



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACION DE RESIDUOS DE LA CASCARA DE
THEOBROMA CACAO DE LA FINCA “RANCHO MARGARITA”
COMO FUENTE PARA LA OBTENCIÓN DE CELULOSA
MEDIANTE EL METODO DE HIDRÓLISIS.

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: MARÍA ALEJANDRA MOSCOSO ZUÑIGA

DIRECTOR: Ing. JAVIER IGNACIO BRIONES GARCÍA

Macas – Ecuador

2022

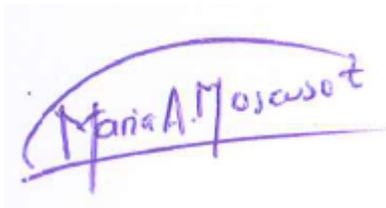
© 2022, María Alejandra Moscoso Zuñiga

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

Yo, MARÍA ALEJANDRA MOSCOSO ZUÑIGA, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 19 de diciembre de 2022

A handwritten signature in purple ink that reads "María A. Moscoso Zúñiga". The signature is written in a cursive style and is underlined with a single horizontal stroke.

María Alejandra Moscoso Zuñiga
0105289771

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE LA CASCARA DE THEOBROMA CACAO DE LA FINCA “RANCHO MARGARITA” COMO FUENTE PARA LA OBTENCIÓN DE CELULOSA MEDIANTE EL METODO DE HIDRÓLISIS**, realizado por la señorita: **MARÍA ALEJANDRA MOSCOSO ZUÑIGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Alex Estuardo Erazo Lara PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-19
Ing. Javier Ignacio Briones García DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-12-19
Ing. Willian Estuardo Carrillo Barahona MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-12-19

DEDICATORIA

A Dios y a la virgen Purísima de Macas por ser mi guía e iluminación en este camino.

A mis padres; René, Betti y Wilmer por su sacrificio y apoyo incondicional brindado.

A mi hijo Alejandro por ser mi motivación e inspiración para para poder superarme.

A mi esposo Ivanenko por su paciencia y confianza puesta en mi para culminar esta carrera.

A mis hermanos Cristina y Andrés quienes con sus palabras de aliento me motivaron a seguir adelante.

Alejandra

AGRADECIMIENTO

A Dios, mis padres, mi hijo y mi esposo por ser fuente de inspiración y guía todo este tiempo de estudio.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme durante estos años y brindarme la oportunidad de formar parte de esta noble institución.

A mi director Ing. Javier Briones por su apoyo, paciencia y consejos brindados durante este tiempo para lograr la culminación del presente trabajo.

Alejandra

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Problema general de investigación.....	4
1.3 Problemas específicos de investigación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 Justificación.....	5
1.5.1. <i>Justificación teórica</i>	5
1.5.2. <i>Justificación metodológica</i>	6
1.5.3. <i>Justificación práctica</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	7
2.1 Bases teóricas.....	7
2.1.1. <i>Cacao (Theobroma cacao)</i>	7
2.1.2. <i>Cacao en Ecuador</i>	8
2.1.3. <i>Residuos del cacao en Ecuador</i>	9
2.1.4. <i>Impacto ambiental de la generación de residuos</i>	10
2.1.5. <i>Importancia del uso de residuos de cacao</i>	10
2.1.6. <i>Cáscara de Cacao</i>	11
2.1.6.1. <i>Fibras lignocelulósicas de residuos agrícolas</i>	12
2.1.6.2. <i>Celulosa obtenida de residuos agrícolas</i>	12
2.1.6.3. <i>Hidrólisis de la celulosa</i>	13
2.2 Bases conceptuales.....	14

2.2.1.	<i>Cacao</i>	14
2.2.2.	<i>Celulosa</i>	14
2.2.3.	<i>Biomasa lignocelulósica</i>	15
2.24.	<i>Estudios de laboratorio</i>	15
2.25.	<i>Hidrolisis</i>	16
2.26.	<i>Extracción de celulosa</i>	16

CAPÍTULO III

3	METODOLOGÍA	18
3.1	Tipo y diseño de la investigación	18
3.1.1.	<i>Método de investigación</i>	18
3.1.2.	<i>Enfoque de investigación</i>	18
3.2	Identificación de las variables	19
3.2.1	<i>Variable dependiente</i>	19
3.2.2.	<i>Variable independiente</i>	19
3.3	Diseño de la investigación	19
3.4	Población de estudio	19
3.4.1.	<i>Ubicación de la zona de estudio</i>	19
3.4.2.	<i>Condiciones edafo-climatológicas</i>	20
3.5	Unidad de análisis	20
3.6	Tamaño de la muestra	21
3.6.1.	<i>Técnica y recolección de datos</i>	21
3.7	Diseño experimental	21
3.8	Procedimiento experimental	22
3.8.1.	<i>Materiales</i>	22
3.8.2.	<i>Caracterización de la materia prima</i>	23
3.9	Proceso de obtención de celulosa aplicado a la cáscara de cacao	23
3.10	Caracterización del producto final	25
3.10.1.	<i>Obtención de porcentaje de celulosa</i>	25
3.10.2.	<i>Obtención del grado de des lignificación</i>	25
3.10.3.	<i>Rendimiento de los tratamientos</i>	26
3.10.4.	<i>Determinación de humedad</i>	26
3.10.5.	<i>Determinación de cenizas</i>	27
3.10.6.	<i>Identificación cualitativa de celulosa</i>	27
3.10.7.	<i>Determinación de solubilidad</i>	28

CAPÍTULO IV

4	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	29
4.1	Caracterización de la materia prima	29
4.2	Obtención de celulosa	30
4.3	Análisis estadístico de los resultados obtenidos	31
4.4	Rendimiento de la celulosa obtenida a partir de la pureza.....	32
4.5	Porcentaje de lignina de la celulosa obtenida de la cáscara de cacao	33
4.6	Relación contenido celulosa y lignina	36
4.7	Balance de masa.....	37
4.8	Propiedades de la celulosa obtenida a partir de la cáscara de cacao	38
4.9	Celulosa.....	40
	CONCLUSIONES.....	41
	RECOMENDACIONES.....	42
	BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación taxonómica del cacao	8
Tabla 2-2:	Cultivo de cacao en Ecuador por región. año 2020.....	9
Tabla 3-2:	Composición química de la cáscara de cacao	12
Tabla 1-3:	Combinaciones de tratamientos.....	19
Tabla 2-3:	Esquema de diseño experimental	21
Tabla 3-3:	Materiales disponibles y requeridos para realizar proceso de extracción de celulosa.....	22
Tabla 1-4:	Características promedio de la cáscara de cacao usada para la extracción de celulosa mediante hidrolisis alcalina.	29
Tabla 2-4:	Valores obtenidos de celulosa (%) obtenida por extracción mediante hidrolisis alcalina a partir de cáscara de cacao.....	30
Tabla 3-4:	Resultado de rendimiento después de cada tratamiento.	30
Tabla 4-4:	Análisis de varianza para variables evaluadas en el estudio	31
Tabla 5-4:	ANOVA del rendimiento de la celulosa obtenida a partir de cáscara de cacao	32
Tabla 6-4:	Prueba de media de Tukey del rendimiento de la celulosa (%) obtenida a partir de la cáscara de cacao.....	32
Tabla 7-4:	ANOVA del rendimiento de la lignina obtenida a partir de cáscara de cacao ..	33
Tabla 8-4:	Prueba de media de Tukey de contenido de lignina (%) obtenida a partir de la cáscara de cacao.	34
Tabla 9-4:	Resultados físico - químicos del producto obtenido.....	38
Tabla 10-4:	Resultados de solubilidad	39
Tabla 11-4:	Comparación de calidad de diferentes residuos agrícolas para la obtención de celulosa para la fabricación de papel.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Residuos de cáscara de cacao (t/año) en las principales provincias y regiones productoras.....	10
Figura 2-2:	Estructura química de la celulosa.....	15
Figura 3-2:	Procedimiento para la extracción de la celulosa.....	17
Figura 1-3:	Ubicación del área de estudio.....	20
Figura 2-3:	Flujograma para la extracción de celulosa.....	24
Figura 1-4:	Cambios en el contenido de celulosa después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.....	33
Figura 2-4:	Cambios en el contenido de lignina después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.....	35
Figura 3-4:	Índice K después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.....	36
Figura 4-4:	Relación del contenido de celulosa/ lignina después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.....	37
Figura 5-4:	Diagrama de balance de masa.....	38
Figura 6-4:	Cambios en el pH después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.....	39

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los residuos de la cáscara de *Theobroma cacao* L de la finca “Rancho Margarita” como fuente de obtención de celulosa mediante el método de hidrólisis, se realizó una investigación de tipo experimental, bajo condiciones controladas en laboratorio. Se evaluaron dos factores asociados al método de extracción de celulosa (concentración de NaOH y NaClO), bajo diferentes temperatura y tiempo de hidrólisis, de acuerdo a sus combinaciones se obtuvieron 9 tratamientos con 3 repeticiones, las variables independientes fueron las concentraciones de NaOH y NaClO; y las variables dependientes el rendimiento y pureza de la celulosa. Para el análisis estadístico de los datos se aplicó las pruebas ANOVA y Tukey. Los resultados indican que la materia prima (*Theobroma cacao*) en comparación con otros residuos agroindustriales, puede convertirse en una fuente adecuada para la obtención de derivados de celulosa. En el tratamiento 7 (hidrólisis ácida H₂SO₄ al 0,4% por 60min a 60°C, hidrólisis alcalina al 5% NaOH por 120 min a 60°C y el blanqueamiento con NaClO 5% por 300 min a 25°C) se lograron los parámetros extractivos más eficientes a nivel de laboratorio, los cuales permiten un mayor rendimiento en la obtención de celulosa, un incremento del pH durante el proceso de extracción alcalina y un aumento de extracción del contenido de lignina, lográndose mayor pureza de celulosa. Se recomienda la evaluación de otra sustancia como el ácido clorhídrico para el pre tratamiento ácido, en el proceso de extracción que incremente el rendimiento y pureza del producto final, así como también evaluar el uso de otras sustancias alcalinas para el proceso de extracción para lograr un incrementar el rendimiento de extracción de celulosa.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>, <CELULOSA>, <CACAO>, <LIGNINA>, <HIDRÓLISIS ALCALINA>.

0171-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

With the purpose of evaluating the residues of *Theobroma cacao* L shell from the "Rancho Margarita" farm as a source for obtaining cellulose through the hydrolysis method carried out an experimental research under controlled laboratory conditions. It evaluated two factors associated with the cellulose extraction method (NaOH and NaClO concentration) under different temperatures and hydrolysis times. According to their combinations obtained 9 treatments with 3 replications; taking into account the independent variables were the NaOH and NaClO concentrations and the dependent variables were the yield and purity of cellulose. For the statistical analysis of the data, the ANOVA and Tukey tests were applied whose results indicate that the raw material (*Theobroma cacao*), in comparison with other agro-industrial wastes could become a suitable source for obtaining cellulose derivatives. In the treatment 7 (acid hydrolysis H₂SO₄ at 0.4% for 60min at 60°C, alkaline hydrolysis at 5% NaOH for 120 min at 60°C, and bleaching with NaClO 5% for 300 min at 25°C) being the most efficient extractive parameters achieved at laboratory level which allow a higher yield in obtaining cellulose, besides an increase in pH during the alkaline extraction process, and an increase in the extraction of lignin content achieving higher cellulose purity. It is recommended the evaluation of another substance such as: hydrochloric acid for acid pretreatment in the extraction process in order to increase the yield and purity about a final product, as well as to evaluate the use of other alkaline substances for the extraction process to achieve an increase in cellulose extraction yield.

Keywords: BIOTECHNOLOGY, ENVIRONMENTAL POLLUTION, CELLULOSE, COCOA, LIGNIN, ALKALINE HYDROLYSIS.



By: Mauricio Martínez P
0602902504

INTRODUCCIÓN

El cacao es uno de los cultivos más importantes de las regiones tropicales, su importancia obedece a su alto valor como producto alimenticio, este es un cultivo que se adapta muy bien a condiciones de alta precipitación y temperatura, siendo los principales productores de la región Brasil, Colombia, Ecuador y Venezuela, donde además presenta la ventaja de poseer una alta calidad, por lo que el cacao de estos países es altamente demandado por la agroindustria de chocolates a nivel mundial (Cruz & Cañas, 2018, p. 18).

Según datos de la Organización Internacional del Cacao, Ecuador es el primer productor de cacao fino de aroma a nivel mundial, pues satisface el 60% de la demanda internacional de este producto. En 2015, Ecuador cultivó 264 mil toneladas métricas de cacao y logró ventas por 800 millones de dólares (Washington et al., 2016, p. 43). En Morona Santiago existe un total de 874 hectáreas de café que han sido implementadas y 925 hectáreas de cacao se encuentran establecidas en varios cantones de esta provincia amazónica (Ministerio de Agricultura, Ganadería, 2016).

Por otro lado, este cultivo requiere al igual que el café un procesamiento posterior a la cosecha que implica el secado, lavado y molienda para la obtención de los productos que serán usados posteriormente en la agroindustria (Albarracín, D. F., Laiton Daza, L. J., Caballero Yáñez, D. F., Blanco Tirado T. S., Acevedo Argüello, C., & Cervantes Díaz, 2020, p. 84), este procesamiento puede ser artesanal o altamente tecnificado, pero en ambos casos se van a generar residuos, líquidos y sólidos que son potencialmente contaminante de suelos y aguas (Zavala et al., 2021, p. 144).

Los rubros agrícolas como el cacao presentan la problemática de producir una gran cantidad de residuos en tal sentido autores como (Botero et al., 2016, p. 622) señalan que en la cadena productiva del cacao, el 70% es representado por los residuos sólidos y líquidos, entre los cuales se encuentra el mucílago, mazorca, lixiviados de la fermentación e impurezas, el problema de estos residuos es que de acuerdo a (Campos-Vega et al., 2018, p. 172) cuando los mismos son vertidos al suelo sin ningún control cambian las propiedades químicas del suelo, pudiendo contribuir a la salinización o acidificación del mismos, y desde el punto de vista fitopatológico ser una fuente de diseminación de enfermedades.

Torres Cabezas María Angélica (2019, p. 12) señala que en la cáscara de cacao se pueden obtener valores de lignina de 14,67%, de allí su alta resistencia estructural; adicionalmente se encontró que cuenta con un 33,45% de celulosa y 9,98% de hemicelulosa, convirtiéndolo en biomasa lignocelulósica, lo que lo hace muy útil para la generación de energía, por su bajo costo y su alto suministro.

Es importante señalar que no todos estos materiales representan una solución a la problemática, puesto que, debido a su estructura química, en algunos de ellos no es posible un proceso de

extracción o degradación óptimo, dado que es dicha estructura la que define la degradabilidad de un material, como sucede en la cáscara del cacao que contiene un alto contenido de lignina que dificulta la extracción de la celulosa (Herrera-Rengifo et al., 2020: p.31).

Uno de los usos más comunes es el empleo para la elaboración de abonos orgánicos (Vargas Martínez et al., 2021, p. 48), sin embargo, se ha reportado que, a partir de la cáscara del cacao, con un adecuado procesamiento químico, se puede obtener celulosa (Sabalza y Morales, 2013), cuya importancia es trascendental en otras industrias como la papelera, entonces el objetivo de esta investigación es evaluar la factibilidad de extraer celulosa a partir de los residuos de la cáscara de cacao.

El alcance de esta investigación será la de generar un protocolo basado en un método de hidrólisis el cual permitirá el tratamiento y manejo de residuos de cacao, generando una alternativa de reciclaje de los mismos, reduciendo los problemas de contaminación, cumpliendo con la legislación ambiental y generando recursos extras, lo cual será replicable a otras unidades de producción en las diferentes provincias del Ecuador.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial se pierden alrededor de 13 millones de hectáreas anualmente por la tala de árboles para extraer la celulosa la cual es la materia prima principal para la elaboración de papel el cual es un producto que debido a la importancia que posee tiene gran demanda en el mercado (Gómez et al., 2012, p.73).

