



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

QUÍMICA INDUSTRIAL

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN
QUÍMICA INDUSTRIAL**

TÍTULO:

**Pulpa de celulosa a partir de cascarilla de café (*Coffea arabica*) por el
método alcalino, Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales
(LOUI), Departamento de Química, UNAN-Managua, abril 2021 -
noviembre 2022**

Autores:

Bra. Irka María Rosa Rodríguez Montenegro.

Br. Luis Ernesto Blandino Ñurinda.

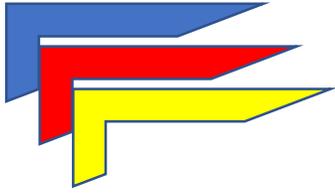
Tutor:

Esp. Yesler Bermúdez.

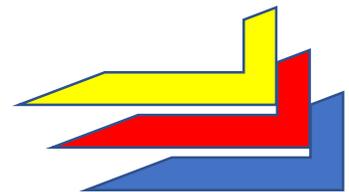
Asesor Metodológico:

Esp. José Luis Prado

Managua, noviembre, 2022



Aspectos Generales





Título

Pulpa de celulosa a partir de cascarilla de café (*Coffea arabica*) por el *método alcalino*, Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales (*LOUI*), Departamento de Química, UNAN-Managua, abril 2021 - noviembre 2022.



DEDICATORIA

Primeramente, a **Dios** por darnos fuerza, paciencia y brindarnos la mayor salud para cumplir nuestros objetivos.

A nuestros padres, por brindarnos el mayor de su apoyo para concluir este ciclo de nuestras vidas.

A todos aquellos maestros de nuestra alma mater que nos guiaron en el camino, quitaron dudas y renovaron fuerzas morales, ya que sin su sabiduría, consejo y experiencia no llegaríamos tan lejos solos.

A nosotros mismos por la dedicación, voluntad y deseo para culminar esta monografía.



AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor *Esp. Yesler Bermúdez* por dedicar su tiempo, paciencia, y apoyo, por ofrecer su total confianza en nosotros, y permitir desarrollar nuestros conocimientos en el trayecto de la investigación.

A nuestro asesor metodológico *Esp. José Prado* por brindar su tiempo, para la mejora y perfección de este documento.

A la directora del Departamento de Química, *PhD. Sara Negaresh*, por brindar su apoyo y permitir los medios necesarios para la realización de las pruebas químicas necesarias para la realización de esta monografía.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN, MANAGUA

CERTIFICACIÓN DE AUTENTICIDAD Y AVAL TUTORIAL



El presente trabajo monográfico titulado "*Pulpa de celulosa a partir de cascarilla de café (Coffea arabica) por el método alcalino, Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales (LOUI), Departamento de Química, UNAN-Managua, abril 2021 - septiembre 2022*" ha sido realizado por los Bachilleres *Irka María Rosa Rodríguez Montenegro* y *Luis Ernesto Blandino Ñurinda*, con números de carnet: 17 0450 01, 17 0485 10 bajo la dirección del *Esp. Yesler Ernesto Bermúdez Tercero* y asesoría del *Esp. José Luis Prado*, dando fe de que la investigación es propiedad intelectual fidedigna y original de ambos, además que ha cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos según el Capítulo III del Título IV del Reglamento del Régimen Académico Estudiantil para optar al título de Licenciado en Química Industrial.

Managua, enero del 2023

Yesler Ernesto Bermúdez, Esp.
Departamento de Química
UNAN-Managua

José Luis Prado, Esp. Docente
Departamento de química
UNAN-Managua

UNAN-Managua, Departamento de Química

Telf.: 2278-6769 Ext: 15



RESUMEN

La presente investigación monográfica tuvo como principal objetivo extraer pulpa de celulosa a partir de cascarilla de café (*Coffea arabica*) por el método alcalino. Se procedió a realizar la caracterización de la materia prima por cuadruplicado, siguiendo lo establecido en las Normas TAPPI, dando como resultado los siguientes valores: Lignina 15,16%; pH 3,15; Humedad 6,29%; Ceniza 0,50 % y Extractivos Totales 11,97%; a su vez, usando el método de Kurschner & Hoffer para la cuantificación de celulosa en cascarilla de café del que se obtuvo un resultado de 51,01%. Posteriormente, se realizaron nueve ensayos experimentales regidos por el diseño de experimento Taguchi, en el cual se establecen las condiciones operacionales a tres factores y tres niveles para la extracción de pulpa de celulosa, siendo estas: Temperatura a 40°C, 65°C y 90°C, Tiempo a 60 min, 135 min, y 240 min y Concentraciones de 9%, 14%, y 19% de NaOH grado reactivo. Por lo tanto, la extracción se realizó con 20 g de cascarilla de café y 200 mL de la solución de NaOH a las concentraciones ya mencionadas. Seguido, se realizó el cálculo de rendimiento para determinación de pulpa de celulosa y la cuantificación de alfa, gamma y beta celulosa por complexometría y la beta celulosa se define por la diferencia en las antes mencionadas. Generando como resultado en base a los análisis valorados por el programa estadístico *Minitap*, Temperatura 90 °C, Tiempo 135 min, y Concentración al 9%, siendo las condiciones óptimas para la extracción de pulpa de celulosa, con un con un rendimiento del 58,25% de pulpa de celulosa, conteniendo específicamente 98,21% de alfa, 0,62% de gamma y 1,17% de beta celulosa.

Palabras claves: Cascarilla *Coffea arabica*, método alcalino, pulpa de celulosa, TAPPI, condiciones operacionales.



TERMINOS Y DEFINICIONES

(NH₄)₂ Fe(SO₄)₂·6H₂ O: Sulfato ferroso de amonio o Sal de mohr

°C: Grados Celsius

C₂H₃NaO₂: Acetato de sodio

C₂H₅OH: Etanol

C₇H₈: Tolueno

g: Gramos

H₂SO₄: Ácido sulfúrico

HNO₃ : Ácido nítrico

K₂Cr₂O₇: Dicromato de potasio

LOUI: Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales

min: Minutos

mm: Milímetros

NaOH: Hidróxido de Sodio.

TAPPI: Technical Association of the Pulp and Paper Industries (Asociación Técnica de la Industria del Papel y la Pulpa)

A#: Los anexos están enumerados, ejemplo A1.

Figura A#.#: Las figuras en anexos están enumeradas por el número de anexo y de imagen, ejemplo figura A1.1.



INDICE

<i>Aspectos Generales</i>	i
Título	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CERTIFICACIÓN DE AUTENTICIDAD Y AVAL TUTORIAL ;Error! Marcador no definido.	
RESUMEN	vi
TERMINOS Y DEFINICIONES	vii
INDICE	viii
<i>Capítulo I</i>	1
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
<i>Capítulo II</i>	6
2.1. Marco Teórico	7
2.1.1. Café (<i>Coffea</i>).....	7
2.1.1.1. Especies de Café	7
2.1.2. Café Arábica (<i>Coffea arabica</i>).....	9
2.1.2.1. Cultivo del Café (<i>Coffea arabica</i>).....	10
2.1.3. El Café en Nicaragua.....	11
2.1.4. Procesamiento del Grano Café.....	12



2.1.4.1.	Beneficio Húmedo	12
2.1.4.2.	Beneficio Seco	14
2.1.5.	Cascarilla de Café.....	15
2.1.5.1.	Características Físicas-Químicas	15
2.1.5.2.	Usos, Aplicaciones y Derivados de la Cascarilla de Café	16
2.1.6.	Celulosa.....	16
2.1.6.1.	Tratamientos Químicos y Derivados de la Celulosa.....	18
2.1.7.	Pulpa de Celulosa.....	21
2.1.7.1.	Métodos de Extracción de Pulpa de Celulosa.....	22
2.1.7.2.	Método Químico	22
2.1.7.3.	Método Mecánico	24
2.1.8.	Normativas TAPPI.....	25
2.2.	Antecedentes	27
2.3.	Hipótesis	28
Capítulo III	29
3.1.	Diseño Metodológico	29
3.1.1.	Ámbito de estudio	29
3.1.2.	Tipo de estudio.....	29
3.1.3.	Población y Muestra.....	30
3.1.3.1.	Población	30
3.1.3.2.	Muestra	30
3.1.3.3.	Criterios de Inclusión.....	30
3.1.3.4.	Criterios de Exclusión.....	31
3.1.4.	Variables y Operacionalización	31
3.1.4.1.	Variable Independiente	31
3.1.4.2.	Variable Interviniente	31



3.1.4.3.	Variable Dependiente	31
3.1.4.4.	Operacionalización de Variables	32
3.1.5.	Materiales y Método.....	35
3.1.5.1.	Materiales para Recolectar Información.....	35
3.1.5.2.	Materiales para Procesar la Información	35
3.1.5.3.	Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos.....	36
3.1.5.4.	Método	42
Capítulo IV		52
4.1. Análisis y Discusión de Resultados		53
4.1.1.	Análisis Físico-Químicos de la cascarilla de café caracterización Bajo las Normas TAPPI y <i>Método Kurschner & Hoffer</i>	53
4.1.2.	Estandarización de Obtención de Pulpa de Celulosa por Método Alcalino, a través del Diseño Experimenta Taguchi.	62
4.1.2.1.	Porcentaje de Rendimiento	64
Capítulo V		67
5.1. Conclusiones		68
5.2. Recomendaciones		69
5.3. Bibliografía		70
Anexos		74



Índice de Tablas

TABLA 1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	32
TABLA 2. MATERIALES, EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE LIGNINA (TAPPI T22 OM-02)	36
TABLA 3. MATERIALES EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE pH (TAPPI T252 OM-16)	37
TABLA 4. MATERIALES, EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE HUMEDAD (TAPPI T211 OM-85)	38
TABLA 5. MATERIALES, EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE CENIZAS (TAPPI T211 OM-02)	38
TABLA 6. MATERIALES EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS TOTALES (ASTM D1107-21)	39
TABLA 7. MATERIALES, EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE CELULOSA (MÉTODO KURSCHNER & HOFFER)	39
TABLA 8. MATERIALES, EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA FORMULACIÓN DE PULPA DE CELULOSA POR MÉTODO ALCALINO	40
TABLA 9. MATERIALES, EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE ALFA, BETA Y GAMMA CELULOSA (TAPPI T203 CM-99)	41
TABLA 10. DISEÑO EXPERIMENTAL TAGUCHI	48
TABLA 11. PESOS DE MUESTRA, CAPSULA Y LIGNINA DESPUÉS DEL SECADO	53
TABLA 12. PORCENTAJE DE LIGNINA EN CASCARILLA DE CAFÉ	53
TABLA 13. PESO DE MUESTRA Y VALOR DE pH EN CASCARILLA DE CAFÉ	54
TABLA 14. PESOS DE MUESTRAS, CAPSULAS Y MUESTRAS DE CASCARILLA DE CAFÉ DESPUÉS DEL SECADO	55
TABLA 15. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN CASCARILLA DE CAFÉ	55
TABLA 16. PESOS DE MUESTRAS, CRISOLES Y CENIZAS DE CASCARILLA DE CAFÉ	56
TABLA 17. PORCENTAJE DE CENIZAS EN CASCARILLA DE CAFÉ	57
TABLA 18. PESOS DE MUESTRAS, CAPSULAS Y MUESTRAS DE CASCARILLA DE CAFÉ DESPUÉS DEL SECADO PARA ANÁLISIS DE EXTRACTIVOS TOTALES	58
TABLA 19. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN CASCARILLA DE CAFÉ PARA ANÁLISIS DE EXTRACTIVOS TOTALES	58

