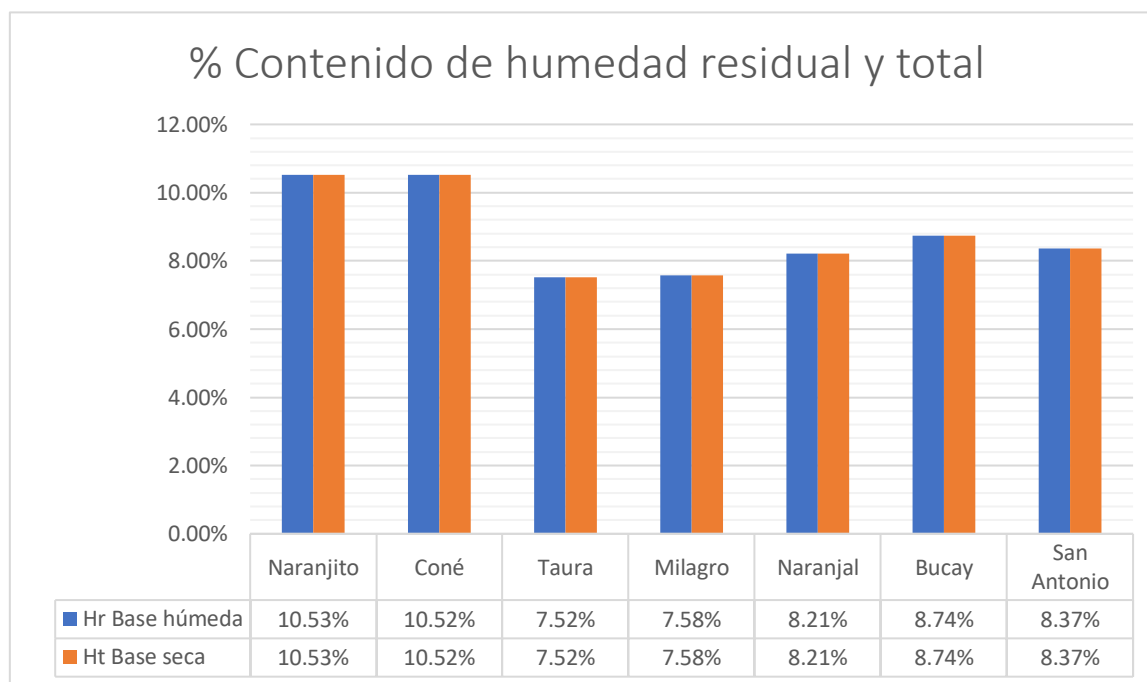
Sector	Base Seca				Base húmeda			
	Hr (%)	Mv (%)	Cz (%)	CF (%)	Ht (%)	Mv (%)	Cz (%)	CF (%)
Naranjito	10,53	80,78	4,51	14,71	10,53	72,28	4,04	13,16
Coné	10,52	78,32	8,23	13,46	10,52	70,08	7,36	12,04
Taura	7,52	81,14	6,49	12,38	7,52	75,04	6,00	11,45
Milagro	7,58	81,12	6,939	10,57	7,58	74,84	5,86	9,752
Naranjal	8,205	78,8	10,71	10,49	8,205	72,33446	9,8312445	9,62929550000001
Bucay	8,74	80,62	6,405	12,975	8,74	73,573812	5,845203	12,131812
San Antonio	8,37	80,615	6,145	13,24	8,37	73,8675245	5,6306635	11,840985

Elaborado por: autor

4.2.1.1. Resultados de análisis de humedad residual

Gráfico 6.

Porcentaje de contenido de Humedad residual y total



Elaborado por: Autor

Tabla 14.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo (Humedad residual y total)

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Naranjito	2	0,2106	0,1053	0
Coné	2	0,2104	0,1052	0
Taura	2	0,1504	0,0752	0
Milagro	2	0,1516	0,0758	0
Naranjal	2	0,1642	0,0821	0
Bucay	2	0,1748	0,0874	0
San Antonio	2	0,1674	0,0837	0
Hr Base húmeda	7	0,6147	0,08781429	0,0001602
Ht Base seca	7	0,6147	0,08781429	0,0001602

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	0,00192246	6	0,00032041	65535	NA	4,28386571
Columnas	0	1	0	65535	NA	5,98737761
Error	0	6	0			
Total	0,00192246	13				

Análisis de resultados de humedad residual

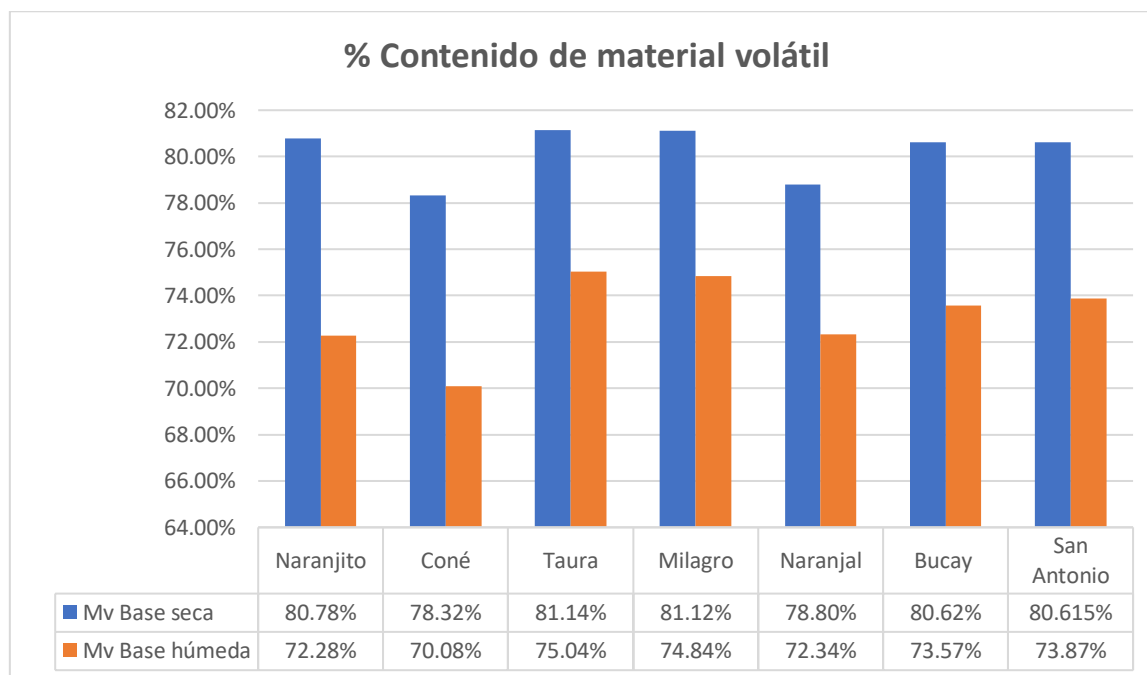
Como se puede observar en el **Gráfico 6**, que el mayor porcentaje de humedad en base húmeda residual lo tiene el sector Naranjito con un 10,53% a comparación del sector Taura que cuenta con el más bajo porcentaje de 7,52%, esta se expresa de la misma forma en el análisis en base seca. A partir del contenido de humedad se puede considerar el tiempo de vida útil de un residuo para reutilización por su capacidad de la reproducción de microorganismos, para este caso se podría disponer que los residuos del sector Naranjito

pueden ser muy bien aprovechados como compostaje ya que este requiere un contenido alto de humedad para su uso en el sector agrícola.

4.2.1.2. Resultados de análisis de material volátil

Gráfico 7.