La utilización de la cascará de cacao como materia prima es una alternativa en la elaboración de papel, en el Ecuador la cáscara de cacao es considerada un residuo agrícola el cual no tiene ningún valor comercial, por esta razón es desechada. Dicha cáscara representa hasta el 74-86% del peso de la mazorca y es considerada un material de difícil degradación debido a su alto contenido de lignina, este componente contiene enlaces muy fuertes que al someterse a un proceso de biodegradación natural no ceden a una fácil despolimerización.

En la actualidad se busca conseguir alternativas de materias primas que ayuden a detener el impacto ambiental que produce la sobreexplotación de este recurso, por esta razón se ha puesto a consideración a las biofibras de subproductos agrícolas como una fuente potencial para utilizarse en la obtención de celulosa que podría ayudar a la fabricación de papel.

En este contexto, en la elaboración de chocolate se utilizan las semillas de la mazorca de cacao dejando como residuos agrícolas al mucílago y la cáscara que se deposita en las plantaciones, generando en ocasiones enfermedades y proliferación de microorganismos en los cultivos. La cáscara se ha utilizado como: alimento de animales, carbón activado (Ozung et al., 2019, p.26).

Se dice que alrededor del 80% de la fruta del cacao se descarta como biomasa residual, incluidas las cáscaras de las mazorcas de cacao, las cáscaras de los granos de cacao a nivel mundial en el año 2015-2016 se obtuvieron alrededor de 16 millones de toneladas de biomasa residual del cacao (Vásquez et al., 2019, p.73).

A pesar de que actualmente la cáscara de cacao es un subproducto en la producción de chocolate, manteca, licor, etc., sin un valor comercial aun la cantidad de residuos generados es muy alta constituyendo un problema ambiental por su dificultad para el manejo en las unidades de producción. Dado que el problema que se presenta es que hacer con los residuos de cacao de tal manera de evitar la contaminación de suelos y agua; obteniendo a su vez un valor agregado al obtener ingresos por la producción de celulosa y resolver un problema global que son las emisiones de CO₂ por la deforestación por la producción de celulosa a partir de árboles, tomando en cuenta que existe una alta producción del fruto en el país y en la provincia de Morona Santiago, se ha propuesto realizar el presente trabajo de investigación para aprovechar de forma integral el

Cacao ecuatoriano el problema es conocer si los residuos de la cáscara de *Theobroma Cacao* L de la finca “Rancho Margarita” pueden ser empleados como fuente de obtención de celulosa.

Por lo tanto, el trabajo buscará aprovechar de manera eficiente los residuos de la cáscara de cacao y determinar si el proceso de hidrólisis es adecuado para la obtención de celulosa. Para lograr este fin se realizarán experimentos a escala de laboratorio, determinando las condiciones óptimas para un rendimiento eficiente de celulosa en pulpa.

Limitaciones y delimitaciones

Las limitaciones para las mediciones en laboratorio, además de la adquisición de los reactivos por sus costos, la realización de las diferentes repeticiones, involucran tiempo, el cual puede estar restringido en horario por restricciones de movilidad en el caso de existir aumentos en los casos de COVID-19 y la suspensión de clases por problemas socio económicos y días feriados.

Las muestras de cáscara de cacao se obtuvieron en una unidad de producción ubicada en la Provincia de Morona Santiago en el cantón Morona en la parroquia Macas conocida como la finca “Rancho Margarita”. La metodología utilizada será un diseño multifactorial donde se utilizaron diferentes concentraciones de NaOH y NaClO con el propósito de obtener mayor rendimiento y pureza de celulosa.

1.2 Problema general de investigación

¿Es posible que los residuos de la cáscara de *Theobroma Cacao* L de la finca “Rancho Margarita” sean empleados como fuente de obtención de celulosa mediante métodos de hidrólisis?

1.3 Problemas específicos de investigación

¿Cuáles son las características de la materia prima (*Theobroma Cacao*) que le confiere cualidades para la producción de celulosa a partir de este residuo?

¿Qué variables y parámetros extractivos se pueden mejorar para obtener un mayor rendimiento en la obtención de celulosa?

¿La celulosa extraída por hidrólisis a partir de residuos de cáscara de cacao cumple con las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y del Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI)?

Para responder cada una de estas interrogantes y resolver la problemática planteada, se formuló el siguiente objetivo general con sus respectivos objetivos específicos.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar los residuos de la cáscara de *Theobroma cacao* L de la finca “Rancho Margarita” como fuente de obtención de celulosa mediante el método de hidrólisis.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima (*Theobroma cacao*) de acuerdo a las normas del Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI).
- Determinar las variables y los parámetros extractivos más eficientes a nivel de laboratorio que permitan un mayor rendimiento en la obtención de celulosa.
- Realizar el diagnóstico del producto obtenido mediante su caracterización de acuerdo a normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y del Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI).

1.5 Justificación

1.5.1. Justificación teórica

La elaboración de celulosa a partir de biomasa residual como es la cáscara de cacao y el uso de la madera, ha ido creando discusiones sobre la necesidad de producir celulosa ya que existe una gran demanda en el ámbito industrial lo que trae un avance económico, viendo la necesidad de garantizar un equilibrio ambiental. Con esto, se ha planteado la alternativa de elaborar celulosa a partir de residuos obtenidos del cacao, la cual no tiene un buen uso final y que llegan a considerarse como desechos, lo que permite valorizar el residuo para poder convertirlo en materia prima para la fabricación de papel, cartón, entre otros materiales derivados del papel que son fabricados a partir de la celulosa.

La biomasa residual en este caso la cáscara de cacao en la actualidad no es tomado en cuenta como materia recuperable por lo que es considerado como desecho.

Por esta razón es conveniente utilizar la cáscara del cacao para la producción de celulosa ya que, según estudios, la cáscara de este fruto contiene alrededor de 33,45% de celulosa, además este residuo es difícil de degradar por su alto contenido de lignina que es de 14,67%, un componente que contiene enlaces muy fuertes que al someterse a un proceso de biodegradación natural no ceden a una fácil despolimerización (Torres Cabezas María Angélica, 2019, p. 12).

1.5.2. Justificación metodológica

La cáscara de cacao puede ser apreciada como una fuente potencial de producción de celulosa, la cual la mayoría de esta que al presente proviene de la madera. Para este fin y de alguna manera ayudar a la reducción de la contaminación por los químicos que se utilizan en la actualidad para lograr adquirir la celulosa, se toma la opción por buscar disolventes alternativos que sean ecológicos y de esta manera ayuden a la química verde y a la disminución de la contaminación ambiental, por esta razón se quiere lograr obtener un producto a partir de residuos que contribuyan a la economía de un sector, pero sobre todo generar nuevas fuentes alternas de obtención de celulosa.

La elección del método de hidrólisis ácida se realizó porque se ha comprobado que, al utilizarse la secuencia de hidrólisis ácida y alcalina, es posible mejorar esos resultados, debido a que ocurre una remoción de la hemicelulosa durante la hidrólisis ácida y la remoción de la lignina en la etapa posterior ocurre de una manera más eficiente. Con ese proceso, las fracciones de hemicelulosa, lignina y otros compuestos pueden ser removidas en valores >95%, estos resultados han sido exitoso combinando H_2SO_4 como agente ácido e NaOH o NaClO, sin embargo, esta eficiencia no solo depende estos reactivos sino en las proporciones en que se combinen y de la materia prima de donde se vaya a extraer la celulosa, pero la metodología aún no se ajusta de manera óptima para la extracción efectiva a partir de residuos de cáscara de cacao.

1.5.3. Justificación práctica

Actualmente la cáscara de cacao es un subproducto en la producción de chocolate, manteca, licor, etc., sin un valor comercial, el cual genera contaminación. Por lo tanto, el trabajo buscará aprovechar de manera eficiente los residuos de la cáscara de cacao y determinar si el proceso de hidrólisis es adecuado para la obtención de celulosa, lo cual permitirá la fuente de una producción económica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Bases teóricas

2.1.1. *Cacao (Theobroma cacao)*

Origen

Aunque se sabe que el cacao es originario de América, aún no se ha podido identificar su lugar puntual de precedencia ni su distribución. Muchos autores indican que el cultivo de cacao es originario de México y América Central y que cuando los españoles no lo reportan cultivado en América del Sur, pero si creciendo en forma natural en muchos bosques a lo largo de los ríos Amazonas y Orinoco y sus afluentes (Ramírez, 2015, p. 72).

Descripción botánica

El árbol de cacao puede alcanzar hasta 8 m, su sistema radicular es principalmente pivotante, pero también posee a la vez raíces primarias y secundarias que crecen horizontalmente. Las plantas reproducidas de manera sexual desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a los 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel, donde emergen de 3 a 5 ramas laterales, este conjunto de ramas se le llama horqueta (Hernández, 2012, p. 6).

Las hojas adultas del cacao presentan un color verde, de lámina simple y entera, su forma va desde lanceoladas a casi ovaladas, poseen una nervadura pinnada y por ambas superficies es glabra. Las hojas jóvenes son muy delicadas por lo que son fácilmente dañadas por insectos o por el viento.

La flor del cacao es hermafrodita, de polinización estrictamente entomófila, la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde y en horas de la mañana del día siguiente ya está abierta en su totalidad (Hernández, 2012, p. 7).

El fruto es conocido botánicamente como una drupa; pero también se le conoce como mazorca. El tamaño y la forma dependen en gran medida de las características genéticas de la planta, el medio ambiente, así como el manejo de la plantación (Hernández, 2012, p. 7).

Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la planta se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Clasificación Taxonómica del cacao

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Subfamilia	Byttnerioideae
Tribu	Theobromeae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>Theobroma cacao</i> L

Fuente: (Mendoza-López et al., 2021, p. 170)

Requerimientos edafoclimáticos

Las condiciones climáticas que afectan el óptimo desarrollo del cacao son principalmente la temperatura y la lluvia; no siendo menos el efecto del viento fuerte, la luz, radiación solar y la humedad relativa. Se adapta muy bien desde 0 msnm hasta los 800 msnm.

El mejor desarrollo del cacao se manifiesta en temperaturas promedio anuales de 21°C. Las temperaturas muy altas o bajas pueden llegar a producir alteraciones fisiológicas en el árbol. La temperatura ejerce su efecto en la formación de las flores.

En cuanto a la precipitación el cacao es muy sensible a la escasez de agua, así como su exceso la precipitación debe de ser de 1,500 a 2,500 mm al año. Los suelos deben estar provistos de prácticas que favorezcan la evacuación del exceso de agua

2.1.2. Cacao en Ecuador

Ecuador según muestras los datos de diversos entes nacionales e internacionales, es considerado uno de los mayores productores de cacao a nivel mundial, lo que ha demostrado ser una oportunidad para que la agenda territorial sea reorganizada con miras a sacar provecho de la productividad y enfocarse en apoyar a sectores relacionados con el sector cacaotero (León-Serrano et al., 2020, p. 105).

La conjunción de esfuerzos entre entes públicos y privados en el sector del cacao ha tenido efectos positivos en el desempeño de la producción de cacao en los últimos años, llevando al Ecuador a ocupar el cuarto lugar como productor de cacao a nivel mundial, en base a la producción de dos variedades de cacao, la CNN-51 o Don Homero y el Cacao Nacional o Cacao Arriba-Aroma Fino, contando con certificaciones para su exportación, y dos asociaciones privadas Anecacao y

Aprocafa que, conjuntamente con los Ministerios y la aduana colaboran en la correcta exportación del producto y sus derivados (CFN, 2020, p. 29) donde Ecuador es el mayor proveedor de cacao fino a nivel mundial al participar con una oferta de 60 a 70 mil toneladas anuales, en el año 2020 a pesar de la pandemia se lograron exportar 75 mil toneladas; según la Asociación Nacional de Exportadores de Ecuador (2021).

Según datos proporcionados por el MAG para el año 2020, las provincias de la Región Costa, por la condición que presenta el cacao de cultivo tropical, son las que encabezan la producción en el Ecuador, donde Guayas abarcó el 31,44% de la producción nacional de cacao y la Provincia de Los Ríos el 28,49%, siendo las mayores provincias productoras y las que presentan un mayor rendimiento. En la siguiente tabla se presenta el panorama nacional en relación a las regiones productoras para el año 2019 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021, p. 4).

Tabla 2-2: Cultivo de cacao en Ecuador por región. año 2020

Provincia	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (Tm/ha)	Porcentaje Nacional
Guayas	108.971	109.762	1,01	31,44%
Los Ríos	124.457	121.117	0,97	28,49%
Manabí	102.102	63.438	0,62	16,47%
Esmeraldas	63.447	32.561	0,51	8,45
Resto de Provincias	128.371	58.330	0,45	15,14%
Totales	527.347	385.209	0,73	100%

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021, p. 4)

Los datos de producción para la provincia de Morona Santiago para el año 2020 presentados por el (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021, p. 2) indican una superficie cosechada de 1.563 ha, con una producción de 212 toneladas para un rendimiento muy bajo de 0,14 Tm/ha. El incremento en la producción de cacao en el país conlleva paralelamente un incremento de los residuos generados desde la etapa de siembra hasta la cosecha.

2.1.3. *Residuos del cacao en Ecuador*

En la figura 1-2 se puede observar los residuos de cáscara de cacao en las principales provincias y regiones productoras del Ecuador (Sigüencia et al., 2020: p.8), se observa que la región costa es la que mayor aporte hace con el 87 % de los residuos totales aproximadamente.

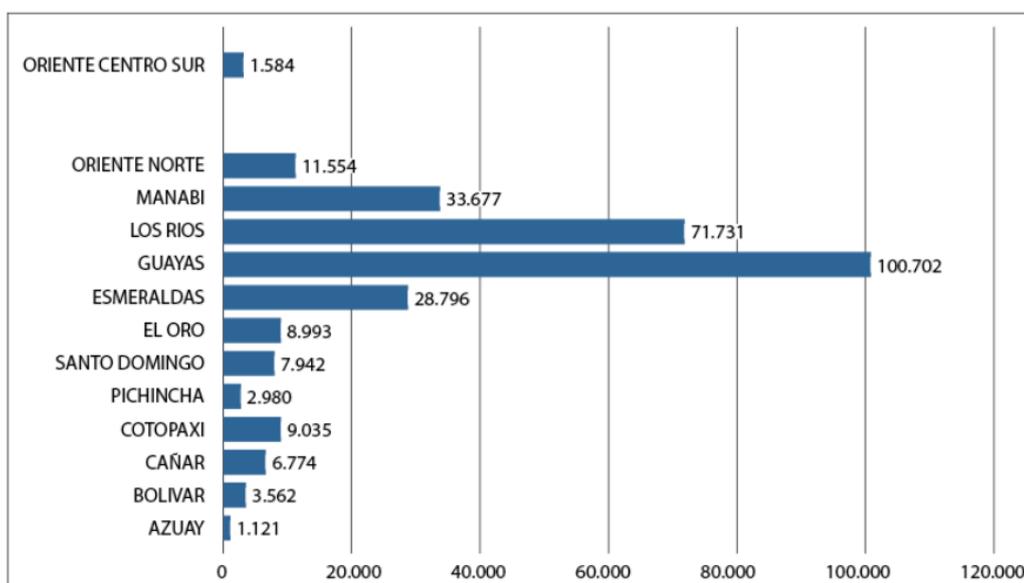


Figura 1-2: Residuos de cáscara de cacao (t/año) en las principales provincias y regiones productoras

Fuente: Sigüencia et al. (2020)

2.1.4. Impacto ambiental de la generación de residuos

Vargas et al. (2021, p. 149), señalan es necesario realizar un buen manejo de biomasa y residuos inertes, producto de los desechos del cultivo tales como restos de cosechas y maleza, la cual en su mayoría debería ser utilizada como abonado verde, en la producción de fertilizantes orgánicos y abonado de los terrenos. Por su parte, las excretas son tratadas a través de un pozo séptico, se debe evitar dejarlas expuestas al aire libre o desecharlas hacia una fuente hídrica, debido a que puede ocasionar contaminación de las fuentes de agua, incluso subterráneas. Los residuos inertes como plásticos y son reciclados en su mayoría, lo cual es positivo.