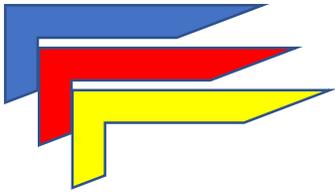


TABLA 20. PORCENTAJE DE HUMEDAD Y PESOS DE MUESTRAS, DEDAL, MUESTRAS DE CASCARILLA DE CAFÉ DESPUÉS DEL SECADO.....	58
TABLA 21. PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS TOTALES EN CASCARILLA DE CAFÉ	59
TABLA 22. PESOS DE MUESTRAS Y MUESTRAS DE CASCARILLA DE CAFÉ DESPUÉS DEL SECADO	60
TABLA 23. PORCENTAJE DE CELULOSA EN CASCARILLA DE CAFÉ	60
TABLA 24. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE CAFÉ.....	61
TABLA 25. VALORES OBTENIDOS COMPARADOS CON REFERENCIAS.....	61
TABLA 26. VALORES DE DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA LA FORMULACIÓN	63
TABLA 27. RENDIMIENTO DE PULPA DE CELULOSA	65

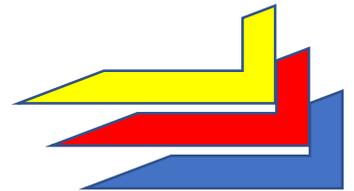


Índice de Anexos

<i>ANEXO 1. FIGURAS DEL MARCO TEÓRICO</i>	<i>1</i>
<i>ANEXO 2. FIGURAS DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	<i>3</i>
<i>ANEXO 3. FIGURAS DE EXTRACCIÓN DE PULPA DE CELULOSA</i>	<i>5</i>
<i>ANEXO 4. FIGURAS ANÁLISIS DE ALFA, GAMMA Y BETA CELULOSA</i>	<i>6</i>
<i>ANEXO 5. DIAGRAMAS</i>	<i>8</i>



Capítulo I





1.1. Introducción

En Nicaragua uno de los rubros más importante en la economía del país es el café, aportando más de 500 millones de dólares y generando más de 600 mil empleos en la época de corte. En el 2021, las exportaciones de Café crecieron 3,4% en volumen y 17,6% en valor. (El 19 Digital, 2022). Según datos del Banco Mundial, Nicaragua ocupa el undécimo lugar a nivel mundial entre los principales exportadores de café, en el ciclo 2019-2020 produjo 2.580 millones de sacos de 60 kilos.

El café se exporta en forma de grano oro, y para llegar a esto pasa por un largo proceso, empezando desde el mejoramiento de las semillas, viveros, siembra, manejo de cultivo, hasta llegar a su cosecha. Luego tenemos los distintos procesos que se realizan en los beneficios húmedos o secos, donde se van dejando residuos que no suelen ser aprovechados al 100%. Esto significa que, al ser un sector productivo tan grande, existe una gran cantidad de remanentes, entre estos se encuentra la cascarilla de café que es un sobrante propio del trillado del grano de café, el que es únicamente utilizado para generación de calor en hornos industriales. La cascarilla de café al ser un residuo orgánico que posee altas concentración de celulosa es una potencial materia prima para la extracción de pulpa de celulosa.

Esta investigación se realizó para proponer la cascarilla de café como fuente para la extracción de pulpa de celulosa, así mismo se propone una metodología de extracción, ocupando el método alcalino utilizando NaOH, y evaluar la incidencia de las condiciones operacionales: Temperatura, Tiempo y Concentración, por medio de un diseño experimental de Taguchi. Realizando análisis de caracterización físico-química a la materia prima y cuantificación alfa, gamma y beta celulosa presente en la pulpa de celulosa, utilizando las normativas internacionales TAPPI.



1.2. Planteamiento del Problema

La celulosa es la biomolécula más abundante en la tierra, entre los usos más comunes que se le ha dado esta la fabricación de papel, para el que ocupan árboles para la obtención de pulpa de celulosa, lo que a la larga se han convertido en un problema de interés mundial. Por lo que se debe de busca nuevas opciones para su obtención, y que sean rentables para la industria.

En el rubro del café van dejando residuos orgánicos durante todo su proceso de transformación, los que podrían ser ocupados como materias primas, para nuevos productos o incluirlos en procesos industriales, uno de estos residuos es la cascarilla de café.

Esta representa el 4% de peso del grano de café, y en grandes cantidades, en los beneficios llega a representar 17% del peso de café oro en quintales procesados, y hasta puede llegar a representar un 50% dependiendo de la calidad del grano (Finca y Beneficio Bariloche, 2022), dicha materia suele ser desaprovechada, porque al ser rica en celulosa, puede extraerse para realizar una variedad de productos como celuloide, rayón, etc. Y uno de esos productos es la pulpa de celulosa, la que es usas para la elaboración de diversos tipos de papel. Lo que agregaría un valor extra en el ciclo productivo del café.

A partir del problema antes expuesto se platea la siguiente pregunta: ¿Cuáles serían las condiciones adecuadas para la obtención de pulpa de celulosa a partir de la cascarilla de café?



1.3. Justificación

Esta investigación es de gran conveniencia para el amplio rubro del café ya que añadiría un valor agregado al proceso productivo, el que será aprovechado de manera más eficiente dado que la cascarilla, residuo del beneficio que es utilizado como fuente de calor, será utilizada como materia prima para la extracción de pulpa de celulosa. Siendo capaz de generar una fuente de ingreso tanto a nivel micro, como macroeconómico, ya que la materia prima es acopiada desde el pequeño productor hasta los grandes beneficios de café. Proponiéndose como un producto de alta oferta y demanda.

Desde una perspectiva económica, la investigación puede alentar el desarrollo de varias industrias en Nicaragua. Ya que en el país no se cuenta con industrias dedicadas a la obtención y/o transformación de la celulosa en sus diferentes sub productos, lo que implica que esos productos son importados de otros países de la región y se deja ir una cantidad de recursos.

En el campo científico la investigación será pionera en el país, para la obtención de pulpa de celulosa a partir de los residuos orgánicos de procesos productivos para no tener que recurrir a la deforestación. Así como para incentivar la investigación científica de manera general, demostrando que el país tiene la capacidad de innovar.



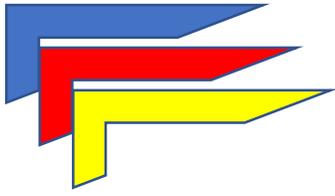
1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

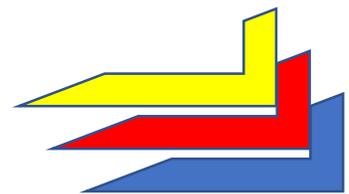
Extraer pulpa de celulosa a partir de cascarilla de café (*Coffea arabica*) por el *método Alcalino*, Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales (LOUI), Departamento de Química, UNAN-Managua, abril 2021 - noviembre 2022.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Proponer la cascarilla de café de la variedad *Coffea arabica* como materia prima para la obtención de pulpa de celulosa.
2. Realizar caracterización físico-química de la cascarilla de café bajo las Normas TAPPI códigos: T22 om-02, T252 om-16, T211 om-85, T211 om-02, ASTM D1107-21 y porcentaje de celulosa por el *Método Kurschner & Hoffer*.
3. Aplicar un método estadístico (*Minitab*), basado en el diseño de experimento *Taguchi*, para la obtención de pulpa de celulosa por el método alcalino.
4. Cuantificar la pulpa de celulosa obtenida por el *método Alcalino* mediante la norma TAPPI T203 cm-99.



Capítulo II





2.1. Marco Teórico

2.1.1. Café (*Coffea*)

El café se originó en África, en diferentes regiones geográficas y climáticas. Como grupo botánico está constituido por más de 100 especies de una gran “familia” pertenecientes al género *Coffea*. De acuerdo a la región y clima de origen se desarrollaron diferentes tipos de cafetos, con características genéticas diversas: porte y forma de planta, tamaño y color de fruto, resistencia a enfermedades, tolerancia a plagas, sabor de bebida, adaptabilidad, productividad, entre otras (Figura A1.1). De este centenar de especies, dos se cultivan comercialmente, *Coffea arabica* integrada por diferentes variedades de *arábica* y *Coffea canephora* formada por diferentes grupos de *robusta*. (Asociación Nacional de Café [Anacafé], 2019)

En el caso de Latinoamérica, las variedades tradicionales de *arábica* provienen de semillas de unas pocas plantas del centro de origen en Etiopía. Estas variedades son *Típica* y *Bourbón*, quienes han dado origen a otras por medio de mutaciones naturales o por cruzamientos espontáneos e inducidos, como el *Caturra*, *Mundo Novo*, *Catuaí*, *Pache*, *Villa Sarchí*, *Pacas*, *Maragogipe*, etc. Esta situación explica la estrecha base genética de todas ellas, característica que no les permite tener tolerancia a ciertas plagas o resistencia a ciertas enfermedades, incluida la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). (Asociación Nacional de Café [Anacafé], 2019)

2.1.1.1. Especies de Café

Del género *Coffea* existen más de 100 especies, sin embargo, solo 4 se cultivan ampliamente: Café *arábica* (*C. arabica*.), Café *robusta* (*C. canephora*), Café *liberiano* (*C. liberica* Mull ex Hiern), y Café *excelso* (*C. excelsa* A. Chev.). Pero solo las especies de *Árabe* y *Robusta* tienen principal importancia económica. (InfoAgro, s.f.)



2.1.1.1.1. Café arabica (*C. arabica*.)

Es nativo de las tierras altas de Etiopía, en elevaciones que oscilan entre los 1.350 y los 2.000 m. Siendo la especie más cultivada en el mundo y aporta aproximadamente el 60 % de la producción mundial de café, produce bebida de buena calidad. Las variedades más cultivadas de la especie arábica están las tradicionales que han permitido la producción nacional en cantidad y calidad de bebida, contribuyendo al acceso y posicionamiento de mercados especiales; estas son: Caturra, Catuaí, Pache, Pache Colís, Bourbonn Mundo Novo, Pacamara, Típica entre otras. (InfoAgro, s.f.)

En los últimos años se ha incrementado la siembra de variedades que tienen resistencia a la roya, como son los Catimores y Sarchimores. Son variedades híbridas que proceden del cruce de dos padres arábicos genéticamente distintos y han servido de base para el desarrollo de las variedades conocidas comercialmente como Anacafé 90, Catimor T-8667, Costa Rica 95, Lempira, Parainema, Sarchimor, Cuscatleco, Tupi, Geisha, Castillo, Marsellesa, entre otras. (InfoAgro, s.f.)

2.1.1.1.2. Café robusta (*C. canephora*)

Es nativo de los bosques ecuatoriales de Africa, desde la costa oeste hasta Uganda y la parte sur del Sudán, lo mismo que de la parte de África occidental, entre las latitudes de 10° norte y 10° sur, en elevaciones desde el nivel del mar hasta más o menos 1.000 metros de altura. Aporta alrededor del 40% de la producción mundial de café. (InfoAgro, s.f.)

Produce una bebida de menor calidad que la del café arábico, con la desventaja adicional de ser extremadamente variable de una planta obtenida por semilla a otra, sin embargo, el café robusta y sus híbridos con otras especies manifestaron características decididamente favorables: Inmunidad o gran resistencia a la roya y baja cantidad de fruta para la proporción de grano seco (3-5:1 en comparación de 5-6:1 para el café arábico). Dentro de los Robusta sobresalen 4 variedades de café: Conilón, Kouilloi, Niaouli y Uganda. (InfoAgro, s.f.)



2.1.1.1.3. Café liberiano (*C. liberica* Mull ex Hiern)

Es nativo de los alrededores de Monrovia en Liberia. Ha escapado del cultivo en la mayoría de los países a lo largo de la costa oeste de África. El café liberiano es un árbol sumamente ornamental y pronto fue conocido en muchas otras partes del mundo, después de su descubrimiento en 1872. Produce granos de baja calidad y tiene una proporción promedio de fruta fresca en relación con los granos secos de más o menos 10 a 1. En la Costa de Marfil son conocidas diversas variedades de café liberiano, entre ellas podemos mencionar; Ivorensis, liberiensis e indeniensis, siendo la última la que más se encuentra en cultivo. (InfoAgro, s.f.)