Porcentaje de contenido de material volátil



Elaborado por: autor

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Naranjito	2	1,5306	0,7653	0,0036125
Coné	2	1,484	0,742	0,00339488
Taura	2	1,5618	0,7809	0,0018605
Milagro	2	1,5596	0,7798	0,00197192
Naranjal	2	1,5114	0,7557	0,00208658
Bucay	2	1,5419	0,77095	0,00248513
San Antonio	2	1,54485	0,772425	0,00227475
Mv Base seca	7	5,61395	0,80199286	0,00013182
Mv Base húmeda	7	5,1202	0,73145714	0,00029935

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,0174135	1	0,0174135	80,7732879	1,1205E-06	4,74722535
Dentro de los grupos	0,00258702	12	0,00021558			
Total	0,02000052	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Mv Base seca</i>	<i>Mv Base húmeda</i>
Media	0,80199286	0,73145714
Varianza	0,00013182	0,00029935
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	0,44037203	
P(F<=f) una cola	0,17074969	
Valor crítico para F (una cola)	0,23343402	

Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de material volátil

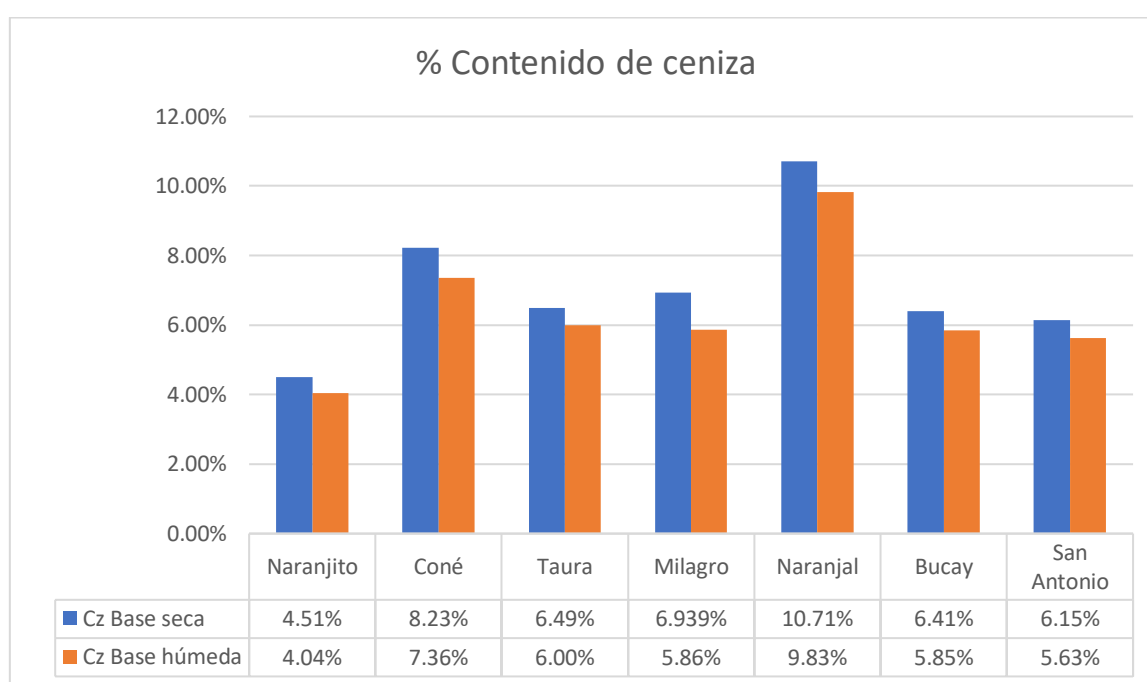
De acuerdo con el **Gráfico 7** el mayor porcentaje de material volátil durante el análisis en base seca lo tiene el sector Taura con un 81,14% y el menor porcentaje le correspondería al sector Coné con un 78,32%. Por otra parte, el análisis de material volátil realizado en base húmeda le correspondería de la misma forma estos dos sectores antes mencionados teniendo Taura un 75,04% y Cone un 70,08%. El contenido de material volátil va íntimamente relacionado con su contenido de humedad en una relación inversamente proporcional. La cantidad de material volátil que contiene un residuo orgánico indica que, este al ser ejecutado mediante un proceso de ignición, libera o desprende gases de combustión de efecto invernadero como el smog y ser sujetos de índole contraproducente para la salud de las

personas. Se sugiere que los residuos de caña del sector Coné serían de buen aprovechamiento ya sea para subproductos como el compostaje, o para remediación de suelos contaminados por su tener el más bajo índice de contenido volátil con la intervención de manejo de gases adecuado.

4.2.1.3. Resultados de análisis de ceniza

Gráfico 8.

Porcentaje de contenido de cenizas



Elaborado por: autor

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Naranjito	2	0,0855	0,04275	1,1045E-05
Coné	2	0,1559	0,07795	3,7845E-05
Taura	2	0,1249	0,06245	1,2005E-05
Milagro	2	0,12799	0,063995	5,8212E-05
Naranjal	2	0,2054	0,1027	0,00003872
Bucay	2	0,12255	0,061275	1,5401E-05
San Antonio	2	0,11775	0,058875	1,3261E-05

Cz Base seca	7	0,49429	0,07061286	0,00037999
Cz Base húmeda	7	0,4457	0,06367143	0,00032659

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00016864	1	0,00016864	0,47734249	0,50277478	4,74722535
Dentro de los grupos	0,00423952	12	0,00035329			
Total	0,00440816	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>Cz Base seca</i>	<i>Cz Base húmeda</i>
Media	0,07061286	0,06367143
Varianza	0,00037999	0,00032659
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,16351354	
P(F<=f) una cola	0,42941519	
Valor crítico para F (una cola)	4,28386571	

Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de ceniza

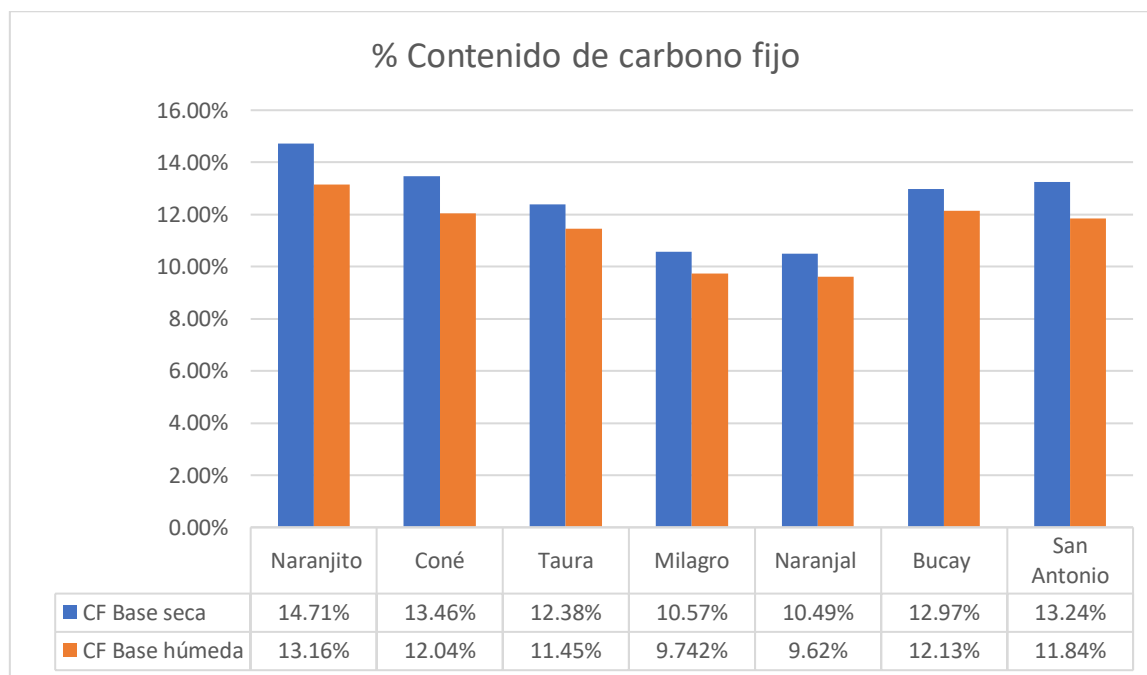
De acuerdo con el **Gráfico 8**, podemos observar que las cantidades de ceniza para todos los sectores es muy baja, siendo Naranjal el sector que tiene un mayor porcentaje de ceniza con un 10,71% y Naranjito tiene el menor porcentaje con un 4,51% en su contenido de cenizas en base seca, que de igual manera se presentan en la misma relación el sector Naranjal con un mayor porcentaje de ceniza en base húmeda con un 9,83% y Naranjito siendo el de menor cantidad con un 4,04%; por lo cual es de considerar que el sector Naranjito es una excelente opción para la creación de subproductos tales como aditivos en materiales de construcción que ayudarían a reducir la plasticidad existente en muchos productos de uso eco

amigable y también si se crearían nuevos subproductos durante su proceso de transformación su huella ambiental sería muy baja.

4.2.1.4. Resultados de análisis de carbono fijo

Gráfico 9.