2.1.5. Importancia del uso de residuos de cacao

Los granos del cacao son la materia prima con la que se fabrica el chocolate y se obtienen de las semillas crudas sin la carne del árbol del cacao, los residuos producto de su procesamiento agroindustrial pueden servir de base para la elaboración de productos novedosos; entre los que se encuentra la cascarilla o endocarpio, también el mucílago y mazorca añade (Ávila et al., 2018: p. 98). El sector agroindustrial ecuatoriano genera varios tipos de residuos que son útiles dada su composición y posibilidad de procesamiento que son susceptibles de darles valor agregado, la mayoría contienen almidón o compuesto de lignocelulosas que, al aplicarse transformaciones físicas, químicas o biotecnológicas, pueden emplearse como materia prima, material de relleno o precursor de los bioplásticos (Riera et al., 2018, p. 227).

Siguencia et al. (2020, p. 6) estimaron que se puede realizar la producción de bioetanol a partir de la cáscara de cacao, los autores se apoyaron en un modelo cinético simplificado de la hidrólisis de esta biomasa residual, lo cual pueden abrir un sinnúmero de oportunidades, al combinar altos potenciales de producción de bioetanol con altos niveles de demanda. A pesar de esto los autores concluyen que en Ecuador existen muy pocos estudios referentes al aprovechamiento de los residuos del cacao.

Por otra parte, Lara et al. (2016, p. 113) indican que los residuos provenientes de la agroindustria cacaotera pueden ser utilizados satisfactoriamente en la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales, dichos metales tienen un gran impacto sobre la vida acuática y la salud humana, puesto que pueden llegar a causar problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, hipertensión, alteración del material genético, cáncer, alteraciones neurológicas e incluso la muerte.

2.1.6. Cáscara de Cacao

La cáscara de cacao representa un residuo de biomasa generado en el cultivo de cacao, que corresponde al 90% del fruto siendo el principal desecho derivado de la cosecha, representando el 74% del peso del fruto fresco (Calderón, 2020, p. 8). Su composición es orgánica y renovable, compuesta mayormente por agua, celulosa y lignina, y su proceso de biodegradación tal como señala (Torres, 2016, p. 19) es lento lo que causa efectos en el equilibrio de su ciclo natural, problemas de índole sanitarios, dispendio de un recurso potencial y causante de proliferación de insectos vectores de enfermedades.

La mayoría de los residuos orgánicos, incluida la cáscara de cacao, presentan una serie de propiedades biológicas, que según señalan (Herrera Rengifo et al., 2020, p. 25), se pueden clasificar de la siguiente manera: constituyentes solubles en agua, hemicelulosa, celulosa, grasas (se incluyen aceites y ceras), lignina, lignocelulosa y proteínas.

La cáscara, como se ha mencionado, representa alrededor de 90% de la biomasa del fruto fresco del cacao, y como indica (Castillo et al., 2018, p. 155), de la misma es posible harinas cuya constitución poseen un bajo de grasas, alto contenido en fibras y compuestos fenólicos, y el reconocimiento de los componentes fisiológicos, químicos y morfológicos en las cáscaras de los frutos de cacao se ha convertido en un área de investigación en crecimiento, abarcando tópicos de diversas índoles.

En relación a los principales componentes químicos de la cáscara de cacao (Vásquez et al., 2019, p. 2); (Encalada, 2018, p. 9), indican que la celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas son los más relevantes en las proporciones que se muestran en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Composición química de la cáscara de la cáscara de cacao

Componente	Valor % (1)	Valor% (2)
Celulosa	24.24 – 35	25.50 – 31.70
Hemicelulosa	8.72 – 11	5.35 – 7.85
Lignina	14.6 – 26.38	23.29 – 28.32
Cenizas	6.7 – 10.02	7.36 – 8.33

Fuente: Elaboración propia en base a (1) cacao (Vásquez et al., 2019, p. 2) y (2) (Encalada 2018, p. 9)

2.1.6.1. Fibras lignocelulósicas de residuos agrícolas

Dentro de la naturaleza encontramos que la biomasa lignocelulósica es la más abundante ya que se encuentra presente en la madera dura, madera suave, residuos agroindustriales y vegetación. A nivel mundial se producen anualmente más de 220 billones de toneladas de residuos lignocelulósicos lo que es equivalentes a 60-80 billones de toneladas de crudo. La lignocelulosa está compuesta fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Doherty et al., 2011, p. 259). De los materiales lignocelulósicos, celulosa y hemicelulosa, es posible obtener furfural, xilosas, glucosa, derivados de celulosa, pulpa, combustibles, etc. Y a partir de las ligninas se obtiene vainillina, dimetilsulfuro, fenoles, matrices para geles, fertilizantes, usado para la producción de diversos polímeros, entre otros (Álvarez-Castillo et al., 2012, p. 142).

Modificando y mejorando ciertas propiedades físico-mecánicas es posible incorporar las fibras lignocelulósicas en la estructura de polímeros como las espumas de poliuretano, reduciendo de una manera significativa los costos del polímero. Adicionalmente, se reduce el impacto ambiental generado al sustituir parcialmente compuestos que son derivados del petróleo (Cárdenas et al., 2012, p. 93).

2.1.6.2. Celulosa obtenida de residuos agrícolas

Es un homopolímero de cadena lineal formado por unidades de D-glucopiranosas, con enlaces β -1, 4 glicosídico. Siendo el principal componente de la pared celular de las plantas representando generalmente un 35 o 50%. Su porcentaje puede variar de acuerdo al tipo de planta (Franco et al., 2009, p. 285).

La celulosa contiene elementos como: Carbono, Hidrógeno y Oxígeno dando lugar a la fórmula química $(C_6H_{10}O_5)_n$, (Moon et al., 2011: p. 3943), siendo n el grado de polimerización, que indica las unidades de glucosa en el polímero

- Alfa celulosa: es la fracción insoluble al someter la materia prima en una solución diluida de hidróxido de sodio, que es filtrada, lavada, secada y pesada. La determinación de este compuesto proporciona la calidad en la estructura del papel, e indica la cantidad de celulosa verdadera presente en la pulpa (Valdivieso, 2020, p. 9).

- Hemicelulosa: una de las fracciones solubles, localizada en la pared celular asociada con la celulosa, formada en su estructura interna por pentosas y hexosas distintas de la glucosa, enlazadas entre sí con un grado de polimerización de 100 a 200 La hemicelulosa está constituida por beta y gama celulosa (Valdivieso, 2020, p. 9).
- Beta celulosa: es la sustancia que se precipita al acidular el filtrado que queda después de hacer la determinación de alfa celulosa, presentando grado de polimerización entre 15-200.
- Gama celulosa: fracción soluble que queda en la solución, es decir, representa la sustancia que queda disuelta en el filtrado sobrante de la determinación de beta celulosa, Consiste primordialmente en hemicelulosa y tiene grado de polimerización inferior a 15 (Valdivieso, 2020, p. 9).

Los procesos utilizados para la obtención de celulosa en fibras no madereras se dividen en: mecánicos, hidrotérmicos, químicos o combinados. Por otro lado, el proceso de pulpado es en donde se separa la celulosa de la lignina para aumentar el rendimiento de la materia prima. El papel está constituido por fibras celulósicas de allí la importancia de separar la celulosa de la lignina. Las fibras celulósicas se reorganizan y se distribuyen aleatoriamente en una estructura en forma de lámina (Sridach, 2010, p. 106). Del contenido de celulosa depende la resistencia a la tracción dependen directamente del contenido de celulosa (Ververis, 2004, p. 246).

2.1.6.3. Hidrólisis de la celulosa

La celulosa, al presentar regiones amorfas en las fibras elementales, facilitan la penetración de reactivos químicos, y por tanto mayor reactividad en cuanto a hidrólisis, haciendo más sencillo romper los enlaces glucosídicos permitiendo la liberación de los cristales individuales (Morales De La Rosa, 2015, p. 45). Dentro de los tratamientos químicos que se emplean se tienen la hidrólisis ácida y la hidrólisis alcalina, el mismo autor señala:

Hidrólisis Ácida: son utilizados ácidos como H_3PO_4 , H_2SO_4 y HCl para tratar materiales lignocelulósicos, en condiciones de concentración y temperatura variables, y a partir de este proceso se obtiene una fracción líquida, y otra sólida conformada primordialmente de celulosa y lignina. Este tratamiento es eficaz en la disolución de la hemicelulosa, no obstante, no lo es tanto en la eliminación de la lignina.

Hidrólisis Alcalina: tratamiento capaz de separar la hemicelulosa como la lignina, para lo cual se emplean usualmente como reactivos $NaOH$, NH_3 , CaO y $Ca(OH)_2$, no requiriendo de altas temperaturas, pero si generalmente de períodos de tiempo mayores que en el caso anterior. Básicamente este tratamiento altera la estructura de la lignina, provocando de la cristalinidad de la celulosa y solvatación parcial de la hemicelulosa.

2.2 Bases conceptuales

2.2.1. Cacao

El cacao es una planta perenne de porte bajo originaria de América, de aproximadamente 6 metros de alto con ramas esparcidas y que muestran dimorfismo. Su morfología, tal y como indica (Arvelo Sánchez et al., 2017, p. 16) se caracteriza por presentar ramificación con hojas simples con presencia de inflorescencia, cuyo fruto grande se conoce como mazorca, el cual es polimorfo, esférico o fusiforme entre 10-35 cm de longitud y aproximadamente 7 cm de ancho, con peso entre 200-1000 g, y cuyo endocarpio tiene un grosor de entre 4-8 mm, presentando semillas de color café o rojizo recubiertas por un mucilago (pulpa).

El cacao tiene un 25-52 % de celulosa cuya importancia es vital dado que al extraerle permitirá ser usada para la fabricación de papel evitando así la utilización de una importante masa arbórea lo cual ocurren los problemas de deforestación y a su vez contribuirá a mantener las masas de bosques aumentando el secuestro del carbono y con ello disminuyendo las emisiones de CO₂ a la atmósfera lo cual reducirá el calentamiento global y con ello el cambio climático, que es uno de los principales problemas ambientales.

El aprovechamiento de los residuos al darle un valor agregado una diferente de contaminación de desechos sólidos en las áreas aledaña a los predios agrícolas que es una fuente de potenciales contaminantes tanto del suelo del agua, en especial cuando parte de estos residuos agrícolas pueden contener resto de agroquímicos, que pueden ser conducido a los acuíferos y causar graves problemas de salud pública.

2.2.2. Celulosa

Se conoce con el nombre de celulosa al material (fibras blancas) obtenidas cuando el material vegetal es sometido a diversos tratamientos de purificación a través de los cuales se logra extraer casi en su totalidad los demás componentes de ese material vegetal, particularmente la lignina (Suárez, 2016, p. 7), es un polímero natural de cadena lineal formado por unidades de D-glucopiranosas, cuya estructura base presenta enlaces β -1, 4 glicosídico, siendo el principal componente de la pared celular de las plantas (entre 30-50%), con estructura semi cristalina variables en función de la fuente de la cual es aislada. a (Gañán Rojo et al., 2018, p. 1), este es un polisacárido que contiene Carbono, Hidrógeno y Oxígeno con fórmula química (C₆H₁₀O₅), siendo el más abundante de todos los compuestos orgánicos (Torres Cabezas María Angélica, 2019, p. 12), siendo posible obtener distintas morfologías y estructuras supramoleculares lo que conlleva por tanto a distintas propiedades físicas y mecánicas.

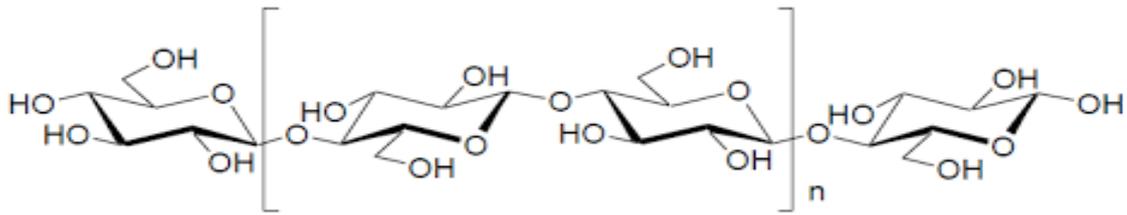


Figura 2-2: Estructura química de la celulosa

Fuente:(Siqueira et al., 2010, p. 731)

2.2.3. *Biomasa lignocelulósica*

La biomasa lignocelulósica hace referencia al material vegetal que está compuesto por lignina, hemicelulosa y celulosa, compuestos que se encuentran presentes en la pared celular de las plantas. Morales De La Rosa (2015, p. 45) indica que la biomasa lignocelulósica de origen vegetal, la conforman tejidos de los vegetales los cuales presentan células con pared celular constituida a su vez por un entramado de microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina, siendo que es esta (pared celular) la que da sostén a la estructura de las plantas para la captación de la luz solar (radiación, importante en los procesos fotosintéticos), resistencia mecánica y resistencia a patógenos. Esta complejidad es lo que hace que necesiten de métodos de tratamiento (fraccionamiento) para acceder a sus componentes, a pesar de lo cual, ninguno de estos métodos logra el aislamiento absoluto de dichos componentes sin producir algún tipo de modificación o degradación así sea en una mínima parte. Adicional a estos tres componentes mayoritarios, la biomasa lignocelulósica presenta otros componentes minoritarios que en los análisis químicos son estimados como cenizas, y entre los cuales se encuentran las proteínas, lípidos, azúcares solubles y minerales.

2.2.4. *Estudios de laboratorio*

En el marco del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, López, Rúa & Tamayo Alzate, (2012, p. 147) plantean que los estudios de laboratorio como actividad experimental representan uno de los aspectos más relevantes, tanto en el ámbito de la fundamentación teórica como en el desarrollo de habilidades y destrezas a nivel experimental y de habilidades del pensamiento.

La importancia de estos estudios es que previo a la extracción de la celulosa proveniente de la cáscara de cacao se debe optimizar los procesos en primer lugar seleccionar el procedimiento de extracción más adecuado de tal manera determinar el proceso y extraer la mayor cantidad de celulosa, además de que la misma sea de alta calidad para ser usada como materia para este proceso también incluye el estudio de factibilidad de manera de conocer la capacidad de llevar a otras dimensiones el proceso de extracción y no de manera exclusivamente experimental para lo cual se realiza el escalado.

El cambio de escala es por sí solo un proceso complejo debido a la interacción de los múltiples factores que afectan la reología o comportamiento del sistema. Se generan problemas como cambios en los tiempos de respuesta del proceso, aparición de comportamientos cinéticos no contemplados (subproductos) y poca especificación del flujo de fluidos (González Castellanos, 2000: p.14). De modo general esto se puede ver como la aparición de fenómenos no considerados en la baja escala debido a que no presentan un efecto significativo sobre el sistema como lo puede ser en grandes volúmenes donde hay una notoria interacción de los fenómenos de transferencia de masa, calor y de cantidad de movimiento (Ruiz y Álvarez, 2011: p. 34).