2.1.1.1.4. Café excelso (*C. excelsa* A. Chev.)

Fue descubierto en la región semiárida, del lago Chad en 1905. Se parece al café liberiano en el tamaño del árbol y las hojas, y en la consistencia de cuero de sus frutos, pero difiere de él en que tiene flores, frutos y granos más pequeños, estos últimos de regular calidad. En el comercio se encuentra muy poco café excelsa verdadero, debido a que los árboles cuando están completamente desarrollados son demasiado altos para poder recolectar la fruta con facilidad. En vez de ello, los frutos secos se recogen, a medida que caen. Este café es de baja calidad. (InfoAgro, s.f.)

2.1.2. Café Arábica (*Coffea arabica*)

El café arábica (*Coffea arabica*) es un arbusto de la familia de las rubiáceas nativa de Etiopía y/o Yemen, entre el este de África y la Península Arábiga, de ahí su nombre específico (Figura A1.2); es una de las dos especies principales de café que se cultivan a nivel mundial (la otra es *C. canephora*, comúnmente llamada Robusta. Arábica es, con mucho, la especie dominante, y se considera para producir la más alta calidad de la bebida. (Asociación Nacional del Café [Anacafé], 2016)

El arbusto alcanza entre 9 y 12 metros de altura por lo general, pero puede llegar a medir hasta 20 metros y vivir por 200 años aproximadamente en estado silvestre. Sin



embargo, eso depende de los ciclos productivos, las funciones biológicas, metabólicas y las facilidades de recolección.

Las hojas opuestas y simples, ovales u oblongas, de color verde oscuro, borde ondulado, base obtusa y ápice acuminado, aproximadamente de 15 cm de largo. Las flores son de color blanco y se producen en grupos, su olor es muy agradable, y muy similar al olor del jazmín. Dichas flores dan lugar a los frutos, una drupa carnosa y ovoide de color rojo brillante, llamados también cerezas, crecen en forma de racimos a lo largo de las ramas del árbol, cada fruto contiene dos semillas que yacen con los lados planos una contra el otra. Las semillas están cubiertas por el mucílago, una piel de pergamino y la pulpa.

Los frutos de *C. arabica* contienen menos cafeína que otras especies cultivadas comercialmente (Figura A1.3). La cantidad de veces que se puede cosechar café de cada árbol de Arabica varia, y depende de factores como la variedad o el clima donde se cultiva. Por lo general, un árbol puede producir entre 1 y 12 libras de café por año, y en casos aislados más. (Asociación Nacional del Café [Anacafé], 2016)

2.1.2.1. Cultivo del Café (*Coffea arabica*)

El café se cultiva casi en todas partes a lo largo del ecuador, también conocido como el Cinturón del Café, un área comprendida específicamente entre los trópicos de cáncer y capricornio. Después de la siembra, la planta tarda entre 18 o 20 meses para que nazcan los frutos, pero tienen que pasar de tres a cuatro años antes de la primera cosecha con gran pico de productividad. (Asociación Nacional del Café [Anacafé], 2016).

Las plantas necesitan mucho sol y lluvia (estación seca - estación lluviosa). Un clima húmedo y seco alternado es ideal. En general, el café necesita unas precipitaciones anuales de entre 1.500 y 3.000 mm, si bien el Arábica (Figura A1.4.) necesita menos que otras especies. El ciclo de períodos lluviosos y secos es importante para el crecimiento, la brotación y la floración. La cantidad de lluvia que se necesite dependerá de las propiedades de retención del suelo, la humedad atmosférica y la nubosidad, y también de las prácticas de cultivo. (International Coffee Organization [ICO], s.f.)



Las temperaturas por debajo del punto de congelación destruyen los cafetos. El arábica prospera mejor a altitudes de 600-2.000 metros y a 15-24 °C, mientras que el robusta a 200-900 metros y a 24-29 °C. La altura tropical favorece el aroma y la acidez, ya que allí el café crece y madura más lentamente. (Dethlefsen & Balk, s.f.)

2.1.3. El Café en Nicaragua

Los primeros datos del uso y siembra del café en Nicaragua los encontramos a partir de 1820. En esos años, el comerciante y aventurero inglés Orlando Roberts describió haber tomado café en Nicaragua allá por 1820, justo un poco antes de la Independencia, todavía en tiempos de la colonia española, cuando el gobernador de la Provincia de Nicaragua era don Miguel González de Saravia. En su libro publicado en Londres en 1827, Roberts refiere que le fue ofrecido café tanto en Managua como en León, y que él vio que se vendía en las casitas de los indios. Este café provenía necesariamente de plantíos sembrados desde tiempos coloniales. (Kühl E., 2004).

En Nicaragua el café es producido por 44.519 productores y productoras que cultivan un área total de 180.220 manzanas, equivalentes a 126.154 ha (IV Censo Nacional Agropecuario 2011). El 97,4% son pequeños y medianos cafetaleros que cultivan hasta 20 manzanas de café, equivalentes a 14 ha, estos cafetaleros poseen el 59% del área cultivada y generan aproximadamente el 45,2% de la producción nacional, con un rendimiento promedio de 13 quintales oro por manzana (equivalente a 18,6 quintales/ha). (Escobedo A., Bendaña E. & Gutiérrez R., s.f.).

Solórzano y Cáceres (2012) Siendo el café uno de los productos que juegan un papel fundamental en los medios de subsistencia de muchos hogares rurales de Nicaragua. Sólo en el año 2017, según datos del Banco Central de Nicaragua (BCN), las exportaciones FOB de café sumaron US\$510 millones de dólares. (Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible [Nicafé], 2019).

En diciembre de 2016 el Gobierno de Nicaragua emitió un decreto ministerial que permite el cultivo de café robusta en algunas áreas de la región del Pacífico. USDA (2017) afirma que la variedad más común es Caturra, la cual representa el 72 % de la producción,



mientras que el restante 28% está conformado por Borbón, Paca, Catuai, Catimore, Maragogipe y Pacamara. (Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible [Nicafe], 2019).

Actualmente el 95% del café producido en Nicaragua es cultivado en sombra, lo que garantiza una calidad suprema y a pesar de ser el duodécimo productor de café del mundo, la producción nicaragüense se concentra mucho más en una área del norte del país formada por solo cinco regiones: Estelí, Jinotega, Madriz, Matagalpa y Nueva Segovia. Cada uno de los lugares es único en términos de perfil de taza, ya que los diferentes microclimas de cada región influyen en la producción de una manera completamente diferente. Esto significa que, a pesar de ser ambos de Nicaragua, los cafés de Madriz y Nueva Segovia, generalmente tendrán perfiles de sabor distintos (Figura A1.5). (Castellano, 2021).

Según Buitrago presidente de la Asociación de Exportadores de Café de Nicaragua (EXCAM), Jinotega produce más que Matagalpa, alrededor de un 45% del café que se produce en Nicaragua proviene de Jinotega. Un 30% en Matagalpa y lo demás se cultiva en la Segovia. (Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible [Nicafe], 2022).

2.1.4. Procesamiento del Grano Café

Luego de la cosecha del fruto del café, productores deben mandar el grano a los beneficiados, donde pasan un proceso por el cual se obtiene el grano de café verde a partir de la cereza (Figura A1.6). Existen dos métodos más usados: El beneficiado seco y húmedo. Durante el proceso los granos se clasifican por tamaño mediante cribas y posteriormente se produce una clasificación que separa por color los granos enfermos. En los cafés de Alta Calidad antes de ensacarlos se realiza una última clasificación manual para eliminar las impurezas que quedan, así como los granos rotos. (Betiko Kafe , 2013)

2.1.4.1. Beneficio Húmedo

Este tipo de beneficio se realiza con una cierta cantidad de agua por lo que se utiliza donde el agua es abundante y es un procedimiento que proporciona cafés con muy buenas características en la taza. Se obtienen los cafés lavados o suaves de alta calidad. Esta



clasificación de los cafés nos indicara que se trata de cafés de calidad y normalmente se aplica a cafés de la variedad Arábica. (Betiko Kafe , 2013).

Consta de varias etapas:

1) Despulpado.

Los frutos, seleccionados a mano normalmente, se trasladan mediante un flujo de agua hasta una máquina en la que por un proceso mecánico se separa la parte canosa del fruto de los granos.

2) Fermentación.

Los granos así separados están rodeados del mucilago, que necesitamos eliminar. Esto se realiza en unos depósitos al aire libre, donde el café junto con agua se deja reposar unas horas dependiendo de la temperatura del agua, para que el mucilago fermente y se descomponga. (Figura A1.7).

3) Lavado.

A continuación, el café se lava con abundante agua y se transporta por unos canales en donde se separan las impurezas por densidad. (Figura A1.8).

4) Secado.

El café obtenido está húmedo por lo que es preciso secarlo. Esta operación se realiza en grandes superficies llamadas patios, en zonas donde no llueve en esta época, o bien en hornos. El secado se realiza hasta que el grano tenga únicamente entre un diez a un doce por ciento de humedad. (Figura A1.9).



5) Despergaminado y pulido.

El café una vez seco está listo para almacenar. Este café está rodeado de una película blanca amarillenta llamada Pergamino. Por este color amarillento el Café en esta etapa se llama Café Oro. El Café en este estado se almacena a granel en depósitos normalmente de madera. Cuando se va a clasificar y a envasar en sacos se le quita el Pergamino, lo cual se realiza mediante un proceso mecánico. (Betiko Kafe , 2013).

2.1.4.2. Beneficio Seco

El Beneficio por vía seca se realiza al resto de los Cafés fundamentalmente a los Robustas y también a algunos Arábicas como los brasileños. Se benefician por este método normalmente cafés que se han recolectado con métodos mecánicos o por ordeño, recolectando cerezas verdes y maduras a la vez. El proceso de separar los granos de la cascara mediante el secado natural al sol da nombre a los cafés beneficiados por vía Seca, llamándolos Cafés Naturales o NO lavados. (Betiko Kafe , 2013).

Consta de las siguientes etapas:

1) Secado.

Las bayas recolectadas, normalmente con menos cuidado que los que se van a beneficiar por vía húmeda, se secan al sol en un terrario ya que es necesario quitarle la humedad fundamentalmente en el mucilago. Es necesario estar removiendo continuamente el café a con palas y tapar si llueve. En lugares donde el secado natural es difícil, éste se realiza en secaderos resguardados.

2) Descascarillado y Despergaminado.

Los frutos una vez secos se tratan mecánicamente para separar la corteza seca y el pergamino de los granos. El café así obtenido se puede clasificar para eliminar los granos negros (mal fermentados).



3) Clasificación.

Normalmente para su comercialización el café se clasifica por tamaño mediante su cribado, antes de ser ensacados en sacos normalmente de sesenta kilos. (Betiko Kafe , 2013).

2.1.5. Cascarilla de Café

La cascarilla también llamada cisco o pergamino de café (Figura A1.10) es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa, correspondiente al endocarpio (pergamino) del fruto, la semilla se encuentra en una forma suelta dentro de esta, y representa alrededor de 12 % del grano de café en base seca. (Maldonado, 2018).

Es color blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor y se extrae mediante el proceso de trillado donde ocurre la separación de la semilla y el endocarpio. (Maldonado, 2018).

Esta cascarilla constituye una excelente fuente de celulosa, y lignina, pentosanos, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción. (Salas D, Penedo M., 2018).

2.1.5.1. Características Físicas-Químicas

De acuerdo a estudios realizados por (Roa, 2003), la cascarilla del café presenta un poder calorífico aproximado a 4180 cal/g o 7458 kcal/kg, cuya composición en material volátil es de 87,7% y el tamaño de la cascarilla ronda entre 0,425 y 2,36 mm de diámetro. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [CENICAFE], 2010).