Porcentaje de contenido de carbono fijo



Elaborado por: autor

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Naranjito	2	0,2787	0,13935	0,00012013
Coné	2	0,255	0,1275	0,00010082
Taura	2	0,2383	0,11915	4,3245E-05
Milagro	2	0,20312	0,10156	3,4279E-05
Naranjal	2	0,2011	0,10055	3,7845E-05
Bucay	2	0,251	0,1255	0,00003528
San Antonio	2	0,2508	0,1254	9,8E-05
CF Base seca	7	0,8782	0,12545714	0,00023898
CF Base húmeda	7	0,79982	0,11426	0,00016915

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00043882	1	0,00043882	2,15037349	0,16824557	4,74722535
Dentro de los grupos	0,00244878	12	0,00020407			
Total	0,0028876	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>CF Base seca</i>	<i>CF Base húmeda</i>
Media	0,12545714	0,11426
Varianza	0,00023898	0,00016915
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,41286913	
P(F<=f) una cola	0,34268691	
Valor crítico para F (una cola)	4,28386571	

Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de carbono fijo

Según los resultados obtenidos visualizados en el **Gráfico 9**, el sector Naranjito cuenta con el porcentaje más alto de carbono fijo contando con el 14,71% y la menor cantidad la tiene el sector Naranjal con un 10,49% en los análisis realizados en base húmeda, también se calculó este análisis en base seca dando una cantidad de 13,16 % y 9,62% respectivamente para Naranjito y Naranjal. Se puede sugerir que el desempeño en el estudio de los residuos de Naranjito se materialice para la creación de nuevos subproductos a excepción de su uso para

combustible alternativo en los ingenios por su alto índice de producción de gases de invernadero debido a la presencia de carbono fijo.

4.2.2. Resultados de análisis elementales

Tabla 15.

Resultados de análisis elementales

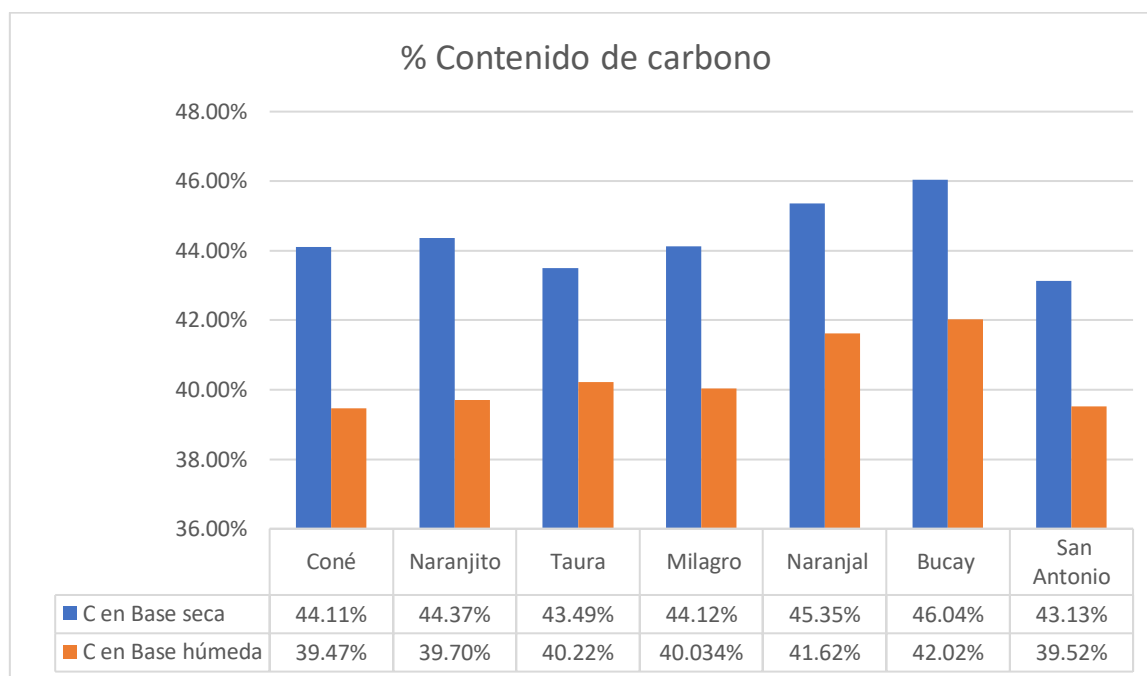
Código	Base Seca			Base húmeda			
	C (%)	H (%)	N (%)	Ht (%)	C (%)	H (%)	N (%)
Coné	44,11	5,79	0,78	10,52	39,47	5,18	0,69
Naranjito	44,37	5,77	0,56	10,53	39,70	5,17	0,50
Taura	43,49	5,69	0,69	7,52	40,22	5,26	0,64
Milagro	44,12	5,66	0,61	7,58	40,034	5,19	0,56
Naranjal	45,3488752110681	5,65829656662491	0,334936543384716	8,205	41,628	5,19403333333333	0,307455
Bucay	46,0453648915187	5,61509849757713	0,445315581854043	8,74	42,021	5,12433888888889	0,406395
San Antonio	43,1370730110226	5,3442104114373	0,4377769289534	8,37	39,5265	4,8969	0,401135

Elaborado por: autor

4.2.2.1. Resultados de análisis de Carbono

Gráfico 10.

Porcentaje de contenido de carbono



Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de carbono

Como se puede observar en el **Gráfico 10**, el sector que contiene el mayor porcentaje de carbono en base seca es Bucay con un 46,04% y el menor porcentaje lo tiene San Antonio con un 43,13%, por otro lado, los análisis de porcentaje de ceniza en base seca arrojaron que el sector que tiene mayor contenido es Bucay con un 42,02% y Coné tiene el menor porcentaje con el 39,47%. Se sugiere que el sector y el sector Naranjito sean tomados como principales proveedores para la fabricación de subproductos agrícolas para mejoramientos del suelo ya que contienen el menor porcentaje de carbono y su utilización podría significar una menor contribución a la producción de gases de efectos de invernadero.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Coné	2	0,8358	0,4179	0,00107648
Naranjito	2	0,8407	0,42035	0,00109045
Taura	2	0,8371	0,41855	0,00053465
Milagro	2	0,84154	0,42077	0,00083477
Naranjal	2	0,8697	0,43485	0,00069565
Bucay	2	0,8806	0,4403	0,00080802
San Antonio	2	0,8265	0,41325	0,00065161
C en Base seca	7	3,1061	0,44372857	0,00010319
C en Base húmeda	7	2,82584	0,40369143	0,0001067

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,0056104	1	0,0056104	53,4615605	9,3264E-06	4,74722535
Dentro de los grupos	0,00125931	12	0,00010494			
Total	0,00686972	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

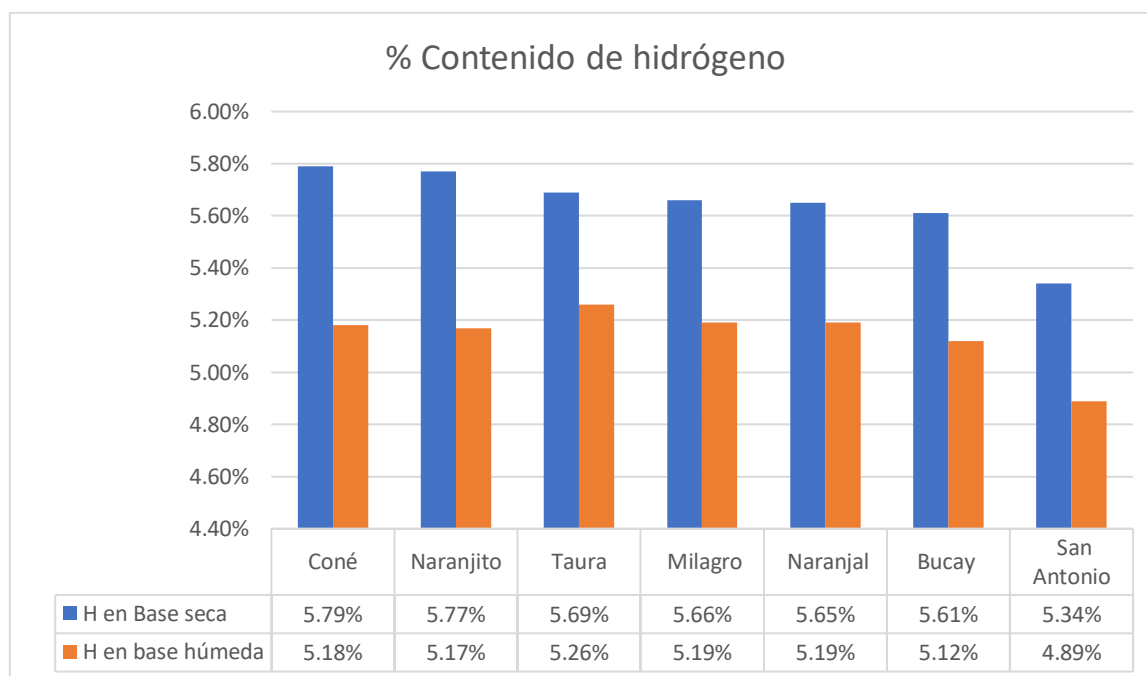
	<i>C en Base seca</i>	<i>C en Base húmeda</i>
Media	0,44372857	0,40369143
Varianza	0,00010319	0,0001067
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	0,9671267	
P(F<=f) una cola	0,48433605	
Valor crítico para F (una cola)	0,23343402	

Elaborado por: autor

4.2.2.2. Resultados de análisis de Hidrógeno

Gráfico 11.