Según (Tapia et al., 2020, p. 38) los estudios y el trabajo de laboratorio a nivel de la ingeniería, cualquiera sea la rama, favorece y promueve el aprendizaje de las actividades científicas, permitiendo a quienes los llevan a cabo cuestionar sus saberes y cotejarlos con la realidad, poniendo en juego y evaluando los conocimientos previos los cuales son verificados mediante la práctica, siendo por tanto un instrumento que promueve los propósitos conceptuales, procedimentales y actitudinales, además, como señalan (López, Rua & Tamayo Alzate, 2012, p. 147) estos estudios a nivel de laboratorio posibilitan entender el proceso de construcción del conocimiento de la comunidad científica, y los valores que mueven a la ciencia.

El método más utilizado para hacer escalado se basa en la selección del factor o factores más importantes del proceso, es decir, mediante el conocimiento del sistema se determina la etapa controlante y, sobre esta, se aplican relaciones de carácter empírico, para conocer su magnitud en el proceso a gran escala, en este caso se evaluó el tipo de hidrolisis de la cáscara de almidón el cual combina factores como la concentración de las sustancias usadas para la extracción.

2.2.5. Hidrolisis

Aunque se ha reportado que muchos de los residuos que se producen en la agricultura pueden ser aprovechado, dado que son compuestos complejos requieren de mecanismos para su extracción que busca la ruptura de los enlaces, uno de estos mecanismos es la hidrolisis, la cual se entiende como reacción química en la que el agua actúa sobre otra sustancia para formar una o más sustancias enteramente nuevas (Peralta, 2021, p. 59).

2.2.6. Extracción de celulosa

En el caso de la mazorca de cacao, el interés del tratamiento de residuos de la mazorca es la extracción de la celulosa, la cual es una materia prima, la cual puede ser usada en otras actividades industriales, la extracción de la celulosa consiste de acuerdo a Jiménez-Muñoz et al. (2017, p. 253) en procesos químico termo mecánico donde se utilizan algunos químicos como NaOH (hidrolisis alcalina) o NaHSO_3 (hidrolisis acida, con el objetivo de degradar las sustancias original, para

separar la celulosa, obteniendo rendimiento que entre 88 a 95 %, los cuales se describen a continuación.

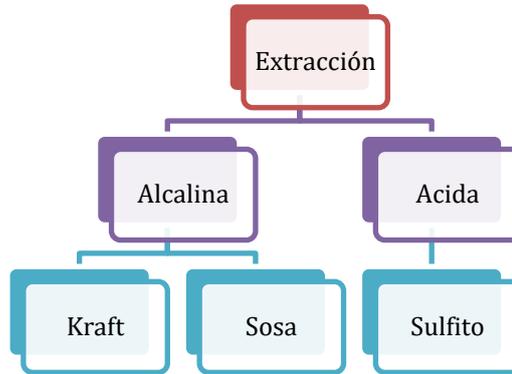


Figura 3-2: Procedimiento para la extracción de la celulosa

Fuente: (Castells, 2012, p. 253)

Proceso Kraft: es un proceso alcalino donde se utiliza hidróxido de sodio NaOH y sulfuro de sodio Na₂S. La temperatura de operación es de 175°C durante un tiempo que va de 2 a 5 horas (Castells, 2012, p. 253).

Proceso a la sosa: proceso alcalino en el que se utiliza hidróxido de sodio NaOH, se usa una solución al 12% durante 5h a 160°C para obtener pulpas de paja. En el caso de tallos de canola y paja de colza se ha utilizado la solución alcalina de 14% al 23% de 160 a 180°C, con una relación de licor- materia prima de 4:1 a 8:1 (Potucek et al., 2014, p. 684).

Proceso al Sulfito: es un proceso ácido que produce un menor rendimiento que el proceso Kraft, la madera es tratada con bisulfito de magnesio y exceso de dióxido de azufre aproximadamente a una temperatura de 175°C y durante 6 a 12 horas. Se elimina un mayor porcentaje de lignina (Holtzaple, 2003, p. 3060).

Para esta investigación se empleó una primera hidrólisis con el método sulfito, posteriormente se aplicó tras un proceso de lavado, filtrado y secado una hidrólisis con sosa cáustica, con el objetivo de garantizar un mejor rendimiento del proceso.

CAPÍTULO III:

3 METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de la investigación

La investigación fue experimental dado que se obtuvo información de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo, que en este caso es la evaluación del método de extracción para la obtención de celulosa a partir de la cáscara de cacao, el diseño fue completamente al azar, dado que se realizó en condiciones de laboratorio donde todas las variables estuvieron controladas por el investigador. Para llevar a cabo la investigación se utilizó un diseño multifactorial con dos factores para llevar a cabo las pruebas de laboratorio, lo que permitirá escoger las variables y parámetros para la elaboración del proceso industrial de acuerdo con el procedimiento que obtenga un mayor rendimiento y pureza de celulosa microcristalina.

3.1.1. *Método de investigación*

La metodología de investigación empleada en este estudio se maneja bajo el fundamento de una investigación cuantitativa, en este tipo de proyectos el propósito principal es alcanzar conocimientos y seleccionar un esquema que facilite aprender acerca de la realidad desde una perspectiva imparcial, esto gracias a que se recopilan y estudian datos mediante conceptos y variables medibles. Bajo este modelo se implementan herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para la obtención y análisis de resultados, busca cuantificar el problema y entender su comportamiento mediante muestras con resultados representativos de una población. Este tipo de estudios están dirigidos a la comprobación deductiva de los planteamientos de la investigación, todo ello a través del diseño de hipótesis que se evalúan mediante la cuantificación de variables y sus relaciones con lo cual se acepta o refuta dichas hipótesis (Alan Neil & Cortéz Suárez, 2018).

3.1.2. *Enfoque de investigación*

En esta investigación utilizaremos un enfoque mixto el cual nos servirá para determinar las variables como el pH, temperatura, etc. Por la determinación de los parámetros físicoquímicos de caracterización de la materia vegetal *Theobroma cacao L* y del producto final.

3.2 Identificación de las variables

Para el estudio se consideraron dos variables las dependientes las cuales son las que permiten identificar los cambios producto de la modificación de la variable independiente que constituye el eje central del problema que se está investigando.

3.2.1 Variable dependiente

Las variables dependientes son aquellas que cambian dependiendo del método de extracción de celulosa en este caso de la concentración de NaOH y NaClO, siendo las variables dependientes: Rendimiento de celulosa y la pureza de celulosa.

3.2.2 Variable independiente

La variable independiente es el método de extracción, el cual es modificado por el investigador variando para la hidrólisis alcalina las concentraciones de NaOH y en el blanqueamiento el NaClO.

3.3 Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo experimental dado que la variable es controlada en laboratorio y se evaluaron dos factores asociados al método de extracción como son la concentración de NaOH y NaClO, temperatura y tiempo de hidrólisis lo cual permitió de acuerdo a las combinaciones que se describirán posteriormente tener 9 tratamientos con 3 repeticiones para cada tratamiento, los cuales se enumeraron desde el T1 al T9, con tres replicadas cada uno.

Tabla 1-3: Combinaciones de tratamientos

T1 ₁	T2 ₁	T3 ₁	T4 ₁	T5 ₁	T6 ₁	T7 ₁	T8 ₁	T9 ₁
T1 ₂	T2 ₂	T3 ₂	T4 ₂	T5 ₂	T6 ₂	T7 ₂	T8 ₂	T9 ₂
T1 ₃	T2 ₃	T3 ₃	T4 ₃	T5 ₃	T6 ₃	T7 ₃	T8 ₃	T9 ₃

Fuente: Moscoso (2022)

3.4 Población de estudio

La población de estudio es limitada, constituida por residuos de la cáscara de la especie *Theobroma cacao* del clon cacao nacional, familia *Malvaceae*, ubicada en la ciudad de Macas, provincia de Morona Santiago, en el barrio Lenin Moreno en la finca “Rancho Margarita”, en donde existe alrededor de 300 m² de plantación.

3.4.1 Ubicación de la zona de estudio

Las muestras de cacao fueron obtenidas en una unidad de producción ubicada en la Provincia de Morona Santiago en el cantón Morona en la parroquia Macas en el barrio Lenin Moreno, la cual

se conoce como la finca “Rancho Margarita” que se encuentra a unos 10 minutos de la ciudad es ahí donde existe la especie de estudio, cuya localización se observa en la ilustración 1-3.



Figura 1-3: Ubicación del área de estudio

Fuente: Google maps

3.4.2. Condiciones edafo-climatológicas

De acuerdo a (INIAP, 2016, p. 16) la provincia de Morona-Santiago es una región que se caracteriza por tener un clima húmedo tropical, a causa de una alta precipitación durante todo el año, su temperatura media anual es de 22 °C y con una humedad relativa del 91 %. En el área de estudio se Observándose una disminución de la temperatura en 0,1 °C aproximadamente por cada 100 m de incremento en altitud. Esto responde a varios factores como son: topografía, altitud, hora del día y época del año. Es en los meses entre septiembre y febrero que se presenta las mayores temperaturas.

Con relación a los suelos característicos del territorio amazónico, estos se caracterizan por ser suelos aluminio-ferrosos, con problemas de drenaje, escaso contenido de calcio y nitrógeno y muy baja capacidad de intercambio de cationes (CIC). En cuanto a su clasificación taxonómica son suelos pertenecen al orden Inceptisol, suborden Andept, gran grupo: Hydrandept y Dystrandept, encontrándose en un menor porcentaje suelos del orden Mollisol, suborden Ustoll, gran grupo Durustol, ambos ordenes de suelo son ideales para la producción de cacao dado que los molisoles y andisoles son suelos de una alta fertilidad, pudiendo suministrar los requerimientos de nutrientes requeridos en el cultivo, o que potencia su producción, dado que se encuentra en condiciones climáticas ideales para su producción en función de los datos de precipitación y temperatura de la zona.

3.5 Unidad de análisis

La unidad de análisis será la cascará de cacao la cual consiste en una muestra de 10 kilos, que fue dividida en porciones para el procedimiento de extracción teniendo en total 27 unidades experimentales de 370 gramos cada unidad que representa a 9 tratamiento, replicados cada uno en 3 ocasiones.

3.6 Tamaño de la muestra

La recolección de las mazorcas se realizó alrededor de cada 21 días generándose residuos de cáscara, se opta que el tipo de muestra sea al azar y manera sistemática, el tamaño referencial para el estudio de investigación se realizará con 10 kilos de muestra en este caso la cáscara de cacao, el investigador tomará en consideración áreas donde las cáscara presenten similares características, madurez y en cuanto a su calidad, que no presente manchas, arañazos, ni afectaciones por algún tipo de enfermedad o insecto.

3.6.1. Técnica y recolección de datos

Los datos serán obtenidos del análisis químicos y tabulados en hojas de Excel la cual se emplea para el respectivo análisis de varianza mediante el uso del paquete estadístico SPSS y en caso de encontrar diferencias significativas se realizarán pruebas de comparación de media de Tukey, usando un valor de probabilidad de $P > 0,05$.

3.7 Diseño experimental

Para esta investigación utilizaremos un diseño experimental multifactorial donde se varió la concentración de NaOH y NaClO, para la realización de las pruebas laboratorio, lo que permitirá optimizar el procedimiento que en donde se obtenga un mayor rendimiento y pureza de celulosa. El modelo estadístico que sigue este diseño experimental se detalla a continuación Repeticiones=3; Número de tratamientos= 9, con un nivel de significancia (5 %).

Tabla 2-3: Esquema de diseño experimental

TRATAMIENTOS	Concentración de H_2SO_4 (%) $T= 60^{\circ}C$ $t:60 \text{ min}$	Concentración NaOH (%) $T= 60^{\circ}C$ $t: 120\text{min}$	Concentración de NaClO (%) $T=25^{\circ}C$ $t=300 \text{ min}$	
1	1	0.4	10	1
	2	0.4	10	1
	3	0.4	10	1
2	1	0.4	20	1
	2	0.4	20	1
	3	0.4	20	1
3	1	0.4	10	5
	2	0.4	10	5
	3	0.4	10	5
4	1	0.4	20	2
	2	0.4	20	2
	3	0.4	20	2

5	1	0.4	10	2
	2	0.4	10	2
	3	0.4	10	2
6	1	0.4	20	5
	2	0.4	20	5
	3	0.4	20	5
7	1	0.4	5	5
	2	0.4	5	5
	3	0.4	5	5
8	1	0.4	5	1
	2	0.4	5	1
	3	0.4	5	1
9	1	0.4	5	2
	2	0.4	5	2
	3	0.4	5	2

3.8 Procedimiento experimental

3.8.1. Materiales

Los materiales requeridos para realizar el proceso de extracción de celulosa se describen en la tabla 3-3, la cual se presenta a continuación.

Tabla 3-3: Materiales disponibles y requeridos para realizar proceso de extracción de celulosa

REACTIVOS			
Código	Laboratorio	Contiene	Cantidad
31246-81	Química General	Agua destilada 5L	1
31828-70	Química General	Ácido sulfúrico 10%, técnico, 1000mL	1
30157-50	Química General	Hidróxido sódico, pellets, 500g	1
MATERIALES			
Código	Laboratorio	Contiene	Cantidad
46299-01	Química General	Barra magnética de agitación 15mm	1
46299-02	Química General	Barra magnética de agitación 30mm	2
46299-03	Química General	Barra magnética de agitación 50mm	1

45019-25	Química General	Platos de pesaje 84 x 84 x 24mm 25 piezas	1
46027-00	Química General	Vaso de vidrio DURAN de 250mL	1
32604-00	Química General	Mortero de porcelana	1
34126-00	Química General	Desecador de 150mm de diámetro	1
33393-00	Química General	Cuchara de acero	1
33398-00	Química General	Cuchara de acero especial	1
39315-00	Química General	Gafas protectoras	1
EQUIPOS			
Código	Laboratorio	Contiene	Cantidad
49294-99	Química General	Balanza de precisión Sartorius ENTRIS623-1S, 620g/0,001g	1
49559-93	Química General	Horno universal, 32 litros, 220°C, 230V	1
22632799	Química	Medidor de pH: 700pHmetro de mesa	1

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.8.2. Caracterización de la materia prima

Para caracterizar la materia prima (*Theobroma cacao*) se siguieron las las normas del Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI), las cuales se describen a continuación y que tiene como marco normativo la norma INEN 1-394 de las normas técnicas ecuatorianas obligatorias referidas a pulpa, papel y cartones, además de que se complementan con otras normas como las normas INCOTEC de Colombia, las normas COVENIN de Venezuela y los procedimientos AOAC para caracterización físico química de materia primas.

3.9 Proceso de obtención de celulosa aplicado a la cáscara de cacao

El Proceso de extracción de celulosa se describe en los pasos que se detallan a continuación en el flujograma presentado en la figura 2-3, de acuerdo a lo descrito por (Lema, Eduardo y Manzo, 2015, p. 32); (De la Cruz, 2019, p. 17); (Borralló Mayoral, 2019, p. 28) y (López et al., 2016, p. 42).