Según (Montilla P., 2006) la cascarilla de café tiene la siguiente composición química: contenido de humedad de un 5 a 8%, materia seca 92,8%, extracto etéreo 0,6%, nitrógeno 0,39%, cenizas 0,5 a 0,6%, mantiene una densidad aparente promedio de 0,33 g/cm³, presenta un contenido de celulosa del 57% de cada 50 g obtenidos por kilogramo de café cereza. (Vazquez O, 2015).



2.1.5.2. Usos, Aplicaciones y Derivados de la Cascarilla de Café

La cascarilla o pergamino es separada del café oro en el proceso de trilla, mediante succión es trasladado y almacenado en bodegas y utilizada casi en su totalidad como combustible en donde se combina con leña, para efectuar la combustión en los hornos y calderas generadores de aire caliente para el secado del café. Ya que el poder calorífico de la cascarilla es de 4.200 Kcal/Kg. En menor proporción ésta es utilizada para mantener libre de humedad el lugar donde duermen las aves de corral y así mejorar las condiciones de calor en la que estos animales deben permanecer para poder desarrollarse. (Armas E., Cornejo N. & Muncia K., 2008).

En el área de construcción se encontró que los bloques con cascarilla de café entera son menos costosos que los hechos con cascarilla de café molida, esto es debido a que cuando las partículas son pequeñas requieren de mayor cantidad de cemento para ser cubiertas. (Sierra J., Roque H., & Medrano J., 2013).

También se desarrolló un nuevo método de siembra y trasplante utilizando macetas biodegradables a partir de cascarilla de café, su resistencia y viabilidad de compactación proporcionan las características necesarias para que este producto cumpla su función de siembra y trasplante de plántulas de hortalizas. (Zeledón J., Gahona J., Herrera M., & Dicoyskiy L., 2017).

Al igual que su uso para la preparación de sustratos para la siembra de almácigos de café y de otras plantas, elaboración de abonos orgánicos y biocompost. (Maldonado, 2018).

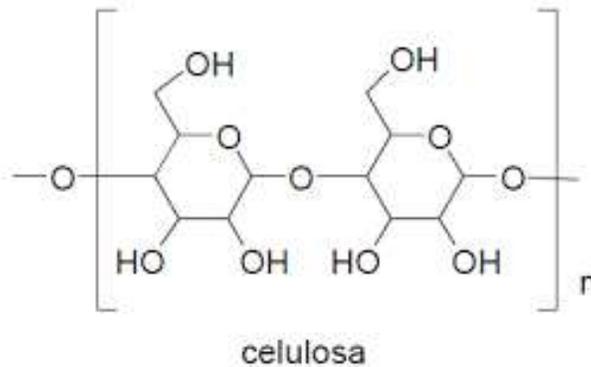
Tiene un gran potencial como sustituto del material arcilloso en la fabricación de materiales cerámicos de construcción para la obtención de cerámicos, para uso como revestimientos y pavimento de tipo residencial, logrando reducir la conductividad térmica del material y el aporte calórico al sistema. (Sanchez J., Alvarez D., & Gelves J., 2018).

2.1.6. Celulosa

Es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa; es pues un homopolisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacárido); es rígido, insoluble en agua, y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de β -glucosa. La celulosa



es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. Fue descubierta en 1838. (Blanch et al., 1983; Thonart et al., 1983).



Tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la rigidez necesaria.

Las fibras en los vegetales están unidas entre sí, por un material cementante de carácter termoplástico, denominado Lignina, localizada en la lámina media de las fibras, proporcionándole rigidez y resistencia al tejido vegetal. El contenido de hemicelulosa (carbohidratos de cadenas cortas principalmente pentosanos) se localizan a partir de la pared primaria, pero también se pueden encontrar en las fibras vegetales pectinas y ácidos grasos.

El consumo mayor de celulosa es para papel y cartones, en segundo lugar, para obtener fibras textiles (rayón), en el caso del algodón y el lino las fibras de celulosa son de gran pureza (90-95%) y tienen aplicación textil.

La celulosa también es utilizada en la fabricación de explosivos (el más conocido es la nitrocelulosa o "pólvora para armas"), celuloide, seda artificial y barnices. (Blanch et al., 1983; Thonart et al., 1983).



2.1.6.1. Tratamientos Químicos y Derivados de la Celulosa

2.1.6.1.1. Pulpa de Celulosa

La pulpa de celulosa o también conocida como pasta de celulosa es un material usado para la elaboración de cualquier tipo de papel y extraído de maderas pulpables blandas o duras; por lo general esta se obtiene de árboles como son: el pino, el eucalipto, el abedul, el alerce, el abeto y la picea. (Leonardo, 2014).

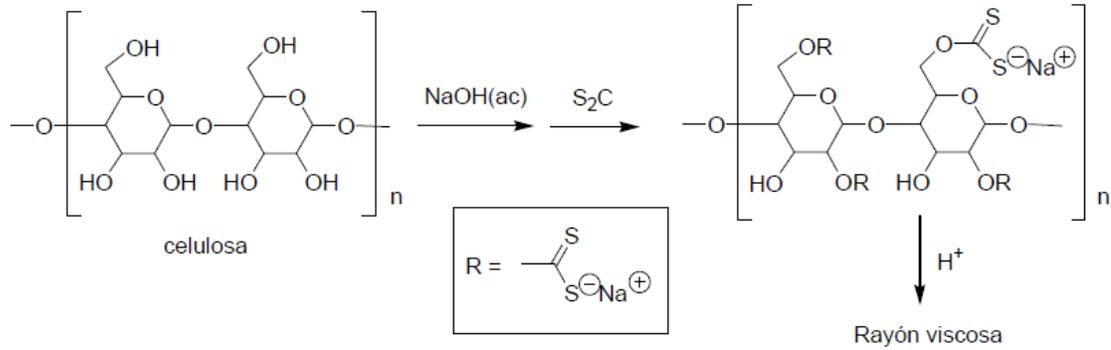
Su proceso de obtención se basa principalmente en tres pasos:

- 1) La corteza es retirada de la madera por medio de la añadidura de agua, así se ablanda y hace más fácil el desprendimiento. La corteza generalmente se emplea para las calderas de la planta como combustible.
- 2) La madera mantiene pequeñas fibras de celulosa que son separadas, ya sea por medio de la trituración o por el vapor. Cuando se emplea el vapor, por lo general el tipo de pulpa obtenida es conocida como termomecánica, mientras que cuando se le añaden sustancias químicas se denomina pulpa química.
- 3) La pulpa también puede ser producida a partir de papel de desecho, aunque este tipo de pulpa se emplea específicamente para la producción de periódico o papel sanitario. (Leonardo, 2014).

2.1.6.1.2. El Rayón o Viscosa (celulosa regenerada).

La celulosa recibe distintos tratamientos para poder utilizarla como fibra en la industria textil. La celulosa no se puede hilar por fusión ya que se descompone (carboniza) antes de fundir. (Tejedor, s.f.).

En la preparación de la fibra denominada viscosa las fibras de celulosa se tratan con una disolución de sosa y S_2C . La sosa produce rotura de cadenas de celulosa dando una celulosa de menor peso molecular. El xantato de celulosa así obtenido es una masa viscosa que se hace pasar a través de unos orificios de platino (hilado en húmedo). Las fibras resultantes se coagulan en un baño que contiene H_2SO_4 , Na_2SO_4 y $ZnSO_4$; así se obtiene una celulosa regenerada con una superficie brillante y sedosa. Las fibras obtenidas se estiran hasta 30 veces su longitud original, se recogen en bobinas y se secan para eliminar el disolvente (agua). Las fibrillas se tuercen y se estiran en haces, formando hilos.

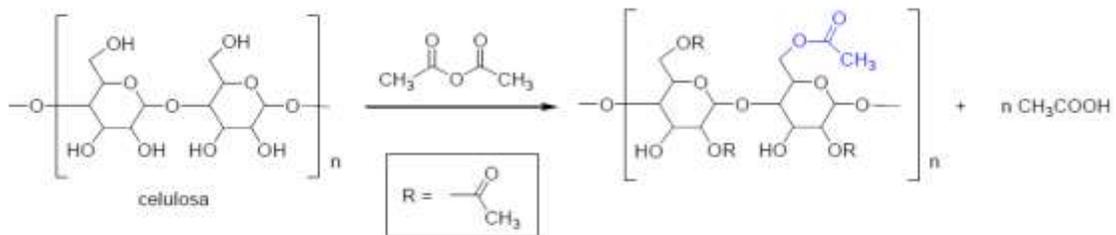


* Algún hidroxilo no reacciona con el S_2C .

Si la disolución de viscosa se extiende con laminadoras y posteriormente se coagula, se obtienen películas de tipo celofán. El papel de celofán se prepara enfriando rápidamente el film, para que el tamaño de los cristales sea menor que la longitud de onda de la luz, por ello resulta tan transparente a la luz visible y a la luz ultravioleta. La permeabilidad a los gases es muy pequeña, de ahí su uso para envases de bombones, cigarrillos y dulces entre otros. Se evita la pérdida de aromas y que se enrancien. (Tejedor, s.f.)

2.1.6.1.3. El Acetato de Celulosa

Es un derivado de la celulosa de gran consumo por su uso en lacas, películas fotográficas, cinematográficas, de RX y fibras. Se obtiene por tratamiento de la celulosa con anhídrido acético, en medio de ácido acético o de diclorometano. (Tejedor, s.f.).



El producto obtenido es el triacetato (tres grupos acetilo por unidad de glucosa). Para obtener fibras el producto se somete a una hidrólisis parcial para obtener alrededor de 2,5 grupos acetilo por unidad de glucosa. Esto se debe a que los enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo residuales refuerzan los hilos. El acetato de celulosa es soluble en



acetona y mezclas de acetona y etanol, y estas disoluciones se usan para hilarlo o laminarlo, eliminando posteriormente el disolvente por corriente con aire caliente.

Las láminas son el soporte para las películas fotográficas, cinematográficas y de RX. (Tejedor, s.f.).

2.1.6.1.4. Nitrocelulosa

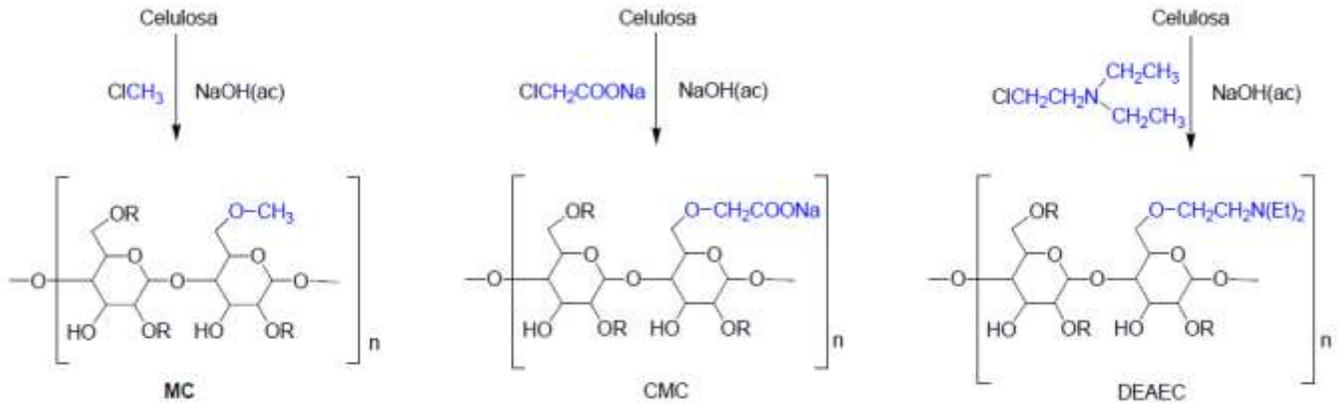
Se obtiene tratando la celulosa con una mezcla de HNO_3 y H_2SO_4 concentrados. El producto con un grado de nitración de 2,2 grupos nitrato por cada unidad de glucosa, es la pólvora sin humo propelente para proyectiles. La nitrocelulosa obtenida se gelatiniza con disolventes orgánicos, se moldea en forma de macarrones (propelente que llena las vainas de los proyectiles de artillería) o se corta en pequeños rombos que se pavonan con grafito (recubrir con una lámina delgada) y se usan en los proyectiles de fusil. (Tejedor, s.f.).