Porcentaje de contenido de hidrógeno



Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de hidrógeno

De acuerdo con el **Gráfico 11**, el sector que tiene la mayor parte de contenido de hidrogeno en sus residuos de la caña es el sector Coné con el 5,79% y la menor parte San Antonio con un 5,34% tomado desde el análisis en base seca, por otra parte, el sector Taura tiene el mayor porcentaje de contenido de hidrogeno en base húmeda con un 5,26% y el menor porcentaje lo tiene San Antonio con un 4,89%.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Coné	2	0,1097	0,05485	1,8605E-05
Naranjito	2	0,1094	0,0547	0,000018
Taura	2	0,1095	0,05475	9,245E-06
Milagro	2	0,1085	0,05425	1,1045E-05

Naranjal	2	0,1084	0,0542	0,00001058
Bucay	2	0,1073	0,05365	1,2005E-05
San Antonio	2	0,1023	0,05115	1,0125E-05
H en Base seca	7	0,3951	0,05644286	2,2195E-06
H en base húmeda	7	0,36	0,05142857	1,4124E-06

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8,8001E-05	1	8,8001E-05	48,4598138	1,5144E-05	4,74722535
Dentro de los grupos	2,1791E-05	12	1,816E-06			
Total	0,00010979	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

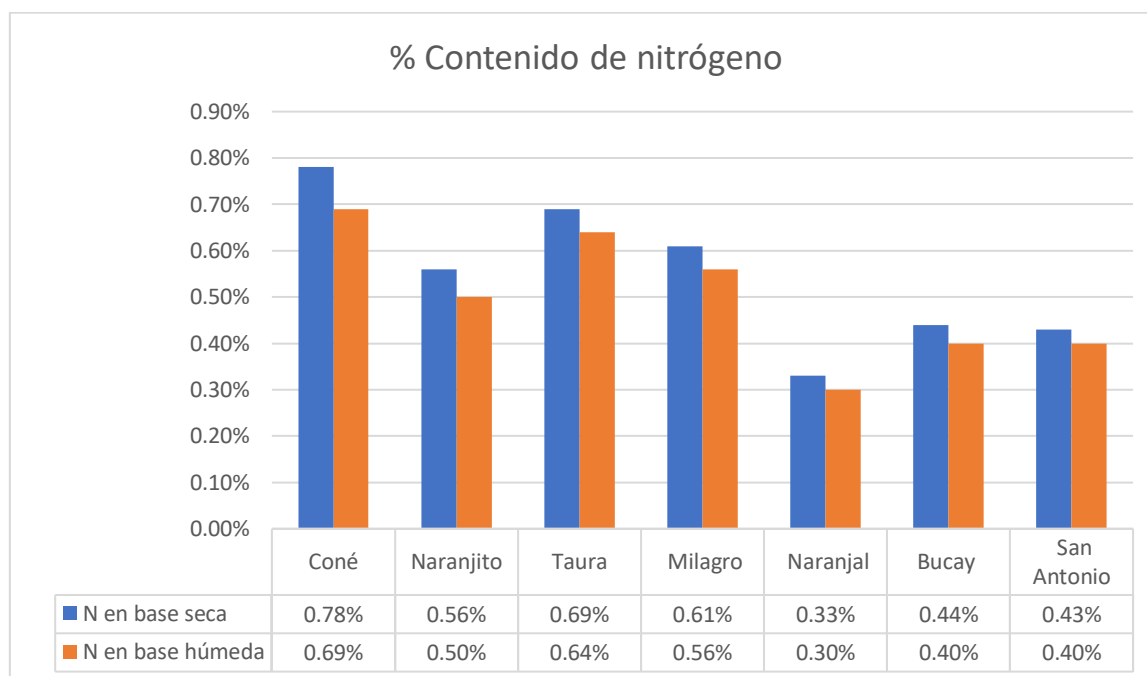
	<i>H en Base seca</i>	<i>H en base húmeda</i>
Media	0,05644286	0,05142857
Varianza	2,2195E-06	1,4124E-06
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,57147674	
P(F<=f) una cola	0,29841142	
Valor crítico para F (una cola)	4,28386571	

Elaborado por: autor

4.2.2.3. Resultados de análisis de Nitrógeno

Gráfico 12.

Porcentaje de contenido de nitrógeno



Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de nitrógeno

Según el análisis en base seca el contenido de nitrógeno en el **Gráfico 12**, la mayor parte lo tiene el sector Cone con un 0,78% y el menor porcentaje en esta misma base lo tiene el sector Naranjal con el 0,33%. Los análisis en base húmeda arrojaron que Coné igualmente contiene el mayor contenido de nitrógeno con un 0,69% y su más contenido lo tiene el sector Naranjal con un 0,30%.y la segunda muestra arrojó un resultado de nitrógeno.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Coné	2	0,0147	0,00735	4,05E-07
Naranjito	2	0,0106	0,0053	0,00000018
Taura	2	0,0133	0,00665	1,25E-07
Milagro	2	0,0117	0,00585	1,25E-07
Naranjal	2	0,0063	0,00315	4,5E-08

Bucay	2	0,0084	0,0042	8E-08
San Antonio	2	0,0083	0,00415	4,5E-08
N en base seca	7	0,0384	0,00548571	2,5181E-06
N en base húmeda	7	0,0349	0,00498571	1,9881E-06

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8,75E-07	1	8,75E-07	0,38835464	0,54482797	4,74722535
Dentro de los grupos	2,7037E-05	12	2,2531E-06			
Total	2,7912E-05	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>N en base seca</i>	<i>N en base húmeda</i>
Media	0,00548571	0,00498571
Varianza	2,5181E-06	1,9881E-06
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,26658683	
P(F<=f) una cola	0,3907477	
Valor crítico para F (una cola)	4,28386571	