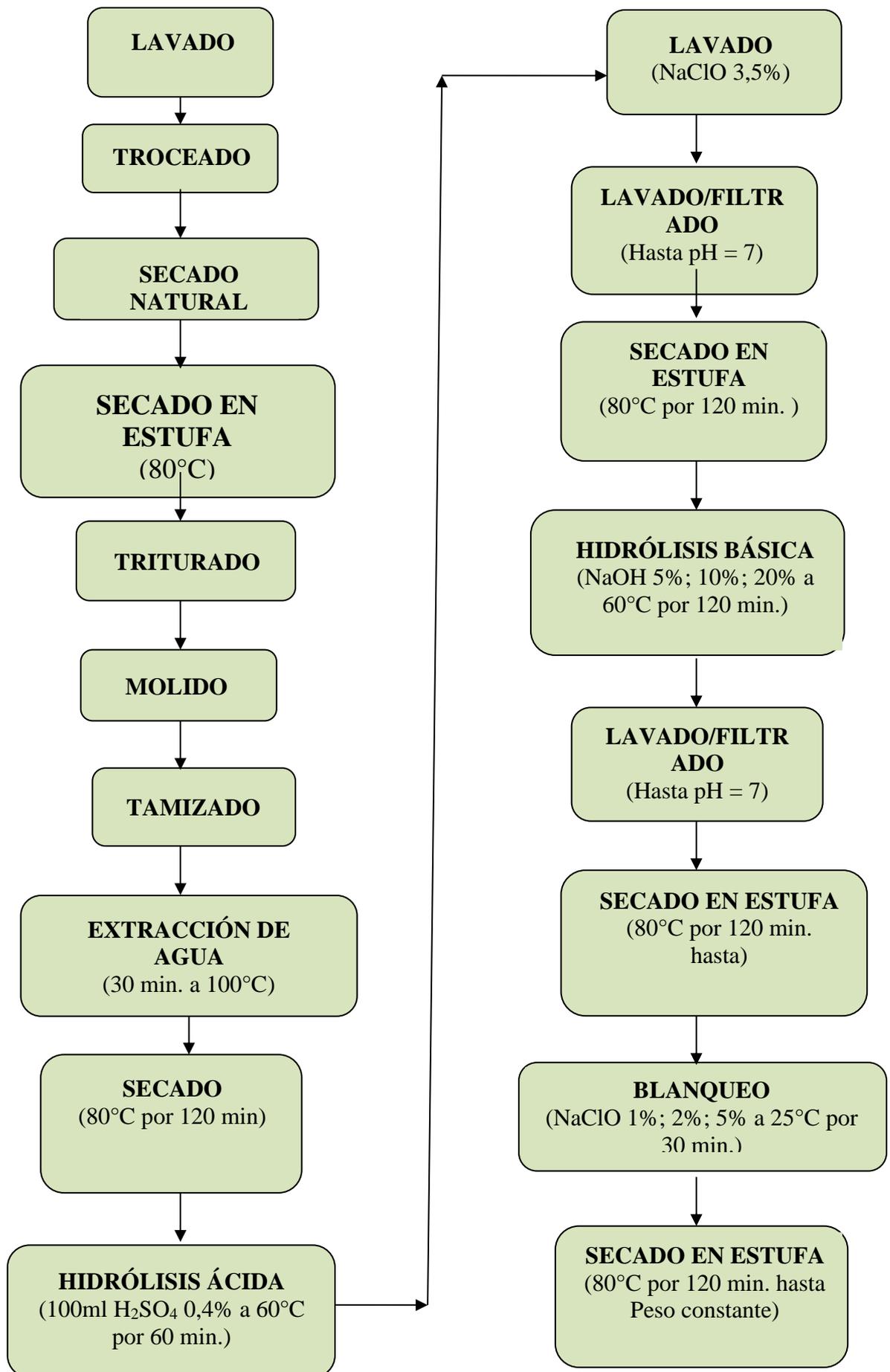


Figura 2-3: Flujograma para la extracción de celulosa.

3.10 Caracterización del producto final

3.10.1. Obtención de porcentaje de celulosa

El análisis se realizó por el método de Kurschner y Hoffer (Technical Association for the Pulp and Paper Industries). Primero se pesó 1 g de muestra seca libre de humedad, se colocó en un balón donde se puso en contacto con 25 ml de una mezcla 4:1 de etanol absoluto y ácido nítrico químicamente puro, se llevó a calentamiento con reflujo durante 30 minutos en inmersión de baño maría. Terminado el tiempo de 30 minutos se filtró mediante un crisol filtrante de porosidad media y se repitió este procedimiento una vez más. Luego se filtró y se lavó con 100 ml de agua destilada caliente, posteriormente se puso en contacto con 100 ml de una solución saturada de acetato de sodio, continuamente se lavó con 500 ml de agua destilada caliente. Se dejó secar la muestra a 105 °C después se dejó enfriar en un desecador (Hernao, et al., 2009, p.24).

$$\text{Porcentaje de celulosa} = \frac{Por}{Po} * 100\%$$

Donde

Por= peso seco del residuo (g)

Po= peso anhidrido de la muestra (g)

3.10.2. Obtención del grado de des lignificación.

El análisis se realizó de acuerdo con la norma TAPPI T-236, por lo tanto, se pesó una determinada cantidad de muestra seca libre de humedad y se dispersó en 500 ml de agua destilada. Luego se trasvaso la mezcla al vaso de reacción donde se agregó agua destilada hasta llevarlo a un volumen de 750 ml. Se agito la muestra durante todo el ensayo y se mantuvo a una temperatura de 25 °C. Se preparó previamente una solución de 100 ml de ácido sulfúrico 4 normal con 100 ml de permanganato de potasio al 0.1 N. Se mezcló la solución de permanganato y ácido sulfúrico con la mezcla del vaso de reacción, al mismo tiempo se puso en marcha el cronometro, no se debe exceder un volumen de 1000 ±5 ml.

Cálculo del número de KAPPA como sigue:

$$K = (p \times f) / w \quad (\text{Ec. 6})$$

$$p = [(b - a) \times N] / 0,1 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

K = N° KAPPA.

w = peso de muestra seca, g.

p = cantidad de permanganato de potasio consumida por la muestra ensayada, ml.

b = cantidad de tiosulfato de sodio consumida en el ensayo en blanco, ml.

a = cantidad de tiosulfato de sodio consumidos en la muestra de ensayo, ml.

N = normalidad del tiosulfato de sodio.

3.10.3. Rendimiento de los tratamientos

El rendimiento obtenido en los distintos tratamientos se calculó con la siguiente formula:

$$\% \text{ rendimiento producto final} = \frac{\text{Peso del producto seco final}}{\text{Peso de la muestra sin ningun tratamiento}} * 100\%$$

3.10.4. Determinación de humedad.

El análisis se realizó de acuerdo a la norma ASTM D4442-92, donde se describe el proceso de un pre tratamiento de la muestra. Luego el crisol que va a contener la cantidad de muestra necesaria para el ensayo, se secó a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5$ por 2 h, luego se enfrió en un desecador por 20 minutos, se pesó y anoto el dato para luego introducirlo nuevamente al horno a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5$ por 1 h, se dejó enfriar en un desecador hasta peso constante. Se pesó 1,005 gramos de muestra anhidra y se colocó en el crisol previamente tratado, se secó la muestra durante 2 horas a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5$, se esperó que enfriara en un desecador por 20 minutos, anotando el peso obtenido, se colocó nuevamente la muestra en el horno por 1 hora y se introdujo en el desecador hasta peso constante.

Porcentaje de humedad

$$\%H = \frac{(B - A) - (C - A)}{(B - A)} \times 100$$

Donde:

A= Peso capsula seca limpia

B= peso capsula + muestra húmeda

C= peso capsula + muestra seca

3.10.5. Determinación de cenizas.

El análisis se realizó de acuerdo con la norma TAPPI T-211, por lo que se procedió a secar el crisol colocándolo en un horno a $525\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25$ en un promedio de 30 a 60 minutos luego se esperó que se enfríe en un desecador para toma el dato de su peso. Se repitió el mismo proceso, pero ya con un gramo de muestra de fibra de seca libre de humedad hasta carbonizar para así luego tomar el dato de su peso.

Porcentaje de ceniza

$$\% \text{ cenizas} = \frac{A}{B} * 100$$

A= peso ceniza (g)

B= peso de muestra anhídrida g

3.10.6. Identificación cualitativa de celulosa.

El análisis se realizó de acuerdo a la norma INEN 2527 por lo que se procedió a observar a través de un microscopio las características que presenta la pasta de celulosa, cuando tomo un determinado color al reaccionar con una solución de cloruro de zinc. Se preparó una solución de 20 g de cloruro de zinc en 10 ml de agua destilada, luego se agregó 2,1 g yoduro de potasio y se mezcló con una solución de 0,1 g de yodo disuelto en 5 ml de agua destilada. Se colocó una muestra de pasta de celulosa sobre un portaobjeto, se aplicó una gota de la solución preparada previamente, se cubrió con un cubreobjeto. Se observó a través del microscopio. El cáñamo, ramio y algodón se colorean de violeta por lo tanto fue nuestro patrón en el análisis realizado.

Cálculo del número de KAPPA como sigue:

$$K = (pxf)/w$$

$$p = [(b-a) \times N] / 0,1$$

Donde:

K= Número Kappa

w= peso de muestra seca (g)

p= cantidad de permanganato de potasio consumida por la muestra ensayada (ml)

b= cantidad de tiosulfato de sodio consumida en el ensayo en blanco (ml)

a= cantidad de tiosulfato de sodio consumido en la muestra de ensayo (ml)

N=normalidad de tiosulfato de sodio

3.10.7. Determinación de solubilidad.

El análisis se realizó tomando como guía la norma INEN 2527, que consiste determinar la solubilidad de fibras de celulosa en algunos reactivos. Los reactivos seleccionados en nuestra metodología fueron: solución de ácido acético, solución de hipoclorito de sodio, solución de ácido clorhídrico, solución de ácido sulfúrico. El ensayo se realizó a temperatura ambiente, se colocó 1 mg de muestra en un vaso de precipitación de 100 ml y se adicióno 25 ml de solvente de ensayo. Se debe observar si la fibra se disuelve completamente, si se ablanda convirtiéndose en una masa plástica o permanece insoluble.

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Caracterización de la materia prima

La caracterización de la materia prima de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) fue realizada bajo las normas TAPPI determinando el porcentaje de lignina, celulosa, hemicelulosa, el pH y la densidad de la muestra, cuyos resultados se expresan en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Características promedio de la cáscara de cacao usada para la extracción de celulosa mediante hidrólisis alcalina.

Muestra	pH	Densidad (gr/ml)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)
M1	7,38	0,40	53	25,5	14,5
M2	6,98	0,42	53	25,5	14,5
M3	7,16	0,41	53	25,5	14,5
Promedio	7,17	0,41	53	25,5	14,5

Fuente: Moscoso (2022)

Los valores encontrados a partir de la cáscara de cacao fueron superiores a los reportados por Jaramillo, Gómez, & Fontalvo (2012, p. 570), incluyeron a las hojas, cogollos y trozos de caña remanentes en un solo grupo de residuos, cuya composición química fue: 31.0% de celulosa, 22.6% de hemicelulosa y 19.4% de lignina insoluble en ácido. Se observa que el cogollo y las hojas verdes presentan la mayor composición de celulosa (superior a 40%).

Los resultados en la presente investigación fueron comparados con los obtenidos por Amasifuen (2002, p. 55) quien evaluó la deslignificación de residuos agrícolas y agroindustriales, mediante un proceso químico para obtener pulpa de celulosa en la región Ucayali, encontrado que el valor obtenido para la cáscara de cacao fue inferior al obtenido con cascarilla de arroz (78.4%), cáscara de plátano (73%), pero superior a los obtenidos con bagazo de caña (45.8%) y cáscara de yuca (18.3%).

Por su parte Ramírez et al. (2012, p.74) junto con Vargas y Pérez (2018, p. 59), menciona que los residuos agroindustriales son materiales lignocelulósicos; es decir, los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina representan sus mayores porcentajes de composición. Además, el aprovechamiento de estos se convierte en una estrategia ambiental y económico (Gil et al., 2021, p. 14143). Por lo tanto, los residuos agroindustriales presentan alto potencial de aprovechamiento con diversidad de alternativas de reutilización de interés ambiental, social y económico, participando en la recuperación de medio bióticos contaminados, de los cuales los más utilizados está el bagazo de caña y cascarilla de arroz Vargas & Pérez (2018, p. 70).

4.2 Obtención de celulosa

El análisis se realizó por el método de Kurschner y Hoffer (Technical Association for the Pulp and Paper Industries), los valores promedios y máximo de celulosa obtenida a partir de la muestra de cáscaras de cacao se muestran en la tabla 2-4, cuyo promedio fue de 40,73 %, con valores máximos de 53,11 % y mínimos de 24,72 %.

Tabla 2-4: Valores obtenidos de celulosa (%) obtenida por extracción mediante hidrolisis alcalina a partir de cáscara de cacao.

N	Media	DE	CV	Máximo	Mínimo
27	40,73	10,58	25,99	53,10	24,72

Nota: N número de muestras analizadas, DE desviación estándar, CV coeficiente de variación

Fuente: Moscoso (2022)

La obtención se llevó a cabo bajo diferentes tratamiento y muestras, los cuales se encuentran contemplado en la tabla 3-4 de cada tratamiento el rendimiento del producto final obtenido, de acuerdo al rendimiento se observa que los tratamientos 7 y 8 son los que presentaron mayor rendimiento de extracción de celulosa con 15,09 y 14,14 % respectivamente, sin embargo, el tratamiento 7 fue el que tuvo un mejor comportamiento al tener una pureza de 52,94 %, que corresponde a la relación concentración de 5 % NaOH y 5% NaClO de , cuando aumento esta relación tanto el rendimiento de extracción como la pureza de la celulosa disminuyo.

Tabla 3-4: Resultado de rendimiento después de cada tratamiento.

Tratamientos	Masa de materia prima empleada a partir del proceso de hidrolisis ácida(g)	Concentración de H ₂ SO ₄ (%) t= 60°c t:60 min	Concentración NaOH (%) t= 60°c t: 120min	Concentración de NaClO (%) t=25°c t=300 min	Rendimiento de celulosa obtenida (%)	Pureza celulosa (%)
1	15	0.4	10	1	13,92	49,37
2	15	0.4	20	1	13,81	30,3
3	15	0.4	10	5	12,09	47,94
4	15	0.4	20	2	11,32	27,33
5	15	0.4	10	2	12,55	37,07
6	15	0.4	20	5	11,26	25,96
7	15	0.4	5	5	15,09	52,94
8	15	0.4	5	1	14,14	49,24
9	15	0.4	5	2	12,96	46,42

Fuente: Moscoso (2022)

Los resultados fueron contrarios a los reportados por Huang et al. (2017, p. 11), quienes aislaron nanocristales de celulosa de tallos de maíz utilizando la hidrólisis con ácido sulfúrico, en donde la cristalinidad pasó de 33.2% a 69.2%; así mismo Singh et al., 2019, estudiaron el aislamiento de celulosa microcristalina de rastrojo de maíz por el método de hidrólisis ácida variando la concentración de los reactivos químicos y agregando dos etapas más al proceso: tratamiento alcalino y blanqueado, esto les permitió obtener un índice de cristalinidad de 91.26%

En ese sentido García-García et al. (2013, p. 57) lograron obtener celulosa con hasta 97 % de pureza, mediante hidrolisis acida del bagazo de caña, lo cual contradice los resultados obtenidos en la presente investigación, cuyo rendimiento fue bajo para la cáscara de cacao, en el caso de la hidrólisis ácida usada en el tratamiento de bagazo de caña en el transcurso de la hidrólisis se ataca, preferentemente, las zonas amorfas y se produce una disminución en el grado de polimerización media en el tiempo, obteniendo una celulosa de mayor pureza.

Los resultados alcanzados con la cáscara de cacao contradicen los normalmente encontrados, dado que se señala la combinación de hidrolisis acida y alcalina el proceso con mejores rendimientos de obtención de celulosa (Maurat, 2014, p. 69). La combinación de los métodos de hidrolisis (acida y alcalina), facilitan la degradación y separación de la celulosa. Para el método de hidrolisis acida se utilizó como reactivo el ácido sulfúrico (H₂SO₄) diluido, este reactivo ataca las regiones amorfas en las cadenas de la celulosa y la degradación de las estructuras hemicelulósicas, facilitando aislar la fracción cristalina. El método de hidrolisis alcalina (NaOH) realiza una despolimerización de la estructura compleja y amorfa de la lignina (Maurat, 2014, p. 57).