El primer plástico moldeable que se fabricó, en gran escala, en el primer tercio del siglo XX, fue el celuloide, una mezcla de nitrocelulosa y alcanfor, muy inflamable. Con celuloide se fabricaron películas fotográficas, juguetes, lacas y fibras textiles entre otros. Estos productos provocaban muchos incendios y fueron sustituidos por el acetato de celulosa u otros polímeros sintéticos.

La nitrocelulosa se utiliza, actualmente, para fabricar lacas y tintas brillantes; para ello se vende humectada con agua y alcoholes (isopropanol, butanol, isobutanol) o plastificada con ftalato de dibutilo, para disminuir el riesgo de incendio y explosión. Se almacena en edificios aislados, de paredes gruesas y techos ligeros, según reglamentaciones muy estrictas. (Tejedor, s.f.).

2.1.6.1.5. Metilcelulosa (MC), Carboximetilcelulosa (CMC) y Dietilaminoetilcelulosa (DEAEC).

Son éteres de celulosa con importantes aplicaciones científicas e industriales. Para obtenerlos se trata la celulosa con NaOH concentrada y caliente; con ello se producen rupturas de cadena. Esta celulosa se trata con los cloruros de alquilo correspondientes. (Tejedor, s.f.).



Las MC de bajo grado de metilación se hinchan y dispersan en agua, dando disoluciones coloidales muy viscosas con muy pequeña proporción de producto. Por ello se usan como espesante en las industrias farmacéutica, alimentaria, textil y de los detergentes. La CMC se usa como espesante, estabilizador de la suspensión en detergentes y como cambiador de cationes. La DEAEC es un intercambiador de aniones (estabilizante de dispersiones). (Tejedor, s.f.).

2.1.7. Pulpa de Celulosa

La fibra de celulosa que se utiliza en la fabricación del papel procede de la madera, ya se trate de fibra virgen, que siempre será necesaria para la industria papelera, o de fibra recuperada. La madera, recurso natural y renovable contiene del 40 al 60% de celulosa y la paja un 30%, es por tanto la materia prima básica del sector papelero. Más del 90% de la producción de celulosa se obtiene de la madera y el 10% restante de otras plantas. (Tejedor, s.f.).

Se estima que el papel producido a partir de la pasta o pulpa de celulosa tiene la característica y beneficio de ser reciclado y reutilizado por un aproximado de cuatro hasta siete veces, esto dependerá en gran parte de las fibras del cual está compuesto, es decir, si en cada proceso de reciclado estas se desgastan van minimizando la vida útil del papel. Por lo general, para evitar que este se acabe con mayor velocidad, las grandes empresas tienden a mezclar la pulpa de celulosa con papel virgen, esto a su vez asegura la calidad del papel. (Leonardo, 2014).



La celulosa blanca de fibra larga se usa principalmente para agregar resistencia a los papeles y cartulinas, y la celulosa blanca de fibra corta se usa para dar suavidad y como relleno. Dependiendo de la proporción en las mezclas se obtienen papeles para diferentes usos. (Tejedor, s.f.).

En el papel, las fibras de celulosa individuales se conforman en una red, tal como se puede ver en el borde roto de una hoja. Estas fibras se adhieren unas a otros por enlaces de hidrógeno. Estos enlaces son débiles comparados con los enlaces iónicos y los enlaces covalentes. La lignina corresponde sobre los efectos de unión que se producen entre las fibras y que ayudan a la consolidación del papel. El contenido de hemicelulosa son los que hay que conservar para beneficiar la fabricación de papel, debido a que favorecen la fibrilación, necesaria para producir los enlaces en el papel. Normalmente el contenido de hemicelulosa se incrementa hacia el centro de la fibra. (Tejedor, s.f.).

2.1.7.1. Métodos de Extracción de Pulpa de Celulosa.

La obtención de pasta de celulosa se basa en la separación de las fibras naturales (compuestas básicamente por celulosa). Para ello hay que disolver la lignina que mantiene unidas las fibras de celulosa de la madera por medios mecánicos (mediante la acción de molinos y refinadores) y químicos (disolviendo la lignina que mantiene unidas a las fibras) este modo se obtienen diferentes tipos de pastas papeleras, adecuadas para la fabricación de distintas variedades de papel. (Pasta y Papel, s.f.).

2.1.7.2. Método Químico

En el pulpeo o cocción química, la deslignificación se lleva a cabo con la ayuda de agentes químicos ácidos o básicos, en digestores o reactores a altas presiones y temperaturas. Las ligninas y las hemicelulosas se pierden, por lo que los rendimientos no pasan de entre 40 y 60%. Por otra parte, las fibras se blanquean mejor y son más resistentes y de mayor calidad.

Los métodos químicos se dividen en ácidos o alcalinos dependiendo del pH del reactivo. Los primeros son procesos más fuertes donde la separación de la celulosa es mejor y se pueden aplicar para fines químicos y para obtener papeles de buena calidad.



Tienen el inconveniente de no poder emplear maderas resinosas, pues a pH bajos los fenoles y ácidos de las resinas se condensan con la lignina formando complejos insolubles y coloreados que manchan la pasta. Por el contrario, en los métodos alcalinos, esas sustancias se eliminan en las lejías residuales en forma de sales o fenolatos solubles. (Carrasco, 1988).

Los que se emplean son:

➤ **Pulpa Kraft**

También conocida como pulpa sulfato consiste en combinar astillas de madera con licor blanco (es una solución acuosa de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio). En condiciones de presión y temperatura elevadas, esta solución disuelve la lignina y libera fibras celulósicas. Después de completar la reacción de digestión, se obtiene un licor negro y pulpa de celulosa. El licor contiene sustancias orgánicas disueltas que se recuperan y pueden contener nuevamente en el proceso químico. La lignina se elimina de la masa en el proceso de deslignificación de oxígeno (en presencia de oxígeno e hidróxido de sodio). (PCC-Grup, 2020).

➤ **Pulpa Sulfito**

Consiste en utilizar una solución acuosa de dióxido de azufre en presencia de álcalis (Ej. Calcio, magnesio, sodio y amonio). Los productos obtenidos en este proceso son más livianos y fáciles de blanquear, sin embargo, tienen una resistencia mucho menor en comparación con la pulpa de sulfato controlados con más frecuencia. El proceso de sulfito también requiere una cuidadosa selección de la materia prima de la madera; este método es intolerante, por ejemplo, para la madera de pino. (PCC-Grup, 2020).

➤ **Pulpa Alcanina**

Es el más antiguo y el más simple de los procesos químicos y continúa utilizándose a escala reducida. Se utiliza Hidróxido de sodio para la degradación de la lignina. Produce fibras cortas y fácilmente blanqueables, pero abundantes en pentosas. También se emplea el método a la sosa tradicional en especies fácilmente delignificables como en el caso de las pajas de cereales, (Jiménez, 1993).



2.1.7.3. Método Mecánico

El pulpado mecánico comenzó a emplearse a mitad del siglo pasado y fue el primer proceso que permitió el uso de madera como materia prima para la obtención de pulpas. En estos procesos se recurre esencialmente a medios mecánicos para la individualización de las fibras y el desarrollo de las propiedades de las pulpas. (Zanuttini,2006).

Inicialmente las pulpas mecánicas tuvieron una reducida aceptación por su baja resistencia. Esta deficiencia sigue siendo una de sus limitantes, pero actualmente las pulpas de muy alto rendimiento (incluyendo desde las mecánicas puras y quimimecánicas) constituyen un 25 % de la producción mundial de pulpas y esta proporción es creciente debido, entre otras cosas, a los avances tecnológicos de estos procesos en las últimas dos décadas que han permitido la extensión de su aplicación.

Actualmente se producen comercialmente los siguientes tipos de pulpas de muy alto rendimiento:

➤ **Pulpa Mecánica de Piedra o “Ground Wood Pulp” (GWP) y Piedra Presurizada o “Pressurized Ground Wood” (PGW)**

Fue el proceso inicial de pulpado mecánico. Utiliza como materia prima troncos que son mantenidos a presión contra la superficie periférica de la piedra cilíndrica rotativa de gran tamaño (Figura 8). Los ejes de los troncos se ubican paralelos al de la piedra. Abundante agua se rocía sobre la piedra para desprender la porción separada. Un dispositivo de bolsillos trabaja en forma alternada para dar un funcionamiento continuo sobre la piedra. El exceso de pulpa diluida producida vuelca de la batea. Además de fibras individuales y finos, se desprenden trozos de la madera (haces fibrosos) que deben luego ser separados de la pulpa en un proceso de depuración que es común a todos los procesos mecánicos

➤ **Pulpa Mecánica de Refinador o “Refiner Mechanical Pulp” (RMP)**

Se emplean molinos de discos de barras partiendo desde madera en forma de astillas. Estos equipos pueden llegar a tener un diámetro de hasta 1,7 m y pueden llegar a aplicar una potencia de hasta 20.000 HP. Pudiendo disponerse varios en forma paralela. Se opera normalmente en dos etapas denominadas desfibrado y refino. Las astillas son llevadas a haces fibrosos y estos progresivamente a fibras y finos. Los discos pueden tener distinto patrón



desde el centro hacia la periferia. El pulpado de refinador permite obtener un número mayor de fibras enteras y dando lugar a la formación de cintas. La pulpa presenta mayor resistencia con relación a la mecánica de piedra, aunque con un requerimiento de energía algo mayor (1400-1800 kwh/t)

➤ **Pulpa Termomecánica o “Thermo Mechanical Pulp” (TMP)**

Empleando molinos de discos se opera en este caso a mayor temperatura bajo presión. Las astillas son precalentadas a 120-130 °C con vapor y el refinador actúa bajo presión. Se opera clásicamente en dos etapas, la primera presurizada y la segunda atmosférica y a menor temperatura. Modernamente y para equipos grandes se opera en una única etapa presurizada.

➤ **Pulpa Quimimecánica o “Chemi (Thermo) Mechanical Pulp” (CMP o CTMP)**

Se aplican en estos procesos tratamientos químicos incipientes con escasa o nula disolución de lignina, los cuales producen sobre las maderas cambios estructurales que conducen a una mayor preservación de la integridad fibrosa y una mayor flexibilización de las fibras. Para las latifoliadas en particular tiene lugar la aparición de finos fibrilares inexistentes en una GWP y escasos en una RMP. El resultado es una pulpa más resistente, aunque esta pierde gradualmente, en función del nivel de acción química, las características particulares de la pulpa mecánicas como es, por ejemplo, su alta opacidad. (Zanuttini,2006).

2.1.8. Normativas TAPPI

En 1915, treinta fabricantes de papel emprendedores se reunieron decididos a formar un nuevo brazo técnico de la American Paper & Pulp Association (APPA). Su idea era recopilar y difundir información sobre asuntos que tienen que ver con la producción. Este grupo con visión de futuro quería crear un foro donde se pudiera canalizar la información y se pudieran intercambiar ideas. En menos de un año, nació TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries, por sus siglas en inglés) (Figura A1.11). (Technical Association of the Pulp and Paper Industries [TAPPI], s.f.).