Elaborado por: autor

4.2.3. Resultados de porcentaje de contenido de azufre**Tabla 16.***Resultados de análisis de contenido de azufre*

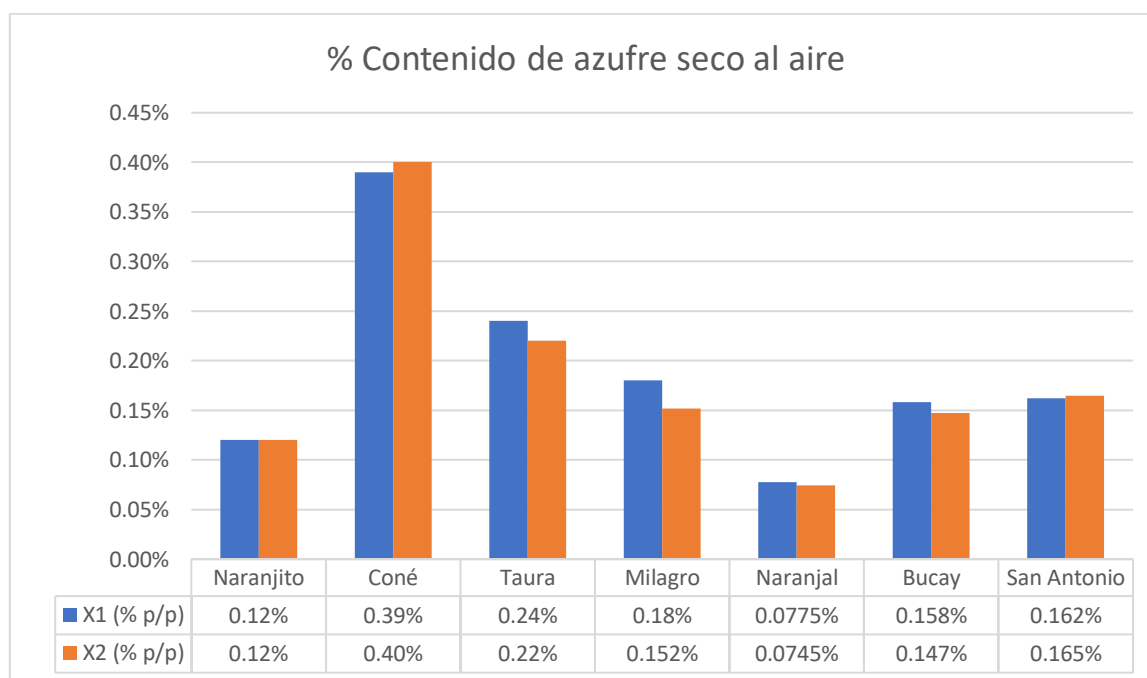
Azufre

Sector	Seco al aire			Seco		
	X1 (% p/p)	X2 (% p/p)	Hr (% p/p)	X1 (% p/p)	X2 (% p/p)	X (% p/p)
Naranjito	0,12	0,12	10,53	0,13	0,13	0,13
Coné	0,39	0,40	10,52	0,44	0,44	0,44
Taura	0,24	0,22	7,52	0,26	0,24	0,25
Milagro	0,18	0,152	7,58	0,19	0,19	0,201
Naranjal	0,0775	0,0745	8,205	0,0844272563865134	0,0811591045263903	0,0827931804564519
Bucay	0,158	0,147	8,74	0,17313171159325	0,161078238001315	0,167104974797282
San Antonio	0,162	0,165	8,37	0,176797991924042	0,180072028811525	0,178435010367783

Elaborado por: autor

Gráfico 13.

Porcentaje de contenido de azufre seco al aire



Elaborado por: autor

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Naranjito	2	0,0024	0,0012	0
Coné	2	0,0079	0,00395	5E-09
Taura	2	0,0046	0,0023	2E-08
Milagro	2	0,00332	0,00166	3,92E-08
Naranjal	2	0,00152	0,00076	4,5E-10

Bucay	2	0,00305	0,001525	6,05E-09
San Antonio	2	0,00327	0,001635	4,5E-10
X1 (% p/p)	7	0,013275	0,00189643	1,03272E-06
X2 (% p/p)	7	0,012785	0,00182643	1,11299E-06

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

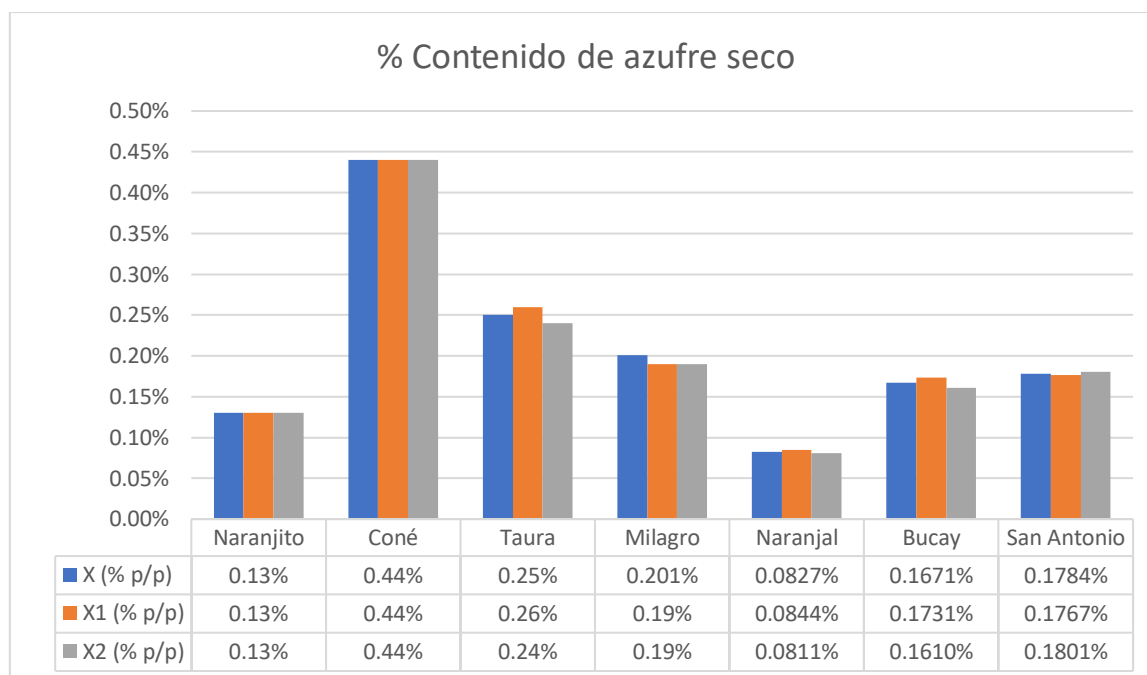
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,715E-08	1	1,715E-08	0,01598537	0,90148271	4,74722535
Dentro de los grupos	1,2874E-05	12	1,0729E-06			
Total	1,2891E-05	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>X1 (% p/p)</i>	<i>X2 (% p/p)</i>
Media	0,00189643	0,00182643
Varianza	1,0327E-06	1,113E-06
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	0,92788191	
P(F<=f) una cola	0,46496276	
Valor crítico para F (una cola)	0,23343402	

Elaborado por: autor

Gráfico 14.*Porcentaje de azufre seco*

Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de azufre

En esta parte se realizará dos tipos de análisis distintos ya que estos se determinan de acuerdo con su repetición por toma de muestras.

En el **Gráfico 13**, se puede observar que durante el análisis de contenido de azufre seco al aire los resultados han sido tomados por duplicado mostrándonos que en la primera fase (x1) el sector que cuenta con un mayor porcentaje de azufre es Coné con el 0,39% y Naranjal tiene el menor porcentaje con un 0,0775%.

En el segundo ensayo (x2) se puede verificar que de la misma forma Coné representa el mayor porcentaje con un 0,40% y el menor porcentaje lo tiene Naranjal con un 0,0745%

En el **Gráfico 14**, podemos visualizar los resultados de contenido de azufre seco, en donde se hizo la toma de muestras de análisis por triplicado. Para el ensayo estándar X,

ensayo 1(x1) y ensayo (x2) se posiciona como el sector que mayor contenido de azufre tiene a Coné con un 0,44% y a Naranjal se posiciona como el sector que menor porcentaje de azufre tiene con un 0,0827%, 0,0844% y 0,0811% para el ensayo estándar X, ensayo 1(x1) y ensayo 2 (x2) respectivamente.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Naranjito	3	0,0039	0,0013	0
Coné	3	0,0132	0,0044	0
Taura	3	0,0075	0,0025	0,00000001
Milagro	3	0,00581	0,001936667	4,0333E-09
Naranjal	3	0,002482	0,000827333	2,7233E-10
Bucay	3	0,005012	0,001670667	3,6603E-09
San Antonio	3	0,005352	0,001784	2,89E-10
X (% p/p)	7	0,014492	0,002070286	1,3327E-06
X1 (% p/p)	7	0,014542	0,002077429	1,3402E-06
X2 (% p/p)	7	0,014222	0,002031714	1,3364E-06

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8,4667E-09	2	4,2333E-09	0,00316764	0,99683792	3,55455715
Dentro de los grupos	2,4056E-05	18	1,3364E-06			
Total	2,4064E-05	20				

Elaborado por: autor

4.2.4. Resultados de poder calorífico

Tabla 17.