4.3 Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Una vez realizado el procedimiento de hidrolisis se llevó a cabo un análisis de varianza para determinar si existieron cambios en las variables evaluadas en función de los cambios en la concentración de NaOH y NaClO, los resultados del ANOVA presentados en la tabla 4-4, muestran que no se observaron cambios para las variables peso, densidad, pero se observaron cambios en el pH, K, el contenido de lignina, celulosa.

Tabla 4-4: Análisis de varianza para variables evaluadas en el estudio

VARIABLE	VALOR DE P	SIGNIFICANCIA	CV
PESO	0,8627	NS	21,96
PH	0,0110	*	4,29
D	0,3588	NS	7,92
K	0,001	**	14,72
LIGNINA	0,001	**	14,71
CELULOSA	0,001	**	8,44

Nota: ** Alta significancia, *baja significancia, NS no tiene significancia
Fuente: Moscoso (2022)

En la tabla 4-4 podemos observar que para las variables peso, pH, densidad, número de kappa. Lignina y celulosa, el valor de probabilidad que muestran en función del tratamiento solo las variables K, lignina y celulosa variaron en función del tratamiento, mientras que el peso, pH y densidad no son afectados por los tratamientos, el CV (Coeficiente de variación) presentado en la tabla es ligeramente alto para un estudio experimental, porque lo que se sugiere que en unas próximas investigaciones se debe aumentar el número de repeticiones para mejorar la confiabilidad de los resultados.

4.4 Rendimiento de la celulosa obtenida a partir de la pureza

En la Tabla 5-4 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento de celulosa, donde se observa que existen 26 grados de libertad producto de la multiplicación de los tratamientos (9) por tres repeticiones (3), lo que da 27, generando 26 GL lo que le da mayor confiabilidad a la prueba, se calculó el valor de probabilidad, usando el programa estadístico seleccionado, cuyo valor dio 0,0001 y como ese valor es menor a 0,05 se llega a la conclusión que el rendimiento de la celulosa varió dependiendo del tratamiento empleado durante el procedimiento de extracción

Tabla 5-4: ANOVA del rendimiento de la celulosa obtenida a partir de la cáscara de cacao

FV	SC	GL	CM	F	Valor de P
Modelo	2700,37	8	337,55	28,59	0,0001
Tratamiento	2700,37	8	337,55	28,59	0,0001
Error	212,54	16	11,81		
Total	2912,90	26			

Nota: FV fuente de verificación, SC suma de cuadrados, GL grado de libertad, CM cuadrado medio, F valor de tabla.

Fuente: Moscoso (2022)

Dado que se observaron diferencias significativas en función de los tratamientos se procedió a realizar la prueba de comparación de Tukey para cada uno de los tratamientos.

Tabla 6-4: Prueba de media de Tukey del rendimiento de la celulosa (%) obtenida a partir de la cáscara de cacao.

Tratamiento	Promedio	Grupos
T7	52,94	D
T1	49,37	D
T8	49,24	D
T3	47,94	D
T9	46,42	CD
T5	37,07	BC
T2	30,30	AB
T4	27,33	AB
T6	25,96	A

Nota: Los valores que tienen relación tendrán por lo menos una letra en común mientras que los que se diferencian tendrán letras diferentes.

Fuente: Moscoso (2022)

En la tabla 6-4 se presenta la prueba de media de acuerdo a Tukey para comparar los tratamientos en función del rendimiento de celulosa, en este caso de acuerdo a la variación de los datos se conformaron 5 grupos los grupos con mayores rendimientos de celulosa denotados con la letra D, los grupos con rendimiento intermedio denominados con la letra CD y BC, un grupo con rendimientos ligeramente superiores al tratamiento más bajo denominado AB y el tratamiento con menor rendimiento denominado A.

El mayor contenido de celulosa fue encontrado con los tratamientos T7, T8 y T1 con valores de 52,94, 49,24 y 49,37 % respectivamente (Figura 1-4), que corresponde a los tratamientos con menor relación NaOH/NaClO, el menor porcentaje de celulosa fue extraído en el tratamiento T6 donde a pesar una concentración de 5 % de NaClO una mayor relación NaOH / NaClO disminuye la capacidad de extracción.

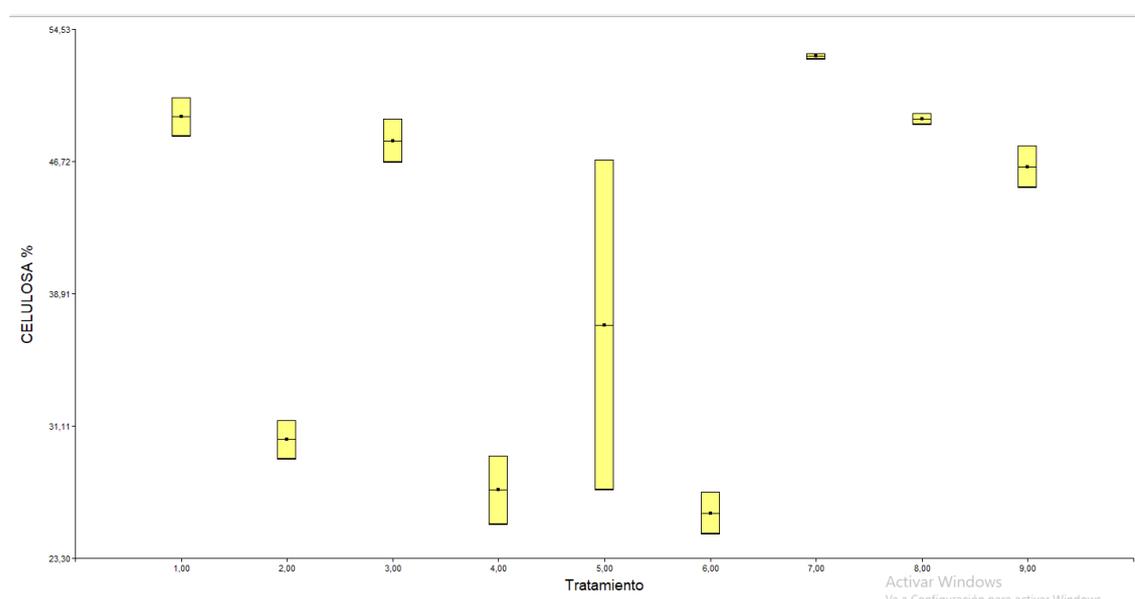


Figura 1-4: Cambios en el contenido de celulosa después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.

Fuente: Moscoso (2022)

4.5 Porcentaje de lignina de la celulosa obtenida de la cáscara de cacao

El análisis de varianza (ANOVA), presentado en la tabla 7-4, muestra que el porcentaje de lignina vario en función de los cambios realizados durante el procedimiento de hidrolisis alcalina.

Tabla 7-4: ANOVA del rendimiento de la lignina obtenida a partir de la cáscara de cacao

FV	SC	GL	CM	F	Valor de P
Modelo	216,40	8	27,05	9,13	0,0001
Tratamiento	216,40	8	27,05	9,12	0,0001
Error	53,31	16	2,96		
Total	269,71	26			

Fuente: Moscoso (2022)

Dado que se observaron diferencias significativas en función de los tratamientos se procedió a realizar la prueba de comparación de Tukey para cada uno de los tratamientos.

Tabla 8-4: Prueba de media de Tukey de contenido de lignina (%) obtenida a partir de la cáscara de cacao.

Tratamiento	Promedio	Grupos
T5	15,51	B
T8	15,50	B
T2	14,06	B
T1	12,83	AB
T9	12,47	AB
T4	9,09	A
T6	9,02	A
T3	8,82	A
T7	8,03	A

Fuente: Moscoso (2022)

En la tabla 8-4 se presenta la prueba de media de acuerdo a Tukey para comparar los tratamientos con respecto a contenido de lignina, en este caso de acuerdo a la variación de los datos se conformaron 3 grupos los grupos con mayores contenidos de lignina denotados con la letra B, los grupos con contenido de lignina intermedio denominados con la letra AB y un grupo con los menores contenido de lignina denominado A.

Se conformaron tres grupos: el A que presenta los tratamientos con los valores más bajos de lignina que varía entre 9,09 y 8,03 %, correspondiendo a los tratamientos T7, T3, T6 y T4; donde la remoción de lignina fue más eficiente durante el proceso de extracción. Un segundo del grupo AB con valores de lignina superior al 12 % y el grupo B con los valores más altos de lignina que superan el 14 % y que corresponde a los tratamientos de extracción menos eficientes en la remoción de lignina (T5, T8 y T2).

En relación con el contenido de lignina los valores más altos de este componente se encontraron en aquellos tratamientos donde la concentración de NaClO durante la extracción fue de 1 %, con valores de 15,50 y 14,06 % respectivamente, mientras que este valor disminuyó a valores que variaron entre 8,03 y 9,09 % en los tratamientos T3, T4, T6 y T7 (Figura 2-4), los cuales corresponden a aquellos tratamientos donde se aumentó la concentración de NACIO durante la extracción a valores de 2 y 5 %.

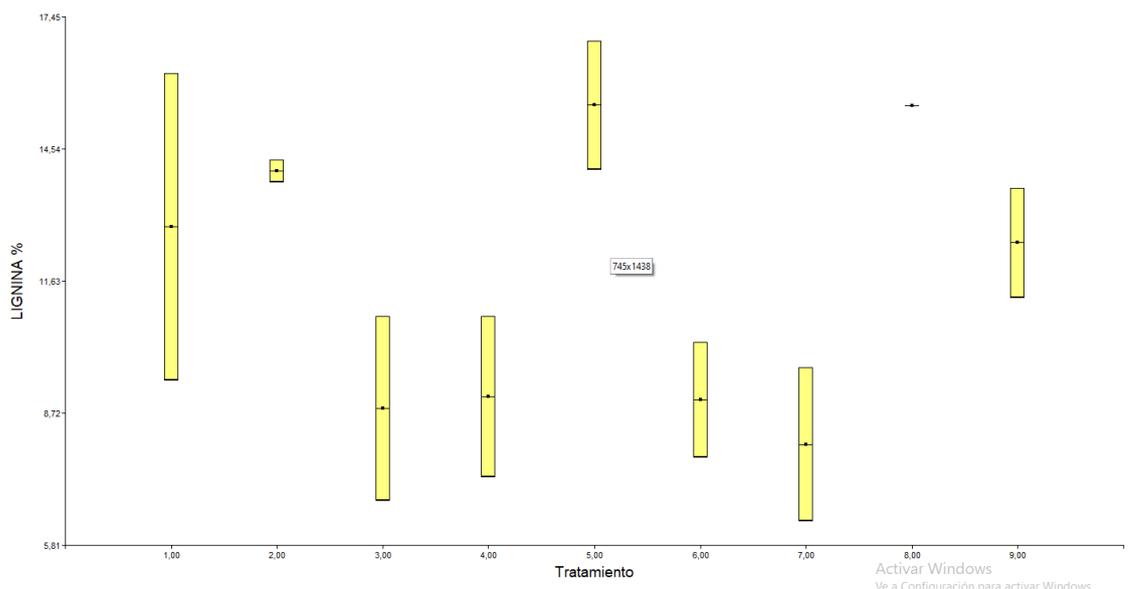


Figura 2-4: Cambios en el contenido de lignina después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.

Fuente: Moscoso (2022)

Finalmente se puede observar que el tratamiento 7 posee los mejores porcentajes de lignina y celulosa con valores de 8,03% y 52,94% respectivamente lo que indica que este material es de fácil despolimerización, contrario a los resultados obtenidos por Gonzáles et al (2016, p.9) quien obtuvo valores superiores de lignina con respecto a la celulosa por lo que el material estudiado por dicho autor posee una estructura química más fuerte gracias a la resistencia que otorga la lignina a los enlaces lo que dificulta la extracción de celulosa.

La prueba de media de Tukey se muestra 13-4 y es presentada gráficamente en la figura 3-4, es una prueba de comparación de media que se aplica en aquellos tratamientos con diferencias significativas después del realizar el ANAVAR y permite separar los grupos en función de la media obtenida, en este caso se conforman 3 grupos aquellos con valores bajos de lignina, los que poseen valores intermedios y los que presenta valores altos, representando los tratamientos con mayor eficiencia de remoción de la lignina.

Los valores de lignina pueden ser explicados por las variaciones en el número Kappa (K), en relación al índice K los valores mayores a los que corresponden los tratamientos T1 T5 y T8 los cuales presentaron una concentración de NaClO de 1 y 2 %, mientras que los valores más bajos se observaron en los tratamientos T3, T4 y T7 (Figura 3-4).

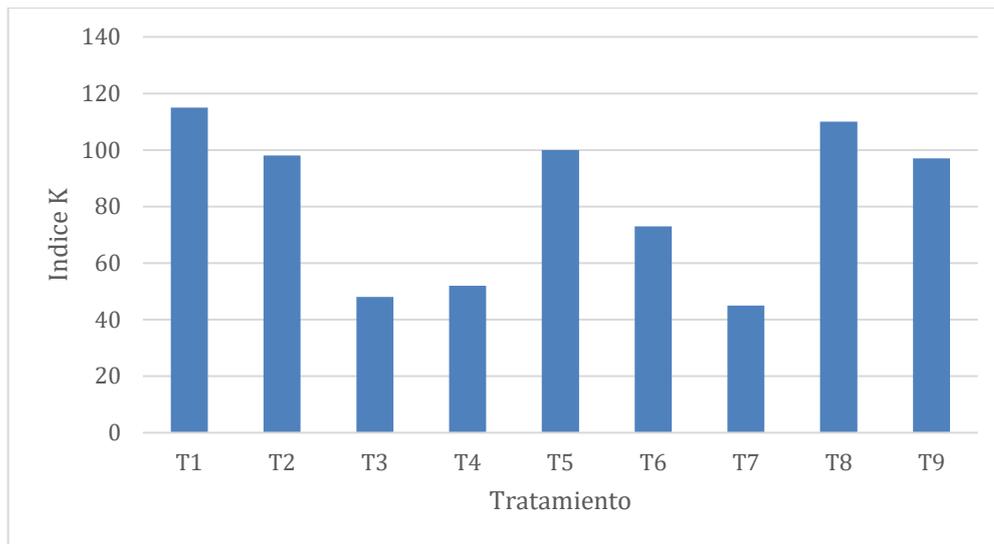


Figura 3-4: Índice K después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.

Fuente: Moscoso (2022)

El índice de Kappa para pulpa no blanqueada fue de 15.09% y en la pulpa blanqueada fue 5%. Aguilar-Rivera (2011, p.189), reportó valores mayores para el índice Kappa de 18.1% (bagazo sin almacenar) y 11.8 % (bagazo industrial fresco).

Los resultados muestran la manera eficiente de eliminación de lignina debido a que los valores encontrados están dentro de los estándares con índice Kappa (10-15) para pulpa no blanqueada. Se observa un número de Kappa elevado, lo que implica un contenido de lignina inusualmente alto para una pulpa química blanqueada (Ramírez et al., 2018, p.80).

4.6 Relación contenido celulosa y lignina

El mejor procedimiento de extracción no es aquel que extraiga más celulosa, sino que a su vez disminuya considerablemente el contenido de lignina, en este caso esa relación fue mayor en los tratamientos T7 y T3 con 6,59 y 5,43 respectivamente y fue menor en los tratamientos T5 y T2 con valores de 2,29 y 2,15 (Figura 4-4), los tratamientos donde el procedimiento de extracción fue óptimo fueron aquellos donde se extrajo más celulosa de la cáscara de cacao y menos compuestos lignolíticos y que corresponde a aquellos tratamientos con una adecuada relación entre los extractantes (1:1 o 1.1).