Es una asociación sin fines de lucro, actualmente dirigida por voluntarios que se construye alrededor de una comunidad compuesta por miles de ingenieros miembros, gerentes, científicos, académicos, proveedores y otros de todo el mundo. La sede se encuentra



justo a las afueras de Atlanta, Georgia, EE. UU. Como organización de desarrollo de estándares certificados por ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares), los estándares revisados por pares de TAPPI aseguran que los productos cumplan con las mejores prácticas reconocidas por la industria. Nuestros estándares no solo demuestran cómo maximizar el rendimiento, sino que también proporcionan nuevas ideas y métodos operativos para mejorar la producción. (Technical Association of the Pulp and Paper Industries [TAPPI], s.f.).



2.2. Antecedentes

Internacionales

En 2017, en Colombia, Industria colombiana de Café S.A libero una patente “Material compuesto de celulosa obtenida de cascarilla de café o cacao, articulo que comprenden el mismo y proceso de obtención” con el objetico de fabricar empaques de papel primarios, secundarios y terciarios, extrayendo la pulpa de celulosa por el método Kraft y posteriormente adicionar un material para la liberación de aromas, esta mezcla se pude realizar mediante extrusión, mezclado mecánico o solución. El material contara con una estructura laminada, por medio de prensado. La unión de las diferentes capas, se obtiene al hacer pasar las diferentes capas por rodillos a presión, velocidad y temperatura controlada. (Industria Colombina de Café S.A, 2017).

En 2014, en México, Aguilar, Houbron, Rustrian y Reyes, realizaron una investigación “Papel Amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (Residuo de beneficio húmedo)” con el objetivo de analizar y comparar las características químicas de la pulpa de café, como materia prima para papel amate de mayor calidad, que el producido con la corteza de otras especies. La extracción de la celulosa se realizó por el método alcalino con NaOH al 5% p/p. Los resultados mostraron que las características estructurales y químicas de la pulpa celulósica de pulpa de café presentaron facilidad de fabricación de papel, debido a sus propiedades de adhesión, formación y aglutinación de fibras similares a la alta calidad del producto final como el papel amate derivado de corteza del árbol, el método utilizado de extracción mostro rendimiento de eficiencia de pulpeo de 32.05%. (Aguilar, Houbron, Rustrian y Reyes, 2014).

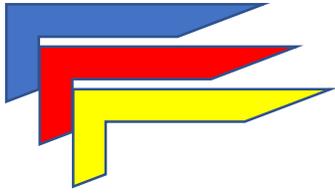
Nacionales

En la investigación bibliográfica en páginas web de repositorios de universidades nacionales, no se encontró ninguna investigación referente a la extracción de Pulpa de celulosa en cascarilla de café.

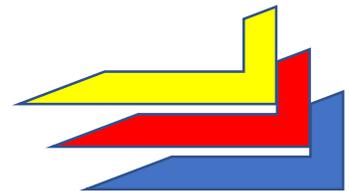


2.3. Hipótesis

La cascarilla de café debido a su contenido de celulosa es un residuo agroindustrial que puede ser aprovechado para la obtención de pulpa de celulosa por el método alcalino.



Capítulo III





3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Ámbito de estudio

La presente investigación pertenece a las líneas de investigación de la Carrera de Química Industrial del Departamento de Química, UNAN-Managua, línea de investigación de producción industrial, en el tema de interés síntesis y desarrollo de nuevos materiales químicos, agroquímicos y alimenticios a partir de materia prima orgánica.

Desde el punto de vista geográfico se ubica en Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales (LOUI) perteneciente al Departamento de Química, ubicado en el pabellón 01, donde se realizaron los análisis de caracterización Físico-Químicas en la cascarilla de café tomando como base las Normas de TAPPI, y para cuantificar el Porcentaje de celulosa en materias primas se utilizó el Método de Kurschner & Hoffer, con el objetivo de evaluar su potencial uso como materia prima para la extracción de pulpa de celulosa, cabe mencionar que la Normas TAPPI sugieren este método desde 1978. También se realizaron nueve corridas experimentales para la extracción de Pulpa de celulosa y la cuantificación de Alfa, Gamma y Beta Celulosa en dicha Pulpa, análisis regido por las Normativas TAPPI.

La cascarilla de café se obtuvo seleccionando como población micro lotes de dicha materia prima, y con ayuda de un muestreo aleatorio simple se obtuvo una muestra compuesta, realizándose en las instalaciones del Beneficio CECOCAFEN S.A, ubicado en el Km 120 carretera Managua - Matagalpa.

3.1.2. Tipo de estudio

Según el enfoque filosófico la investigación es cuantitativa (Sampieri R., Fernandez C. & Baptista P., 2014) ya que se cuantifican las características físico-químicas de la cascarilla de café, del tipo experimental ya que se emplea un diseño experimental ortogonal, Taguchi, donde se manipulan las variables del experimento; así mismo cuantificar los valores de alfa, gamma y beta celulosa en las pulpas de celulosas obtenidas en la corrida experimental.



El nivel inicial de profundidad del conocimiento es Descriptivo, ya que se describen cada una de las características físico-química de la cascarilla de café. La relación que existe entre las variables estudiadas es de tipo correlacional, debido a que la modificación de una variable influye en el cambio de la otra, que dependiendo del porcentaje de celulosa presente en la cascarilla de café se obtendrá pulpa de celulosa, y depende del método de extracción empleado. De acuerdo a la información recolectada el estudio es de tipo retro-prospectivo, dado que se toma información previamente analizada y comprobada como lo son las normas estandarizadas TAPPI que se tomarán como referencia para la realización de los análisis correspondientes, a su vez, los resultados se obtuvieron durante el proceso de investigación.

Según el periodo y secuencia de mediciones, corresponde a un estudio transversal, porque los análisis se realizarán una sola vez. El alcance de los resultados que tendrá el estudio es analítico, puesto que se analizarán los resultados de los experimentos realizados a lo largo de la investigación.

3.1.3. Población y Muestra

3.1.3.1. Población

Se considera como población 10 micro lotes de cascarilla de café de la variedad *Coffea arabica*, del Beneficio CECOCAFEN S.A ubicado en el Km 120 carretera Managua – Matagalpa.

3.1.3.2. Muestra

La obtención de las muestras se realizará mediante un muestreo aleatorio simple, cumpliendo con los criterios de exclusión, se tomarán diez muestras de 500 g de la población, posteriormente se homogeneizarán para formar una muestra compuesta, siendo depositada en una bolsa de polietileno previamente rotulada.

3.1.3.3. Criterios de Inclusión

- Cascarilla de café de la variedad *Coffea arabica*.



3.1.3.4. Criterios de Exclusión

- Cascarilla en estado de putrefacción.
- Cascarilla con más de quince días almacenada en el beneficio.

3.1.4. Variables y Operacionalización

3.1.4.1. Variable Independiente

- Tamaño de partícula.
- Porcentaje de lignina.
- pH.
- Porcentaje de humedad.
- Porcentaje de ceniza.
- Porcentaje de extractivos totales.
- Porcentaje de celulosa.

3.1.4.2. Variable Interviniente

- Temperatura.
- Tiempo de cocción.
- Porcentaje de NaOH.
- Volumen de solución.
- Masa de cascarilla de café.

3.1.4.3. Variable Dependiente

- Porcentaje de Alfa, gamma y beta celulosa.
- Rendimiento.
- Masa de Pulpa de celulosa.



3.1.4.4. Operacionalización de Variables

Tabla 1. Operacionalización de Variables

Variables Independientes					
Etapa	Variable	Indicador	Valor	Herramienta de investigación	Tipo de variable
Caracterización de la cascarilla de café	Tamaño de partícula	mm	<2	Método experimental	Cuantitativa continua
	Porcentaje de lignina	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua
	pH	-	-	Método experimental	Cuantitativa continua
	Porcentaje de humedad	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua
	Porcentaje de ceniza	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua



Porcentaje de extractivos Totales	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua
Porcentaje de celulosa	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua

Variables intervinientes

Etapa	Variable	Indicador	Valor	Herramienta de investigación	Tipo de variable
	Temperatura	°C	40-65-90	Documental	Cuantitativa continua
	Tiempo de cocción	minutos	60-135-240	Método experimental	Cuantitativa continua
Extracción de pulpa de celulosa	NaOH	%	9-14-19	Documental	Cuantitativa continua
	Volumen de la solución	mL	200	Documental	Cuantitativa continua
	Masa de cascarilla de café	g	20	Método experimental	Cuantitativa continua



Variables Dependientes					
Etapa	Variable	Indicador	Valor	Herramienta de investigación	Tipo de variable
Caracterización de la pulpa de celulosa	Porcentaje de Alfa, gamma y beta celulosa	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua
	Rendimiento	%	-	Método experimental	Cuantitativa continua
	Masa de pulpa de celulosa	g	-	Método experimental	Cuantitativa continua

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



3.1.5. Materiales y Método

3.1.5.1. *Materiales para Recolectar Información*

Ya que la información fue recolectada de fuentes información secundarias, se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos para recolectar los datos:

Información obtenida desde documentos:

- a) Normativas.
- b) Monografías.
- c) Sitios Web.
- d) Artículos científicos.
- e) Patentes.
- f) Revistas Científicas.
- g) Catálogos.
- h) Ficha de laboratorio.
- i) Teléfono celular.
- j) Celulares Samsung J8 y Xiaomi Redmi note 9.

3.1.5.2. *Materiales para Procesar la Información*

Se utilizaron diferentes programas para procesar, juntar, ordenar y clasificar la información reunida, facilitando el trabajo investigativo.

Siendo utilizados los siguientes:

- a) Office Word 2016.
- b) Office Excel 2016.
- c) Office Power Point 2016.
- d) Minitab 2013.
- e) Computadoras Hp 1530 y Gateway 15.6



3.1.5.3. *Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos*

Tabla 2. Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de Porcentaje de Lignina (TAPPI T22 om-02)

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	4 g	Cascarilla de café
Algodón	-	Estéril
Balanza Analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Horno	1	J.P SELECTA, s.a (Max 250°C)
Espátula	2	Metal
Termómetro	1	Mercurio
Balón aforado	1	100 mL
Beaker	4	25 mL
Succionador	1	Plástico
Pipeta volumétrica	1	25 mL
Varilla de agitación	4	Vidrio
Baño maría	2	Eléctrico
Balón de fondo plano	4	500 mL
Probeta	1	100 mL
Soporte universal	4	Metal
Refrigerante	4	Tipo serpentín de Vidrio
Pinzas tres dedos	8	Metal
Pinza circular	4	Metal
Mangueras	5	Plástico



Manta de calentamiento	4	Eléctrica
Embudo tipo gooch	1	Porcelana
Kitasato	1	500 mL
Bomba al vacío	1	Eléctrica
Papel filtro	8	Diámetro 90mm
Corcho	1	Caucho
Capsula	4	Porcelana
Desecador	1	Sílice gel
Pinzas para crisol	1	Metal

Reactivo	Formula	Especificación
Hielo	-	-
Agua destilada	H ₂ O	Grado 1
Ácido sulfúrico 98 %	H ₂ SO ₄	Grado reactivo

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 3. Materiales Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de pH (TAPPI T252 om-16)

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	40 g	Cascarilla de café
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Algodón	-	Estéril
Beaker	4	25 mL
Termómetro	1	Mercurio
Refrigerante	4	Tipo serpentín de Vidrio
Balón de fondo plano	4	250 mL
Manguera	5	Plástico



Manta de calentamiento	4	Eléctrica
pHmetro	1	Portátil
Reactivo	Formula	Especificación
Agua destilada	H ₂ O	Grado 1

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 4. Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de Determinación de Porcentaje Humedad (TAPPI T211 om-85)

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	4 g	Cascarilla de café
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Papel Aluminio	1	-
Horno	1	J.P SELECTA, s.a (Max 250°C)
Capsula de porcelana	4	Porcelana
Desecador	1	Vidrio
Pinza para capsula	1	Metal

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 5. Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de Determinación de Porcentaje de Cenizas (TAPPI T211 om-02)

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	8 g	Cascarilla de café
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Mufla	1	
Crisol	4	Porcelana
Pinza para crisol	1	Metal