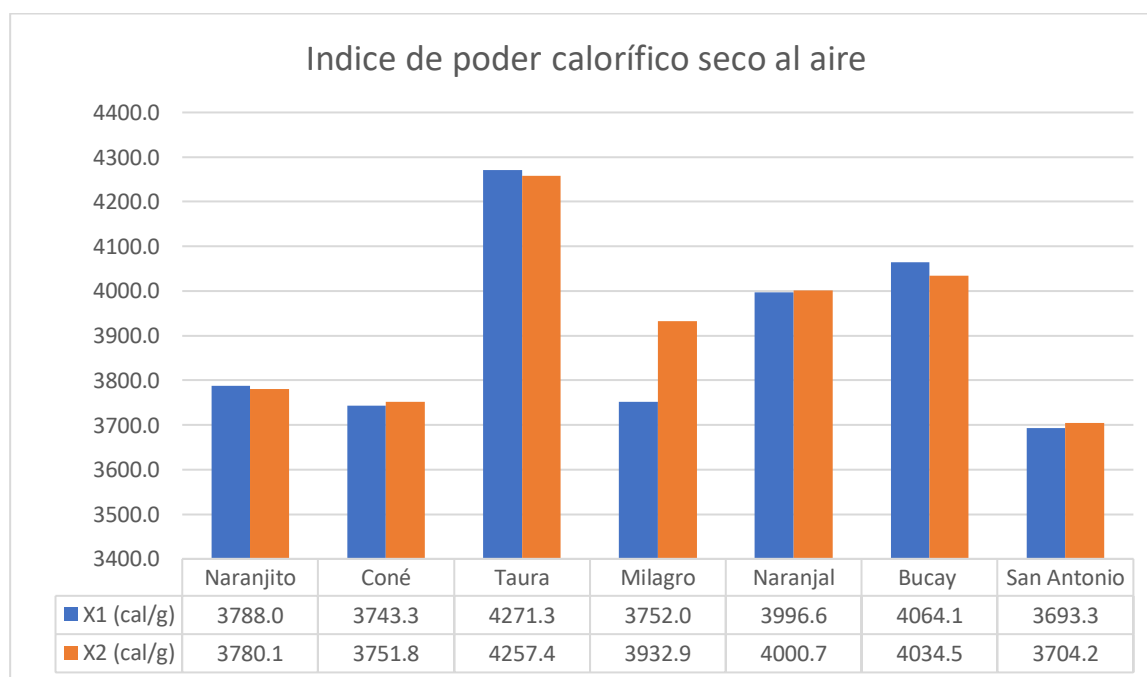
Resultados de poder calorífico

Poder calorífico						
Sector	Seco al aire			Seco		
	X1 (cal/g)	X2 (cal/g)	Hr (% p/p)	X1 (cal/g)	X2 (cal/g)	X (cal/g)
Naranjito	3788,0	3780,1	10,53	4233,6	4224,8	4229,2
Coné	3743,3	3751,8	10,52	4183,4	4192,9	4188,1
Taura	4271,3	4257,4	7,52	4618,4	4603,3	4610,9
Milagro	3752,86	3932,9	7,58	4193,5	4231,2	4199,8
Naranjal	3996,6	4000,7	8,21	4353,8	4358,3	4356,1
Bucay	4064,1	4034,5	8,37	4435,3	4403,0	4419,2
San Antonio	3693,3	3704,2	8,74	4047,0	4059,0	4053,0

Elaborado por: autor

Gráfico 15.

Índice de poder calorífico seco al aire



Elaborado por: autor

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Naranjito	2	7568,1	3784,05	31,205
Coné	2	7495,1	3747,55	36,125
Taura	2	8528,7	4264,35	96,605
Milagro	2	7684,9	3842,45	16362,405
Naranjal	2	7997,3	3998,65	8,405
Bucay	2	8098,6	4049,3	438,08
San Antonio	2	7397,5	3698,75	59,405
X1 (cal/g)	7	27308,6	3901,22857	45973,5457
X2 (cal/g)	7	27461,6	3923,08571	37999,0248

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

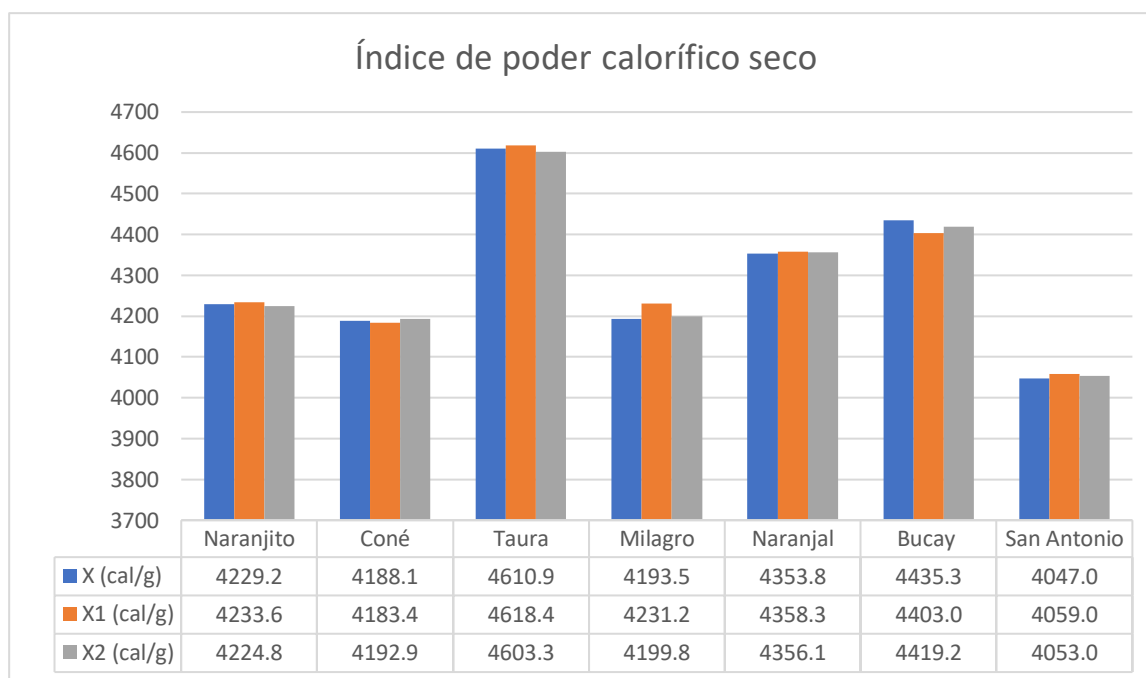
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1672,07143	1	1672,07143	0,03982423	0,84516626	4,74722535
Dentro de los grupos	503835,423	12	41986,2852			
Total	505507,494	13				

Elaborado por: autor

Prueba F para varianzas de dos muestras

	<i>X1 (cal/g)</i>	<i>X2 (cal/g)</i>
Media	3901,22857	3923,08571
Varianza	45973,5457	37999,0248
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,2098612	
P(F<=f) una cola	0,41150341	
Valor crítico para F (una cola)	4,28386571	

Elaborado por: autor



Elaborado por: autor

Análisis de resultados de contenido de poder calorífico

Se puede verificar en el **Gráfico 15**, que el mayor porcentaje de energía encontrada en los residuos de caña fue por parte del sector Taura con una cantidad de 4251,3 cal/g en el ensayo 1 y en el ensayo 2 los resultados arrojaron una cantidad de 4257,4 cal/g para su ensayo en seco al aire y el menor porcentaje lo tiene Coné con una 3743,1 cal/g en su ensayo 1 y en el ensayo 2 tiene una 3751,8 cal/g de índice de poder calorífico seco al aire.