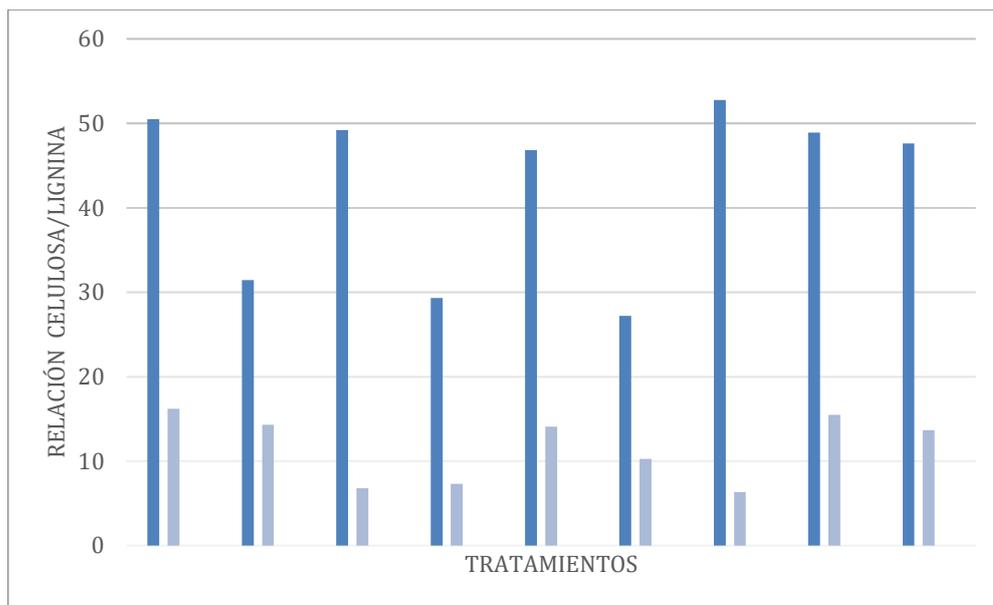


Figura 4-4: Relación del contenido de celulosa/ lignina después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.

Fuente: Moscoso (2022)

La relación celulosa/lignina es un indicativo del grado de pureza del material evaluado, un alto contenido de lignina con respecto a la celulosa indica que no es una muestra totalmente pura, de acuerdo a García-García et al. (2013, p.57) de acuerdo a normas internacionales consultadas en dicho estudio, se requiere obtener celulosa con una pureza superior al 97%, los autores en su análisis del bagazo de caña encontraron que la celulosa pura se somete a un proceso de hidrólisis ácida en medio acuoso, esta hidrólisis parcial controlada mediante el empleo de ácido clorhídrico logra una fracción cristalina de celulosa con 97% de pureza y un grado de polimerización entre 180-200, lo que da cumplimiento a la farmacéutica.

En el caso de esta investigación se obtuvo una celulosa con pureza de 52,94% en el caso del tratamiento 7 con un contenido de lignina de 8,03%, el tratamiento 3 también obtuvo también una buena relación entre contenido de celulosa y contenido de lignina obteniendo 47,94% y 8,82% respectivamente, aunque en ambos casos el porcentaje de lignina es bajo con respecto a la celulosa, la pureza de la celulosa no cumple con el requisito expresado en el estudio de García-García et al. (2013), por lo que se requiere mejorar el proceso de pre tratamiento con hidrólisis ácida, con el que quizá se incrementaría el rendimiento y la pureza del producto.

4.7 Balance de masa

En el siguiente diagrama esta presentado el balance de masa de los diferentes procesos por los que paso la materia prima cascara de cacao (*Theobrama cacao* L.) en laboratorio, se detalla cuanta

masa entro, se ocupó y cuanta sobre para pasar a la siguiente etapa, además en cada etapa se detalla su rendimiento.

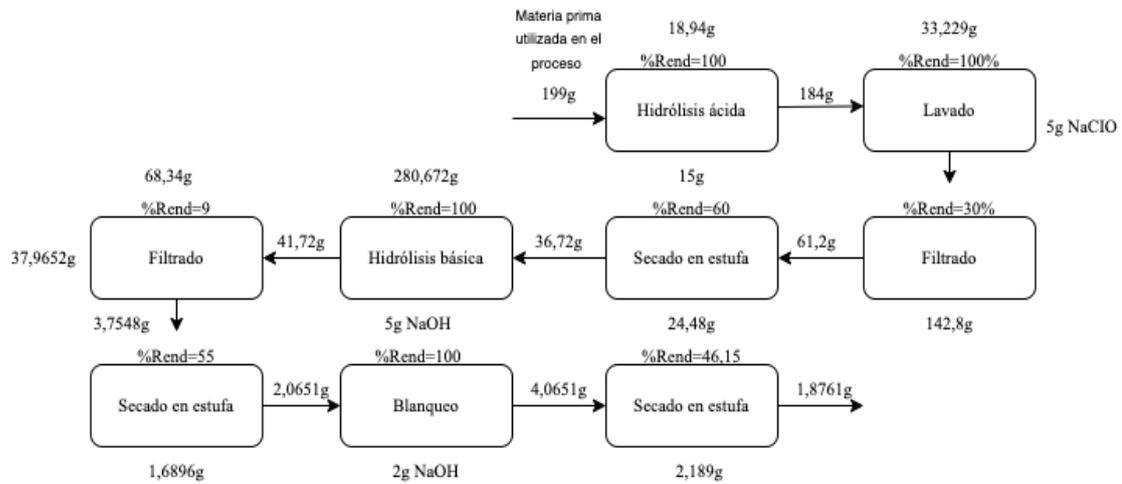


Figura 5-4: Diagrama de balance de masa.

Fuente: Moscoso (2022)

4.8 Propiedades de la celulosa obtenida a partir de la cáscara de cacao

Después de realizar la evaluación experimental de los tratamientos se observa que el tratamiento más eficiente es el tratamiento 7.

Las propiedades del producto se determinaron según las normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y en combinación con las normas) y TAPPI (Technical Association for the Pulp and Paper Industries), en la tabla 9-4 se observa los resultados de las principales propiedades físico - químicas analizadas.

Tabla 9-4: Resultados físico - químicos del producto obtenido

<i>Ceniza</i>	<i>Densidad (g/ml)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>pH</i>	<i>Identificación cualitativa de celulosa</i>	<i>Pureza de celulosa (%)</i>
7,13	0,416	86,54	7,33	Positiva	52,94

Fuente: Moscoso (2022)

En la tabla 9-4 se presentan los valores de ceniza, densidad, humedad y pH de la celulosa obtenida a partir de la cáscara de cacao, si se compara los valores con los establecidos por el Reglamento (CE) n°1333/2008 para la unión europea el porcentaje de ceniza está en el rango el cual debe ser mayor a 5 pero menor a 7,5, pero no cumple con la humedad requerida la cual debe ser inferior al 7 %.

La solubilidad de la celulosa se determinó, por medio de la normativa INEN la cual indica que debe ser insoluble, en ácidos, etanol y otras sustancias. En la siguiente tabla se demuestra que los resultados fueron positivos ya que nuestra materia fue insoluble en las distintas sustancias.

Tabla 10-4: Resultados de solubilidad

SOLVENTES	SOLUBILIDAD
ÁCIDO ACÉTICO 20%	NO
HICLORITO DE SODIO 5%	NO
ÁCIDO SULFÚRICO 15%	NO
ÁCIDO CLORHÍDRICO 10%	NO
ETANOL 98%	NO
AGUA	NO

Fuente: Moscoso (2022)

En la tabla 10-4 se presenta el comportamiento de la solubilidad de la celulosa obtenida a partir de cáscara de Cacao, usando diferentes solventes como ácido acético al 20 %, hipoclorito de sodio al 5 %, ácido sulfúrico al 15 %, ácido clorhídrico al 10 %, etanol 98 y agua, en todos los casos la celulosa cumple con los criterios de calidad establecidos por el INEN el cual establece que la misma debe ser insoluble en diferentes sustancias, incluyendo ácidos alcoholes y agua.

Los resultado de pH muestra que todos los tratamientos presentaron valores similares de pH a excepción del tratamiento T1 que presentó un valor significativamente más bajo (Figura 6-4) en comparación al resto de los tratamientos con un pH de 6,67 cuando los valores de pH se encontraron normalmente entre 6,82 y 7,6, el valor más bajo corresponde al tratamiento con la menor concentración de NaClO, valor que aumenta cuando se aumenta la concentración del mismo independientemente de la concentración de NaOH, sin embargo el valor del pH se reduce cuando la relación NaOH/ NaClO disminuye.

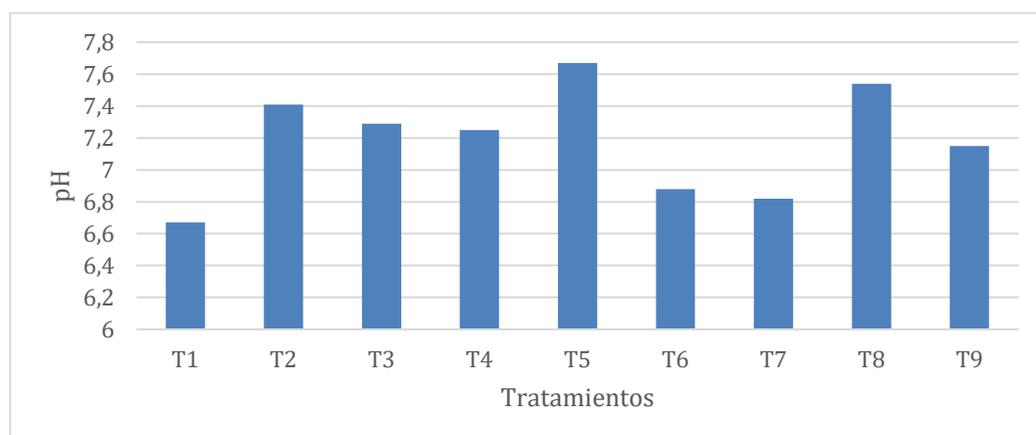


Figura 6-4: Cambios en el pH después de diferentes tratamientos de extracción alcalina en cáscara de cacao.

Fuente: Moscoso (2022)

En todos los casos los valores de pH superan los valores máximos permitidos por la norma farmacopea que acepta hasta pH de 5,7 y la norma UIP Cuba-9 cuyos valores máximos son de 6,7 (García et al., 2006, p.115).

4.9 Celulosa

Para comparar la celulosa obtenida se tomó como referencia el trabajo de González et al (2016, p. 499) donde se compararon las características de una serie de residuos agrícolas y cuyos resultados se presenta en la tabla 11-4.

Tabla 4-4: Comparación de calidad de diferentes residuos agrícolas para la obtención de celulosa para la fabricación de papel.

Material	Celulosa (%)	Lignina (%)
Pellejo de yuca	56-58	25-20
Vástago de plátano	55-56	18-20
Cáscara de Piña	51-56	20-25
Cáscara de mango	52-56	30-33
Tallos de Rosas	51-52	25-26
Tallos de maíz	50-52	32-38
Cáscara de tomate de árbol	44-46	20-25
Cáscara de lulo	39-46	26-29
Pétalos de rosa	53-47	17-22
Tallos de girasol	44-46	15-18
Tallos de clavel	39-43	22-30
Cáscara de maracuyá	32-35	35-43
Cáscara de naranja	30-33	8-11
Hoja de cebolla	28-30	17-20
Capacho de uchuva	26-29	22-26
Corono de piña	25-28	29-30
Pasto seco	40-44	4,8-7
Residuos de rábano	25-34	21-26
Pétalos de crisantemo	25-29	26-35
Cáscara de limón	17-21	14-20
Tusa de maíz	25-31	18-23
Cáscara de cacao	25-52	8-15

Fuente: González et al (2016)

El potencial de la cáscara de cacao para la producción de celulosa supera a la mayoría de los materiales presentados en la tabla 11-4, siempre y cuando el proceso de extracción se realice considerando las proporciones de NaOH/NaClO sugerida en este estudio, en este caso corresponde al T7, así mismo el grado de lignificación encontrado en estudio fue inferior a la mayoría de los residuos comparados en la presente investigación.

Existen residuos en la agroindustria con alto potencial para la producción de papel como es el caso de vástago de plátano, pellejo de yuca, los tallos de rosa, clavel, girasol, de maíz, la cáscara de mango y de tomate de árbol, cuyos valores de celulosa son superiores al 40%. Por lo cual se puede afirmar que los tallos poseen altos contenidos de celulosa, lo que coincide con lo encontrado en otras investigaciones como las de Reales et al. (2016, p.11), Peralta (2021, p.57) y Vargas et al. (2018, p.59).

CONCLUSIONES

Al caracterizar la materia prima (*Theobroma cacao*) de acuerdo a las normas del Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI) presenta un pH de 7.17, densidad de 0,41 g/ml, hemicelulosa 14.5 %, lignina 25,5% y celulosa 53%. Por su contenido y en comparación con otros residuos agroindustriales, puede convertirse en una fuente adecuada para la obtención de derivados de celulosa, situación que permite aprovechar este excedente de residuo.

Las variables y los parámetros extractivos más eficientes a nivel de laboratorio que permiten un mayor rendimiento en la obtención de celulosa, son los empleados en el tratamiento T7: hidrólisis ácida H₂SO₄ al 0,4% por 60min a 60°C, hidrólisis alcalina al 5% NaOH por 120 min a 60°C y el blanqueamiento con NaClO 5% por 300min a 25°C estos parámetros logran un incremento del pH durante el proceso de extracción alcalina, además de un aumento de extracción del contenido de lignina, permitiendo mayor pureza de celulosa.

El producto obtenido a partir del tratamiento T7 mediante su caracterización de acuerdo a normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y del Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI) presenta las siguientes características: ceniza 7,13%, densidad 0,416 g/ml, humedad 86.54%, pH 7,33, pureza de celulosa 52,94% no presenta solubilidad para los siguientes componente hipoclorito de sodio 5%, ácido sulfúrico 15%, ácido clorhídrico 10%, etanol 98% y agua. Al comparar con el Reglamento (CE) n°1333/2008 para la Unión Europea la celulosa obtenida no puede ser utilizada como grado alimenticio y farmacéutico, pero si se logra alcanzar la pureza de al menos un 60% es posible usar este producto como materia prima para carboximetilcelulosa de uso para la industria de detergentes y lodos de perforación.

RECOMENDACIONES

Evaluar el uso de otra sustancia ácida como ácido clorhídrico para el pre tratamiento ácido en el proceso de extracción que incremente el rendimiento y pureza del producto final.

Evaluar el uso de otras sustancias alcalinas para el proceso de extracción que aumenten el rendimiento de extracción de celulosa.

Evaluar el proceso de secado para mejorar el parámetro de humedad del producto final.

Realizar pruebas considerando otros factores que pueden afectar el procedimiento de extracción como el tiempo y la temperatura.

Hacer el análisis beneficios/costos producto del aprovechamiento de residuos de cacao para la obtención de celulosa.

Realizar ensayos con nuevas combinaciones de las sustancias usadas en la hidrólisis, incluyendo modificaciones adicionales al protocolo para mejorar el método y obtener celulosa de mayor pureza.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR-RIVERA, Noé. Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 2011, vol. 12, no 2, p. 189-197. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v12n2/v12n2a8.pdf>

ALAN NEIL, David, & CORTÉZ SUÁREZ, Liliana. Procesos y fundamentos de la investigación científica. Editorial UTMACH. (2018). Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>

ALATA MAYHUIRE, Evelin, et al. Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2019, vol. 85, no 2, p. 231-241. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n2/a10v85n2.pdf?fbclid=IwAR1d03-ZmfrxfTw->

ALBARRACÍN, Diego Fernel Peñaloza, et al. Estudio cuantitativo de tendencias en el aprovechamiento de los subproductos del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Espacio I+ D, Innovación más desarrollo*, 2021, vol. 10, no 27. Disponible en: <https://www.espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/267/832>.