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Tabla 6. Materiales Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de Porcentaje de Extractivos Totales (ASTM D1107-21)

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	12 g	Cascarilla de café anhidra
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Papel Aluminio	1	-
Equipo Soxhlet	5	24/40
Pinzas	5	Porcelana
Plancha calefactora múltiple	1	Metal
Balón de ebullición	3	250 mL
Beaker	2	50 mL
Probeta	1	1000 mL
Balón aforado	1	1000 mL

Reactivo	Formula	Especificación
Etanol	C ₂ H ₅ OH	Grado reactivo
Tolueno	C ₇ H ₈	Grado reactivo

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 7. Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de Porcentaje de Celulosa (Método Kurschner & Hoffer)

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	4 g	Cascarilla de café
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Horno	1	J.P SELECTA, s.a (Max 250°C)
Espátula	2	Metal
Beaker	5	25 mL
Beaker	2	500 mL
Probeta	1	100 mL
Succionador	1	Plástico



Pipeta	1	10 mL
Termómetro	1	Mercurio
Balón aforado	1	250 mL
Balón de fondo plano	5	250 mL
Soporte universal	5	Metal
Refrigerante	5	Tipo serpentín de Vidrio
Pinzas tres dedos	10	Metal
Mangueras	5	Plástico
Algodón	-	Estéril
Baño María	5	Eléctrico
Embudo tipo gooch	1	Porcelana
Kitasato	1	500 MI
Bomba al vacío	1	Eléctrica
Papel filtro	5	Diámetro 90mm
Corcho	1	Caucho
Desecador	1	Sílice gel
Pinzas para crisol	1	Metal

Reactivo	Formula	Especificación
Agua destilada	H ₂ O	Grado 1
Etanol 99,8 %	C ₂ H ₅ OH	Grado Reactivo
Ácido nítrico 65 %	HNO ₃	Grado Reactivo
Acetato de sodio 99,5 %	C ₂ H ₃ NaO ₂	Grado Reactivo

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 8. Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos para Diseño Experimental para la Formulación de Pulpa de Celulosa por Método Alcalino

Materiales y Equipo	Cantidad	Especificación
Analito	180 g	Cascarilla de café
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Horno	1	J.P SELECTA, s.a (Max 250°C)



Beaker	9	400 mL
Planchas de calentamiento	3	Eléctrico
Balón de aforo	3	200 mL
Agitadores	3	Magnéticos
Tamiz	1	>2 mm
Filtro	1	>1 mm

Reactivo	Formula	Especificación
Agua destilada	H ₂ O	Grado 1
Agua	H ₂ O	Purificada
Hidróxido de Sodio	NaOH	Grado Reactivo

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 9. Materiales, Equipo de Laboratorio y Reactivos para Análisis de Alfa, Beta y Gamma Celulosa (TAPPI T203 cm-99)

Nombre	Cantidad	Especificación
Batido de Inmersión	1	Marca Black and Becker
Analito	1,5 g	Cascarilla de café
Balanza analítica	1	Adventure-Pro AV114 (Max 110g)
Horno	1	J.P SELECTA, s.a (Max 250°C)
Pinza para bureta	2	Metal
Agitador	2	Vidrio
Vidrio reloj	3	Vidrio
Baño maría	2	Eléctrico
Soporte universal	2	Metal
Gotero	2	Plástico
Embudo	9	Vidrio
Pipeta	13	10 mL
Balón de aforo	1	100 mL



Balón de aforo	2	1000 mL
Balón de aforo	1	500 mL
Balón de aforo	1	2000 mL
Erlenmeyer	18	250 mL
Erlenmeyer	9	500 mL
Filtro	20	90 mm
Probeta	2	100 mL
Bureta	2	50 mL

Nombre	Formula	Especificación
Agua destilada	H ₂ O	Grado 1
Hidróxido de sodio 17.5%	NaOH	Grado Reactivo
Dicromato de potasio 0,5 N	K ₂ Cr ₂ O ₇	Grado Reactivo
Sulfato ferroso de amonio o sal de mohr 0.1 N	(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	Grado Reactivo
Indicador Ferroína	[Fe(o-phen) ₃]SO ₄	Grado Reactivo
Ácido sulfúrico concentrado (H ₂ SO ₄) 98%	H ₂ SO ₄	Grado Reactivo
Solución de ácido sulfúrico 3N	H ₂ SO ₄	Grado Reactivo

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

3.1.5.4. Método

Para el desarrollo experimental de la investigación, se realizó una caracterización Físico-Química a la cascarilla de café tomando en cuenta los parámetros: Porcentaje de Lignina (TAPPI T 222 om-02), pH (TAPPI T 252 om-16), Determinación de Porcentaje de Humedad (TAPPI T 211 om-85), Determinación de Porcentaje de Cenizas (TAPPI T 211 om-02), Porcentaje de Extractivos Totales (ASTM D1107-21) y Porcentaje de celulosa (Método Kurschner & Hoffer).

Se usó el programa Minitab para facilitar el diseño experimental usando Taguchi como análisis estadístico delimitando a nueve ensayos, utilizando factor y nivel 3L, que significa las 9 corridas con 3 variables diferentes, donde se varia la Temperatura a 40°C,



65°C y 90°C, Tiempo a 60 min, 135 min, y 240 min y Concentración 9%, 14%, y 19% de NaOH.

Posteriormente se realizó un cálculo de rendimiento y cuantificación de celulosa en cada una de las nueve muestras de la corrida experimental tomándose en cuenta el Análisis de alfa, beta y gamma celulosa en pulpa de celulosa (TAPPI T203 cm-99).

3.1.5.4.1. Caracterización Físico-Química de cascarilla de café.

➤ Determinación de Porcentaje de Lignina (TAPPI T 222 om-02)

Procedimiento

Inicialmente se preparó 100 mL de ácido sulfúrico al 72%, posteriormente se procedió a pesar 1 g de cascarilla de café, agregándoles 15 mL de ácido sulfúrico al 72%, en agitación constante en baño maría a 20 °C por 2 horas; se transfirió a un balón de 500 mL y se le añadió 360 mL de agua destila, para diluir la solución hasta alcanzar una concentración de ácido al 3%.

La muestra se hirvió a reflujo a una temperatura de 100 °C por 4 horas, asegurando un volumen contante de agua. Al finalizar se colocó el balón en posición inclinada a 45° aproximadamente por 12 horas, hasta que la solución estuvo completamente dividida, se decantó la solución limpia y se realizó una filtración al vacío usando un embudo tipo Gooch y papel filtro, posteriormente se lavó con agua destilada caliente y el precipitado se secó en un horno electro a 105 °C hasta alcanzar un peso constante.

Formula:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{\text{Peso seco de lignina (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$



➤ **Determinación de pH (TAPPI T 252 om-16)**

Procedimiento

Se pesó 10 g de muestra de cascarilla de café, colocándose en un balón de 250 mL, agregando 100 mL de agua destilada y se hirvió a reflujo por 3 horas a 100 °C.

Al finalizar se removió el balón y se dejó enfriar hasta por 25 min, para posteriormente medir el pH a la solución con el pHmetro portátil previamente calibrado con soluciones patrón de pH 4, 7 y 10.

➤ **Determinación de Porcentaje de Humedad (TAPPI T 211 om-85)**

Procedimiento

Se preparó la capsula de porcelana en el horno a 105 °C, hasta llegar a peso contante, se dejó enfriar en desecador y pesar. Se pesó 1 g de muestra de cascarilla de café en la capsula y se llevó al horno por 24 horas a 105 °C.

Al finalizar se dejó enfriar la capsula en el desecador y se procedió a pesar.

Formula:

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_i}$$

P_i = Peso de la muestra

P_f = Peso de la capsula

➤ **Determinación de Porcentaje de Cenizas (TAPPI T 211 om-02)**

Procedimiento

Se preparó el crisol en la mufa a 525 °C hasta llegar a peso contante, se dejó enfriar en el desecador y pesar. Se pesó 2 g de cascarilla de café en el crisol, se colocó en la mufla fría y se elevó la temperatura a 100 °C por 60 minutos, posteriormente se incrementó la temperatura lentamente hasta llegar a 525 °C y permaneció a esa temperatura por 3 horas. Al finalizar se colocó la tapa al crisol, se dejó enfriar en el desecador y posteriormente se pesó.



Formula:

$$\%Ceniza = \frac{A}{B} \times 100$$

A= peso de las cenizas

B= peso de la muestra

➤ **Porcentaje de Extractivos Totales (ASTM D1107-21)**

Procedimiento

Inicialmente se preparó 2 muestras de 2 g cada una para determinar la humedad (P) de la muestra a utilizar, colocándolas en el horno por 1 hora a 105 °C y por último pesar.

Se pesó el dedal y 2 g de cascarilla de café anhidra colocándole una malla fina en la parte superior para evitar pérdida de muestra, posteriormente se preparó el solvente a utilizar Etanol-Tolueno con una relación 1:2, se agregó 150 mL aproximadamente de solvente al balón de ebullición, se colocó el dedal con la muestra dentro del Soxhlet y se extrajo los solubles por 6 horas.

Al finalizar se extrae el dedal y se deja evaporar parcialmente el solvente, para posterior secarlo en el horno a 105 °C por una hora, enfriar en el desecador y pesar.

Formula:

$$\%Extractivos Tol = \frac{W_f}{(W_i)(P)} \times 100$$

W_i= Peso de la muestra.

W_f= Peso seco final de la muestra

P= % de humedad de la muestra

➤ **Porcentaje de Celulosa (Método Kurschner & Hoffer)**

Procedimiento

Se pesó 1 g de muestra de cascarilla de café libre de extractos, se introdujo en el balón de 250 mL y se añadió 20 mL de Etanol y 5 mL de Ácido Nítrico concentrado (relación 1:0,25), se hirvió a reflujo en baño maría por 30 min, se desechó la solución y el sólido se sometió a una segunda digestión durante 30 min con 25 mL Etanol-Ácido Nítrico.



Se realizó una decantación como en la etapa anterior y se efectuó una tercera digestión con 100 mL de agua destilada por una hora. La muestra se filtró en un filtro Gooch, se lavó con agua destilada caliente, posteriormente con 100 mL de solución saturada de acetato de sodio y por último con 500 mL de agua destilada caliente.

El residuo se secó en un horno eléctrico a una temperatura de 105°C, cuando el residuo estuvo seco, se procedió a enfriarlo en el desecador y por último se pesó la muestra seca.

Formula:

$$\%Celulosa = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

P_i= Peso de la muestra

P_f= Peso seco de la muestra

3.1.5.4.2. Diseño Experimental para la Formulación de Pulpa de Celulosa por Método Alcalino

➤ **Proceso de Extracción de Pulpa de Celulosa**

Procedimiento

Primeramente, se procedió a reducir de partícula la cascarilla de café utilizando un molino industrial eléctrico y tamizar la muestra en un tamiz menor a 2mm.

Se pesó 20g de cascarilla de café para cada una de las 9 corridas experimentales y se prepararon las soluciones de NaOH a su correspondiente concentración, para posterior realizar cada uno de los experimentos con sus respectivas variables como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Diseño Experimental Taguchi

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Concentración (%)
M1	40	60	9
M2	40	135	14
M3	40	240	19
M4	65	60	14



M5	65	135	19
M6	65	240	9
M7	90	60	19
M8	90	135	9
M9	90	240	14

Fuente: (Blandino & Rodríguez,2022)

Posteriormente se dejó enfriar la digestión a temperatura ambiente y se filtró la pulpa de celulosa en un filtro de 1 mm. Se lavó con agua pura hasta quedar completamente libre de solución de NaOH. Se liberó de humedad en el horno a 60 °C por 12 horas, por último, se pesó la muestra de pulpa de celulosa y se almacenó en vasos de muestras estériles con su respectivo etiquetado.