Por otra parte, tenemos los análisis de poder calorífico seco, en donde los resultados arrojaron en los resultados de su muestra estándar X, Coné tiene un valor de 4188,1 cal/g siendo el valor más bajo de la tabla que a comparación del sector Taura arrojó un valor de 4610,9 cal/g posicionándose como el sector más atractivo a nivel energético para dar paso a la creación o aplicación de nuevos biocombustibles.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Naranjito	3	12687,6	4229,2	19,36
Coné	3	12564,4	4188,13333	22,5633333
Taura	3	13832,6	4610,86667	57,0033333
Milagro	3	12624,5	4208,16667	407,823333
Naranjal	3	13068,2	4356,06667	5,06333333
Bucay	3	13257,5	4419,16667	260,823333
San Antonio	3	12159	4053	36
X (cal/g)	7	30057,8	4293,97143	35081,739
X1 (cal/g)	7	30086,9	4298,12857	32696,8157
X2 (cal/g)	7	30049,1	4292,72857	32858,519

Elaborado por: autor

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	111,968571	2	55,9842857	0,0016689	0,99833265	3,55455715
Dentro de los grupos	603822,443	18	33545,6913			
Total	603934,411	20				

Elaborado por: autor

4.3. Costos de producción**4.3.1. Costos de producción para producción de 200 a 300 g de 7 muestras RAC de caña de azúcar en polvo en 7 sectores del Guayas.****Tabla 18.***Tabla de costo fijo y variable*

Detalle	Costo fijo	
	Cantidad	Costo
Balanza digital	1	\$7

Fundas herméticas	7	\$0.15
Tijeras de podar	1	\$7,89
Total costo fijo		\$9,94
Costo Variable		
Agua	32 L	-
Mano de obra	1	\$22,5
Residuo de caña de azúcar	250 g/muestra	\$7
Gastos de transporte	7	\$35
Viáticos por viaje	7	\$20
Análisis próximos	7	\$700
Análisis elementales	7	\$500
Análisis de azufre	7	\$230
Análisis de poder calorífico	7	\$550
Total costos variables		\$2064,5
Total de costos		\$2074,44

Elaborado por: autor

4.3.2. Análisis de costo fijo

El costo fijo fue hallado describiendo materiales y equipos utilizados para el pretratamiento de las muestras de residuos de caña.

4.3.3. Análisis de costo variable

Los costos variables para el acondicionamiento de las muestras antes de su envío a los laboratorios para la caracterización fisicoquímica, para la limpieza se utilizaron 32 L de agua para la limpieza de las 7 muestras recolectadas de los cañaverales con las que se pudieron obtener de 200 a 300 g de muestra en polvo. La mano de obra se la calculó de acuerdo con el salario básico unificado en Ecuador hasta el presente año 2023 que tiene un valor de \$450 del cual el valor diario \$22,4 por 8 horas laborales diarias.

4.3.4. Análisis de costo total

El costo total para el tratamiento físico se obtiene con la sumatoria entre el total de costo fijo y el costo variable mostrado en la **Tabla 18** del cual se obtuvo un valor de \$424,24, este valor representa el costo para poder acondicionar de 200 a 300 g de muestra de RAC en polvo (según el estado físico del residuo recolectado) y dar paso a la caracterización del residuo de caña, el cual puede servir de apoyo para que se pueda dar inicio a nuevas investigaciones en donde se utilicen residuos agrícolas para beneficio del medio ambiente.

CAPITULO IV

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Acorde a los objetivos planteados, se realizó con éxito la recolección de residuos de corte de caña de azúcar muestras de los sectores Coné, Taura, Milagro, Naranjal, Naranjito, Bucay y San Antonio de la Provincia del Guayas de los cuales se obtuvieron de 3 a 4 kg de muestras por sector.

En virtud de lo estudiado, se determinó que los análisis realizados para realizar la caracterización de los residuos de corte de caña de azúcar de la Provincia del Guayas fueron análisis próximos o termogravimétricos, análisis elementales, análisis de contenido de azufre y análisis de poder calorífico.

Se define que los métodos utilizados para llevar a efecto la caracterización de los residuos sólidos que han sido objeto de esta investigación se llevaron a cabo bajo las normativas: **ASTM D7582 – 15** “Proximate Analysis of Coal and Coke by MacroThermogravimetric Analysis” para análisis próximos, **ASTM D5865/D5865M – 19** “Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke” para análisis de poder calorífico, **ASTM D5373 – 21** “Standard Test Methods for Determination of Carbon,

Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke” para análisis de contenido de azufre y la normativa *ASTM D5373 – 21* “Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke” para la realización de análisis elementales.

Se concluye que los resultados obtenidos en cada uno de los análisis son los óptimos de acuerdo a las normativas aplicadas, cada uno de ellos cuenta con el límite establecido de huella de carbono, los sectores han sido analizados y comparados de acuerdo a su buen uso y posible manejo ambiental.

Recomendaciones

Se recomienda hacer la toma de muestras sectoriales de manera simultánea para que el resultado de los análisis sea más exacto.

Se aconseja que, durante el proceso de tratamiento primario de la muestra, se debe dejar reposar al menos 24 horas entre cada una de las operaciones para su transformación con el fin de lograr que la temperatura se establezca y no interfiera con el resultado de los procesos físicos.

Se garantiza que el estudio de residuos sólidos agrícolas pueden ser objeto de estudio de investigación muy beneficioso para la sociedad, por lo cual se invita a la sociedad estudiantes a que tomen iniciativa para la búsqueda de un mejoramiento ambiental a partir de residuos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Romero, D. A. (2019). *Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador* [Universidad

Politécnica Sede de Cuenca].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18090/1/UPS-CT008600.pdf>

APAH. (2022). Caña de azúcar, cultivo noble y amigable con el medio ambiente = agroindustria responsable. In *Asociación de Productores de azúcar de Honduras*.
<https://productoresdeazucarhonduras.com/2022/05/26/cana-de-azucar-cultivo-noble-y-amigable-con-el-medio-ambiente-agroindustria-responsable/>

Bermeo Palacios, D. de L., & Reyes Catillo, F. P. (2023). *Evaluación del residuo corte de caña de azúcar como materia prima para producir biocombustibles sólidos* [Universidad de Guayaquil]. <http://www.fiq.ug.edu.ec/>

Blázquez, M. de los Á. (2003). *Los residuos agrícolas y de origen animal*.
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/educacion_ambiental/EducamIV/publicaciones/rua15.pdf

Bonilla Pérez, W. D. (2018). *Generación de residuos agrícolas de cosechas de variedad de caña de azúcar y su utilización como fuente de energía; Ingenia Magdalena 2014-2016* [Universidad Rafael Landívar].
<http://biblio3.url.edu.gt/publijrcifuentes/TESIS/2018/06/17/Bonilla-Wilman.pdf>

Camargo Vargas, G. de J. (2018). *Evaluación del proceso de pirolisis de material lignoceluloso proveniente del eucalipto en atmósfera de dióxido de carbono* [Proyecto de grado, Universidad Libre de Colombia].
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11026/DOCUMENTO%20FINAL%20GIOVANNI%20ESTEBAN%20GARZON%20TORRES.pdf?sequence=1>

Cattani, M. (2019). *Foto reportaje: La zafra: cosecha de la caña de azúcar en Bella Unión*. Vida Litoral. <https://vidalitoral.com/foto-reportaje-la-zafra-cosecha-de-la-cana-de-azucar-en-bella-union/>

Conab. (2023). La producción brasileña de caña de azúcar creció un 5,4 % en última cosecha.

In *Ministerio de Agricultura y Pecuaria*. https://www.swissinfo.ch/spa/brasil-agricultura_la-produccion-brasile%C3%B1a-de-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar-creci%C3%B3-un-5-4---en-%C3%BAltima-cosecha/48451894

CONADESUCA. (2015). *Ficha técnica del cultivo de la caña*.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Ca_a_de_Azucar.pdf

CONADESUCA. (2016). *Nota Técnica Informativa del sector de la caña de azúcar*

Aprovechamiento de residuos de cosecha de la caña de azúcar.

www.conadesuca.gob.mx

Eco Business fund. (2021). *Guía para el cultivo de caña de azúcar*.

https://www.ecobusiness.fund/fileadmin/user_upload/Sustainability_Academy/Recursos/Guia_para_el_cultivo_de_cana_de_azucar.pdf

Eduardo, J., & Rodriguez, B. (2017). *Determinación y análisis del efecto de los diferentes tipos de oxidación sobre las propiedades plásticas del carbón*.