AMASIFUEN RENGIFO, Angie Stefani. Deslignificación de residuos agrícolas y agroindustriales, mediante un proceso químico para obtener pulpa de celulosa en la región Ucayali. 2022. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa – Perú. Disponible en:

http://www.repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5243/B03_2022_UNU_INGENIERIA_FORESTAL_2022_T_ANGIE-AMASIFUEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ÁLVAREZ-CASTILLO, Alberto, et al. Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 2012, vol. 13, no 4, p. 140-150. Disponible en: <https://www.observatoriplastico.com/ficheros/articulos/147630047907070724.pdf>

SÁNCHEZ, M. Á., et al. Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2017. [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789292487324. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>

ACOSTA, Ángela Joana Ávila, PACHECO, Kathryn Yadira Guzmán, & GARCÍA, Jean Carlo. Obtención de papel a partir del endocarpio seco del cacao. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 2017, vol. 3, p. 97-102. DOI 10.23850/25004468.1439. Disponible en: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1439>.

BOHÓRQUEZ SANTANA, Wilson. El proceso de compostaje. Universidad de la Salle, 2019. [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789585486676. Disponible en:

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>.

BORRALLO MAYORAL, Cristina, et al. Valorización de la cascarilla de Cacao, residuo de la industria chocolatera, para su empleo como sustrato en procesos fermentativos. 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/59511>.

BOTERO RIVERA, Nataly; LONDOÑO, Laura Victoria, & ROJAS HOYOS, Luisa Fernanda. Extracción de polifenoles totales asistida por enzimas, a partir de residuos de la industria del cacao. 2016. *Agronomía Colombiana Suplemento* [en línea], vol. 1, pp. 622-625. ISSN 2539-4142. DOI 10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58784.

CALDERON UPIACHIHUA, Kally Mariza. Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51 procedente del distrito de Pajarillo-provincia de Mariscal Cáceres. 2017., pp. 112. Disponible en: [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3888/FIAI - Larry Amasifuen Pinchi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3888/FIAI_Larry_Amasifuen_Pinchi.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

CAMPOS-VEGA, Rocio, NIETO-FIGUEROA, Karen, & OOMAH, B. Dave. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, vol. 81, p. 172-184. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2018.09.022. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>.

CÁRDENAS, Maria Eugenia Porras, et al. Obtención de espumas de poliuretano con materiales lignocelulósicos. *Investigaciones aplicadas*, 2012, vol. 6, no 2, p. 93-102. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5001695.pdf>

CASTELLS, Xavier Elías. Residuos destinados a la fabricación de materiales aislantes: Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Díaz de Santos, 2012.

CASTILLO, Eury, ALVAREZ, Climaco, & CONTRERAS, Yanetti. Caracterización fisicoquímica de la cáscara del fruto de un clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) cosechados en Caucagua, estado Miranda. Venezuela. *REVISTAS DE INVESTIGACIÓN*, 2018, vol. 42, no 95. p. 154-176. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3761/376160247008/376160247008.pdf>.

CFN, 2020. Ficha sectorial: cacao y chocolate. Reporte de la Corporación Financiera Nacional [en línea], pp. 30. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2018/04/Ficha-Sectorial-Cacao.pdf>.

CRUZ, Rodrigo Alberto Cruz, & CAÑAS, Pablo César. La importancia de la exportación del cacao en Colombia y los países en América Latina. *Revista Investigación & Gestión*, 2018, vol. 1, no 1, p. 18-27. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ID/article/download/1514/1419>

DE LA CRUZ RODRÍGUEZ, Luz Terlinda. Eficiencia de la celulosa obtenida a partir de raquis de *Musa paradisiaca* para remoción de cadmio en aguas superficiales. 2019. Trabajo de grado. Universidad Cesar Vallejo. Disponible en:

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49090/De%20la%20Cruz_RLT-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DE LA CRUZ, José, VARGAS, Miguel, & DEL ANGEL-CORONEL, Oscar. Cacao: operaciones poscosecha. 2012.. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>.

DOHERTY, William, MOUSAVIOUN, Payam, & FELLOWS, Christopher. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. *Industrial crops and products*, 2011, vol. 33, no 2, p. 259-276. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.022>

ENCALADA LÁRRAGA, Jessica Alexandra, & JÁCOME PILCO, Tannia Lisbeth. Determinación de parámetros cinéticos en la devolatilización de biomasa residual de cacao ecuatoriano. 2018. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16660/1/T-UCE-0017-IQU-010.pdf>.

FRANCO, Anderson Guarnizo, YÉPES, Pedro Nel Martínez, & SÁNCHEZ, Hoover Albeiro Valencia. Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia et technica*, 2009, vol. 15, no 42, p. 284-289. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84916714053.pdf>

GAMBONI, Jimena E., et al. Optimización del proceso de carboximetilación de celulosa proveniente de bagazo de caña de azúcar. Disponible en: https://www.aaq.org.ar/SCongresos/docs/04_025/papers/10a/10a_1520_847.pdf

GAÑÁN, Piedad, et al. Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro. *Revista Colombiana de Materiales*, 2017, no 11, p. 1-4. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/328779/20785474>.

GARCÍA, Lucia, BORDALLO, Eduardo, & CORDERO, Dolores. Celulosa microcristalina. *Revista Cubana de Química*, 2006, vol. 18, no 1, p. 115-117. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543688052.pdf>

GARCÍA-GARCÍA, Lucia, et al. Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2013, vol. 47, no 1, p. 57-63. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223126409008.pdf>

GIL AGUILAR, Roberto, LUJAN, Gilmer, & TABOADA, Roberto. Biocombustibles mediante residuos agroindustriales: por un mejor cuidado del medio ambiente del planeta. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2021, vol. 5, no 6, p. 14443-14468. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1410

GÓMEZ, Elkin A., RÍOS, Luis A., & PEÑA, Juan D. Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información tecnológica*, 2012, vol. 23, no 6, p. 73-86.

GONZÁLEZ CASTELLANO, Roberto. Principios básicos de escalado. *Universitaria*, 2000, p. 9-18. Disponible en: https://www.academia.edu/download/56842223/Principios_Basicos_de_Escalado_-_Gonzalez-

Castellanos__R._A._2000_act._2018.pdf

GONZÁLEZ VELANDIA, Krystle Danitza, et al. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. Luna Azul, 2016, no 43, p. 499-517. Disponible en: <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>

HERNÁNDEZ ALVARADO, Rocío. Propagación del cacao (*Theobroma cacao* L). 2012. Trabajo de maestría. Colegio de Posgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Disponible en: <http://193.122.196.39:8080/xmlui/handle/10521/678>

HERNAO, Laura Verónica, ROJAS, Iván Darío, & GIRALDO, Germán Antonio. Cuantificación de celulosa proveniente de residuos de la industria del mueble. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 2009, no 8, p. 23-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231116390003.pdf>

HERRERA-RENGIFO, Jose D., et al. Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. Revista Ion, 2020, vol. 33, no 2, p. 25-34. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/11851/11267>.

HOLTZAPPLE, Mark. Hemicelluloses Hemicelluloses. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 3060–3071. 2003.

INIAP. Agroforestería Sostenible Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, 2016. N°2, 2016. Disponible en: https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5444/1/Agroforestería_sostenible_en_la_Amazonia_ecuatoriana.pdf.

JARAMILLO, Oscar Johnny, GÓMEZ-GARCÍA, Miguel Ángel, & FONTALVO, Javier. Prediction of acid hydrolysis of lignocellulosic materials in batch and plug flow reactors. Bioresource technology, 2013, vol. 142, p. 570-578. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.064>

JUÁREZ BARRIENTOS, José Manuel, et al. Application and comparison of totally chlorine free pretreatments in waste of pineapple (*Ananas comosus*) and mamey sapote (*Pouteria sapota*) to obtain carboxymethylcellulose. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2011, vol. 2, no 1, p. 108-126. Disponible en: <https://sites.google.com/site/1rvcta/v2-n1-2011/h9?mobile=true&pli=1>

LARA, José, et al. Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. Revista Ion, 2016, vol. 29, no 2, p. 113-124. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>

LEMA VERA, Eduardo Andrés, & MANZO ESCOBAR, Najary Salomé. Diseño de una línea de producción de bioplástico a partir de residuos del cacao con aplicación en envasado de alimentos. 2021. Tesis de Licenciatura. Quevedo-Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5311/1/T-UTEQ-0093.PDF>.

LEÓN-SERRANO, Lady Andrea, et al. Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas

y su impacto económico 2013-2016. Revista Científica UISRAEL, 2020, vol. 7, no 3, p. 103-121. Disponible en: <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>

LÓPEZ, RUA, Ana Milena, & TAMAYO ALZATE, Óscar Eugenio. Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia), 2012, vol. 8, no 1, p. 145-166. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134129256008>.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, A., et al. Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Agroproductividad, 2016, vol. 9, no 7, p. 41-46. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/784>.

MENDOZA-LÓPEZ, Karla Luz, et al. Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L." cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. Manglar, 2021, vol. 18, no 2, p. 169-173. Disponible en: <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/239/363>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2021. Panorama Agroestadís co Panorama Agroestadís co. [en línea], vol. 2018. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, A. y P., 2016. Morona Santiago tiene 1.799 hectáreas de cultivos de café y cacao. [en línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/morona-santiago-tiene-1-799-hectareas-de-cultivos-de->

MOON, Robert J., et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. Chemical Society Reviews, 2011, vol. 40, no 7, p. 3941-3994. DOI: 10.1039/c0cs00108b

MORALES DE LA ROSA, Silvia Morales. Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. 2015. Tesis Doctoral. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica. Consejo Superior de Investigaciones Científica Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf.

OZUNG, Pascal Ogar, et al. Dietary Cocoa Pod Husk Meal Could Influence the Reproductive Tract Morphometry of Rabbits. East African Scholars Journal of Agriculture and Life Sciences, 2019, vol. 2, no 1, p. 26-30.

PERALTA HOLGUÍN, Wendy Elizabeth, & MEDINA SERRANO, Carlos Alcibar. El Papel de los Residuos Agrícolas en la Extracción de Nanocristales de Celulosa. Revista Bases de la Ciencia. e-ISSN 2588-0764, 2021, vol. 6, no 2, p. 57-74. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3009/3805>.

POTŮČEK, František, GURUNG, Bija, & HÁJKOVÁ, Kateřina. Soda pulping of rapeseed straw. Cellulose Chemistry and Technology, 2014, vol. 48, no 7-8, p. 683-691. Disponible en: [https://cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8\(2014\)/p.683-691.pdf](https://cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8(2014)/p.683-691.pdf)

RAMÍREZ CASILLAS, Rogelio, et al. Destintado de papel de impresión láser con ultrasonido de acción intensiva, para obtener celulosa de alta pureza. Revista mexicana de ciencias forestales,

2018, vol. 9, no 46, p. 80-101. Disponible en: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.137>

RAMÍREZ CORTINA, Clementina Rita, ALONSO GUTIÉRREZ, María de la Soledad, & RIGAL, Luc. Tratamiento alcalino de los residuos agroindustriales de la producción del tequila, para su uso como complemento de alimento de rumiantes. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 2012, vol. 5, no 2, p. 69-77. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/viewFile/32648/29964>

REALES, Juan G., CASTAÑO, Hader I., & ZAPATA, José E. Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la deslignificación de tallos de yuca. *Información tecnológica*, 2016, vol. 27, no 3, p. 11-22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000300003>

RIERA, María Antonieta, MALDONADO, Silvina, & PALMA, Ricardo R. Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 2018, vol. 17, no 3, p. 227-247. Disponible en: <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>

RUIZ, Ángela A., & ÁLVAREZ, Hernán. Escalamiento de procesos químicos y bioquímicos basado en un modelo fenomenológico. *Información tecnológica*, 2011, vol. 22, no 6, p. 33-52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000600005>

SIGÜENCIA AVILA, Jorge Marcelo, et al. Estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de los residuos de la corteza del cacao en Ecuador. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 2020, vol. 21, no 3, p. 1-20. Disponible en: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1429

SIQUEIRA, Gilberto, BRAS, Julien, & DUFRESNE, Alain. Cellulosic bionanocomposites: a review of preparation, properties and applications. *Polymers*, 2010, vol. 2, no 4, p. 728-765. DOI 10.3390/polym2040728.

SRIDACH, Waranyou. The environmentally benign pulping process of non-wood fibers. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 2010, vol. 17, no 2. Disponible en: <https://www.thaiscience.info/journals/Article/SJST/10890500.pdf>

SUÁREZ GUARNIZO, Erika Mishelle. Obtención de pulpa de papel a partir de residuos de la naranja común y limón ponderoso. 2016. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6856/1/T-UCE-0017-0014-2016.pdf>.

TAPIA, José Luis Pineda, et al. Importance of laboratory work on the teach and learn process in engineering. En *2020 IEEE International Symposium on Accreditation of Engineering and Computing Education (ICACIT)*. IEEE, 2020. p. 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICACIT50253.2020.9277674>

PARIMELAZHAGAN, Thangaraj. *Pharmacological assays of plant-based natural products*. Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-379-26811-8.

TORRES CABEZAS, María Angélica. Obtención de celulosa a partir de la cáscara de cacao

ecuatoriano (*Theobroma cacao* L.) mediante hidrólisis térmica para la elaboración de pulpa de papel. 2019. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19765/1/T-UCE-0017-IQU-059.pdf>.

TORRES JARAMILLO, Diana, MORALES VÉLEZ, Sonia Patricia, & QUINTERO DÍAZ, Juan Carlos. Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 2017, vol. 25, no 4, p. 733-743. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400733>

TORRES LEAL, Yenifer Jasneidy. Caracterización de biomasa lignocelulósica (*Theobroma cacao* L) para su uso en la obtención de etanol por vía fermentativa. 2016. Universidad Santo Tomás. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9170/TorresLealYeniferJasneidy2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

VALDIVIESO VALDIVIESO, Juan Enrique. Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de Maíz (*Zea mays* L. var. Ceratina). 2020. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13964/3/96T00575.pdf>.

VARGAS CORREDOR, Yury Alexandra, & PÉREZ, Liliana Ibeth Pérez. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 2018, p. 59-72. Disponible: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/3108/2874>

VARGAS MARTÍNEZ, Andrés Felipe, LÓPEZ CIFUENTES, Javier Augusto, & ALVARADO GAONA, Álvaro Enrique. Sostenibilidad ambiental y manejo de residuos en sistemas de producción de cacao en el suroccidente de Boyacá-Colombia. *Revista Ciencia y Agricultura*, 2021, vol. 18, no 3, p. 47-62. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01228420.v18>

VÁSQUEZ, Zulma S., et al. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 2019, vol. 90, p. 72-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030>

VERVERIS, Ch., et al. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial crops and products*, 2004, vol. 19, no 3, p. 245-254. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.006>

VILLAMIZAR-JAÍMES, Arley René, & LÓPEZ-GIRALDO, Luis Javier. Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 2017, vol. 22, no 1, p. 75-83. Disponible en: <https://doi.org/10.22463/0122820X.821>

WASHINGTON, Jorge, et al. Evaluación de la fauna insectil en tres sistemas agroforestales utilizando como base el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en el cantón Caluma (Ecuador). *Revista de Investigación Enlace Universitario*, 2016, vol. 15, no 1, p. 42-46. Disponible en: <https://enlace.ueb.edu.ec/index.php/enlaceuniversitario/article/view/8/8>.

ZAVALA, César H., et al. Estimación del potencial energético del gas pobre a partir de la gasificación de cáscara de cacao y racimos de frutos vacíos de palma aceitera. *Información tecnológica*, 2021, vol. 32, no 2, p. 143-150. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200143>





esPOCH

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 02 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: María Alejandra Moscoso Zuñiga
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0171-DBRA-UPT-2023