ESPAAC. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*.

https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf

Flores, L., Ruiz, A., & Oscanoa, A. (2021). Protocolo para determinación de cenizas en microalgas liofilizadas. *Inf Inst Mar Perú*, 48(1), 8–10. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_16

Humberto, J., Liceth, T., Andreina, J., Angélica, R., Julia José Humberto Vera-Rodríguez, M., Superior Tecnológico Enrique Noboa Arízaga, I., Troncal, L., Jenny Andreina

- Siguencia-Chuya, E., María Julia Pérez-Guallpa, E., Hombre, E., & Tecnología, C. (2021). Caracterización nutricional de los residuos orgánicos en la caña de azúcar del cantón La Troncal Nutritional characterization of organic residues in the sugar cane of La Troncal canton. *Periodicidad: Trimestral*, 25(2), 2021.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412286013/4412286013.pdf>
- Joaquín, O., Álvarez, D., & Daniel Gonzalez Villalba, J. (2019). *Guía técnica cultivo de caña de azúcar* [Universidad Nacional de Asunción].
https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_01.pdf
- López Bravo, E., Saucedo Levi, E. R., Gonzales Cueto, O., Herrera Suarez, M., & Betancurt Rodriguez, Y. (2022). Efectos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar sobre el suelo. *Scielo*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542022000100001&script=sci_arttext&lng=es
- MAG. (2022). Luego de siete años aumenta el precio de la tonelada de caña de azúcar. *Ministerio de Agricultura y Ganadería Del Ecuador*, 1–2.
<https://www.agricultura.gob.ec/luego-de-siete-anos-aumenta-el-precio-de-la-tonelada-de-cana-de-azucar/>
- Martines, E., & Lira, L. (2010). *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos*. <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- Martínez Romero, A., & Leyva Galán, Á. (2014). *La biomasa de los cultivos en el ecosistema. Sus beneficios agroecológicos* [Revisión bibliográfica, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)].
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002

MINAM. (2021). *Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales*.

<https://faolex.fao.org/docs/pdf/per186738anx.pdf>

Navarrete, N. J., & Naikiat, J. G. (2022). Desarrollo local de San Carlos (Ecuador). La caña de azúcar como potencial de emprendimiento. *Espacios*, 43(11), 25–42.

<https://doi.org/10.48082/espacios-a22v43n11p03>

Peña Otacoma, D. M. (2020). *PROCESOS Y PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN INGENIO AZUCARERO EN EL ECUADOR*.

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15343/1/E->

[5847_PE%c3%91A%20OTACOMA%20DARLING%20MICHAEL.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15343/1/E-5847_PE%c3%91A%20OTACOMA%20DARLING%20MICHAEL.pdf)

Sánchez, A. M., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2019). *Sector Azucarero del Ecuador*.

https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N39.pdf

Sanchez, S., & Amable, A. (2020). *Comportamiento de tres cultivares de caña de azúcar (Saccharum Officinarum L. en la granja experimental Santa Inés [Universidad Técnica de Machala]*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15556/1/TTUACA-2020-IA-DE00012.pdf>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Caña de azúcar, un cultivo que proviene de pequeños productores*. Gobierno de México.

[https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-un-cultivo-que-proviene-de-pequenos-](https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-un-cultivo-que-proviene-de-pequenos-productores?idiom=es#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20(Saccharum,importante%20en%20el%20subcontinente%20indio.)

[productores?idiom=es#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20\(Saccharum,importante%20en%20el%20subcontinente%20indio.](https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-un-cultivo-que-proviene-de-pequenos-productores?idiom=es#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20(Saccharum,importante%20en%20el%20subcontinente%20indio.)

Toapanta Molina, Á. S., & Morales Fiallos, F. (2017). *Análisis del bagazo de la caña de azúcar como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de lácteos “Lácteos Valenzuela Divino Niño” de la Provincia de Cotopaxi, Cantón*

Saquisilí.

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27019/1/Tesis%201208%20-%20Toapanta%20Molina%20%c3%81lvaro%20Santiago.pdf>

UNAM. (2023, July). *Análisis elemental*. Universidad Nacional Tecnológica de México.

<https://quimica.unam.mx/investigacion/servicios-para-la-investigacion/usaii/analisis-elemental/>

Vargas Sarcos, J. A. (2023). *Análisis de la producción del sector azucarero y su aporte al desarrollo económico del Ecuador* [Tesis de investigación, Universidad Agraria del Ecuador].

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VARGAS%20SARCOS%20JACKSON%20ARIEL.pdf>

Velasco Velasco, J., Gómez Merino, F., Hernández Cáseres, A., Salinas Ruíz, J., & Guerrero Peña, A. (2017). Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades. *Agroproductividad*, 10(11), 99–104.

ANEXOS

Anexo 1

Recepción del residuo de corte de caña de azúcar (sector Naranjito)



Fuente: Autor

Anexo 2.

Recolección de RAC (sector San- Antonio)



Fuente: Autor

Anexo 3.

Sacos de residuos de caña de azúcar recopilados



Fuente: Autor

Anexo 4.

Clasificación y selección de los residuos de caña de azúcar



Fuente: Autor

Anexo 5.

Limpieza de los residuos de caña de azúcar



Fuente: Autor

Anexo 6.

Residuos de caña de azúcar secados al ambiente



Fuente: Autor

Anexo 7.

Cámara de secado utilizada para el RAC



Fuente: Autor

Anexo 8.

Molino de martillo para el RAC



Fuente: Autor

Anexo 9.

Resultado de tamaño de partícula del RAC en el molino de martillo.



Fuente: Autor

Anexo 10.

Tamizado del RAC



Fuente: Autor

Anexo 11.

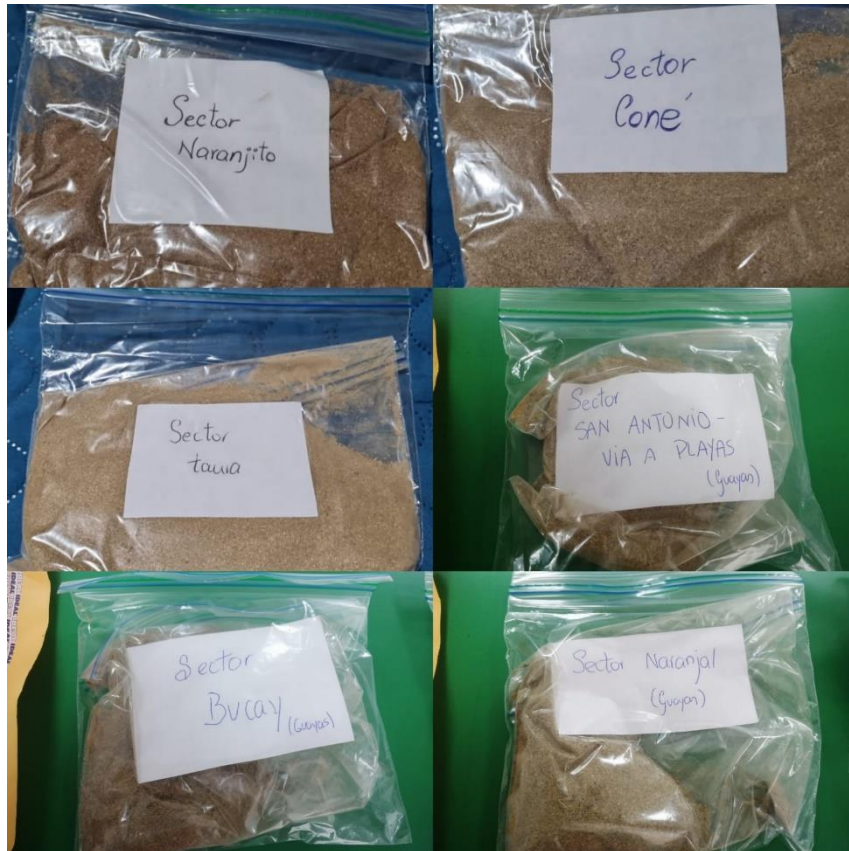
Tamiz malla n°20



Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/Qbta>

Anexo 12.*Tamiz n°40*

Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/PSko>

Anexo 13.*Almacenado de muestras de residuos acondicionados por sector***Metodología Experimental de análisis**

Anexo 14.

Analizador termogravimétrico Leco TGA 701



Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/PVzD>

Anexo 15.

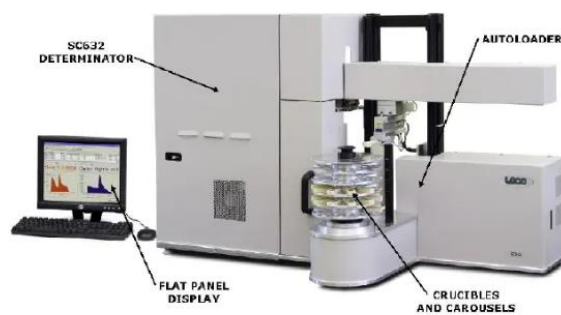
Colocación de crisoles



Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/PVBE>

Anexo 16.*Calorímetro Isoperibólico LECO AC-500*

Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/PVJv>

Anexo 17.*Determinador de azufre LECO SC-632*

Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/PWkg>

Anexo 18.*Analizador elemental LECO CHN 628*

Fuente: Tomado de <http://bitly.ws/PWrw>