Se procedió al cálculo del rendimiento de pulpa de celulosa:

Formula:

$$\text{Rendimiento de Pulpa de Celulos (\%)}: \frac{X}{P} \times 100$$

X= Peso de pulpa de celulosa (g)

P= Peso de cascarilla de café (g)

3.1.5.4.3. *Cuantificación de Pulpa de Celulosa*

- **Análisis de alfa, beta y gamma celulosa en pulpa de celulosa (TAPPI T203 cm-99)**

Plantea el procedimiento, equipo y reactivos a usar para el análisis. Es válido para pastas blanqueadas, pastas emblanqueadas y pastas sin blanquea, se realiza 1 atm de presión y 25°C.

El método consiste en separar la beta y gamma celulosa de la pulpa ocupando como degradante NaOH al 17.5%, y la alfa celulosa se calcula por diferencia ya que no es soluble en NaOH.



Procedimiento

Preparación de muestra

Se pesaron 1,5g de muestra de cascarilla de café previamente secados, se colocaron en un beaker de 300 mL y se añadió 75 mL de NaOH al 17,5%, batió la pulpa con una batidora de inmersión hasta que estuvo completamente dispersa la pulpa, se añadió 25 mL más de NaOH al 17,5% al mismo tiempo se fue lavando las aspas de la batidora, para retirar las fibras adheridas, y se agito la suspensión de pulpa con una varilla de vidrio.

Pasada media hora adicionar 100 mL de agua destilada a 25 °C y se continuó agitando. Se dejó reposar otros 30 min, para un tipo total de 60 min, posteriormente se filtró la suspensión de pulpa con un papel filtro de 90 mm, descartando los primeros 20 mL del filtrado y almacenado el resto en un erlenmeyer limpio para su posterior uso.

Determinación de Alfa Celulosa

Se pipeteo 25 mL del filtrado de pulpa y 10 mL de Dicromato de potasio en un erlenmeyer de 500 mL, después de agitar lentamente, cuidadosamente se agregó 50 mL de Ácido sulfúrico concentrado por las paredes. Se dejó calentar por 15 min, y posterior se añadió 50 mL de agua destilada y se dejó enfriar hasta llegar a temperatura ambiente.

Al estar totalmente frio, se adiciono 1 mL de indicador Ferroína, y se procedió a titular con Sulfato ferroso de amonio al 0,1 N hasta que viro al color del indicador utilizado.

Para la titulación del blanco se sustituyó el filtrado con 12,5 mL de NaOH al 17,5% y 12,5 mL de agua.

Determinación de Beta y Gamma Celulosa

Se pipeteo 50 ml de filtrado de pulpa y 50 ml de ácido sulfúrico al 3N, se colocaron en un erlenmeyer de 250 ml y se mezclaron, se calentó la solución en baño maría a 70°C-90°C, hasta que coagule la beta celulosa. Se dejó reposar toda la noche para que se asiente el precipitado y posteriormente se decantó el filtrado para obtener una solución limpia.

Se pipeteo 50 ml de la solución limpia y 10 ml de Dicromato de potasio a 0,5 N en un erlenmeyer de 500 ml, cautelosamente se añadió 90 ml de Ácido sulfúrico concentrado



por las paredes, se dejó calentar por 15 min y enfriar hasta temperatura ambiente en baño maría con agua fría.

Se adiciono 1 mL de indicador Ferroína, y se procedió a titular con Sulfato ferroso de amonio al 0,1 N hasta que viro al color del indicador utilizado.

Para la titulación del blanco se sustituyó el filtrado con 12,5 mL de NaOH al 17,5%, 12,5 mL de agua y 25 ml de Ácido sulfúrico al 3N

Formulas:

Contenido Alfa Celulosa

$$\text{Alfa Celulosa}\% = \frac{6.85(v_2 - v_1) \times N \times 20}{A \times W}$$

V₁= Volumen de filtrado (mL)

V₂= Volumen de blanco (mL)

N= Normalidad exacta de la solución de sulfato ferroso de amonio (N)

A= Volumen del filtrado ocupado en la oxidación (mL)

W= masa de la muestra (g)

Contenido de Gamma Celulosa

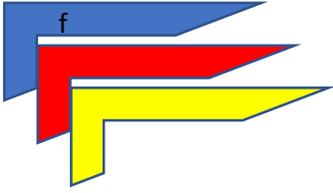
$$\text{Gamma Celulosa}\% = \frac{6.85(v_4 - v_3) \times N \times 20}{25 \times W}$$

V₃= Volumen ocupado en la titulación después de la precipitación de beta celulosa (mL)

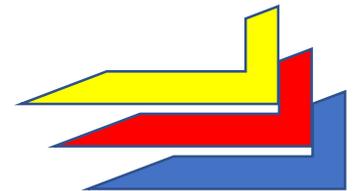
V₄= Volumen ocupado en la titulación del blanco (mL)

Contenido de Beta Celulosa

$$\text{Beta Celulosa}\% = 100 - (\text{alfa celulosa}\% + \text{gamma celulosa}\%)$$



Capítulo IV





4.1. Análisis y Discusión de Resultados

4.1.1. Análisis Físico-Químicos de la cascarilla de café caracterización Bajo las Normas TAPPI y Método Kurschner & Hoffer

➤ Porcentaje de Lignina (TAPPI T 222 om-02)

La lignina representa el "material incrustante" y forma parte de la pared celular vegetal y de las láminas que envuelven a las fibras de residuos lignocelulósicos. Siendo el residuo insoluble que queda después de un ataque ácido en la muestra. (Figura A2.1 y A2.2)

Se presentan a continuación los valores obtenidos en el análisis de porcentaje de lignina:

Tabla 11. Pesos de Muestra, Capsula y Lignina Después del Secado

Muestra	Peso Muestra (g)	Peso Capsula (g)	Peso de Seco de Lignina (g)
1	1,0079	26,5670	0,149
2	1,0080	26,1525	0,1576
3	1,0084	26,5142	0,1487
4	1,0080	25,8457	0,1557

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 12. Porcentaje de Lignina en Cascarilla de Café

Muestra	Porcentaje de Lignina (%)	Promedio (%)
1	14,78	
2	15,66	
3	14,74	15,16
4	15,45	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Como se puede observar en la Tabla 12, el porcentaje de lignina en la cascarilla de café varia de 14,74% hasta 15,66%, dando como promedio 15,16 % de lignina en su composición.

Los valores reportados por (Arias R. & Meneses J., 2016) y (Manals E., Salas D. & Penedo M., 2018) corresponden al 15,93 % de lignina. Un valor muy cercano al dato obtenido en el análisis. Pero (Vazquez O, 2015) reporta hasta un 23,6 % de lignina en la cascarilla de café. Esto puede deberse al porcentaje de humedad de la muestra, el tipo de variedad de café y la pureza de los reactivos utilizados.

➤ **pH (TAPPI T 252 om-16)**

Este parámetro se realizó con el objetivo de conocer el pH de la cascarilla de café; es de mencionar que el análisis se realizó con una muestra inicial anhidrida y que fue rehidratada con agua destilada grado 1. (Figura A2.3)

A continuación, los valores cuantificados de pH:

Tabla 13. Peso de Muestra y Valor de pH en Cascarilla de Café

Muestra	Peso de Muestra (g)	pH	Promedio (%)
1	10,0004	3,12	
2	10,0005	3,16	
3	10,0004	3,13	3,15
4	10,0006	3,17	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

En la Tabla 13 se aprecia que los valores de pH medidos en la cascarilla de café son muy cercanos, lo que refleja la confiabilidad del parámetro. Dando como promedio un pH ácido de 3.15 en la cascarilla de café.

Según lo reportado por (Vazquez O, 2015), la cascarilla de café posee un pH de 2-3, mientras que (Arias R. & Meneses J., 2016) reporta un 6.2. Esta variación puede deberse principalmente a la sensibilidad del equipo utilizado.



➤ **Determinación de Porcentaje de Humedad (TAPPI T 211 om-85)**

Este análisis se realizó con el fin de conocer la cantidad de agua que contiene la cascarilla de café después de un secado en el horno eléctrico. Es de mencionar que este análisis se realiza en base seca, esto quiere decir que la cascarilla no poseía un exceso de humedad y al tacto se percibía seca. (Figura A2.4)

A continuación, en las siguientes Tablas se presentan los valores observados en el análisis:

Tabla 14. Pesos de Muestras, Capsulas y Muestras de Cascarilla de Café Después del Secado

Muestra	Peso de Muestra (g)	Peso de Capsula (g)	Peso de Muestra Seca (g)
1	1,0014	25,8515	0,9398
2	1,0014	27,2058	0,9383
3	1,0010	26,3999	0,9303
4	1,0014	29,1166	0,9358

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 15. Porcentaje de Humedad en Cascarilla de Café

Muestra	Porcentaje de Humedad (%)	Promedio (%)
1	6,15	
2	6,30	
3	6,16	6.29
4	6,55	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Según la Tabla 15, el promedio de humedad de las muestras, corresponde al 6,29 % en la cascarilla de café, en base seca. Esto indica que la muestra no presentaba un exceso de agua y se encontraba correctamente almacenada.



De acuerdo al valor reportado por (Vazquez O, 2015); nos menciona que la cascarilla de café contiene 13,56 % de Humedad. Según (Arias R. & Meneses J., 2016) y (Manals E., Salas D. & Penedo M., 2018) reportan 8,60 %, mientras que (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1992) reporta un 7,6 %. Como es observado la mayoría reporta valores menores a 8 % de humedad. La variación del porcentaje de humedad entre sus muestras y lo reportado, puede deberse principalmente de donde es obtenida la muestra, ya que existen diversas zonas con diferentes niveles de humedad, el almacenaje del residuo e incluso la fecha en que es tomada la muestra y su forma de almacenamiento hasta el momento de su caracterización.

➤ **Determinación de Porcentaje de Cenizas (TAPPI T 211 om-02)**

El valor de ceniza se determina mediante la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo. Las cenizas obtenidas no presentan la misma composición que la materia mineral presente en el elemento original, su valor puede considerarse como una medida general del contenido mineral de algún material y sirve para determinar la identidad del elemento. (Márquez, 2014) (Figura A2.5)

A continuación, se refleja en las siguientes Tablas los valores cuantificados en el análisis:

Tabla 16. Pesos de Muestras, Crisoles y Cenizas de Cascarilla de Café

Muestra	Peso de Muestra (g)	Peso de Crisol (g)	Peso de Cenizas (g)
1	2,0015	41,6318	0,0106
2	2,0015	38,7951	0,0111
3	2,0016	18,1277	0,0101
4	2,0015	34,4170	0,0083

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Tabla 17. Porcentaje de Cenizas en Cascarilla de Café

Muestra	Porcentaje de Cenizas (%)	Promedio (%)
1	0,52	0,50
2	0,55	
3	0,50	
4	0,41	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

La Tabla 17 muestra que el valor promedio del porcentaje de cenizas corresponde a 0,50 % en las muestras de cascarilla de café. Esto indica que la cascarilla de café contiene una baja cantidad de minerales.

Según (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1992) reporta un valor de 0,5 % de cenizas en cascarilla de café. Según (Vazquez O, 2015) y (Arias R. & Meneses J., 2016) reportan valores entre 3,12 % y 3,67 %, pero (Manals E., Salas D. & Penedo M., 2018) reporta hasta 10,5 %. La variación de datos puede deberse a la humedad contenida en la muestra, la temperatura en que se llevó a cabo la incineración, si se usó un agente incinerante para hacer más rápida la carbonización de la muestra y hasta el equipo usado en el análisis.

➤ **Porcentaje de Extractivos Totales (ASTM D1107-21)**

Los extractivos se definen como un amplio rango de compuestos que son extraídos de los materiales vegetales con solventes neutros. Estos incluyen sustancias volátiles de baja polaridad no estructurales como ceras, grasas, resinas, aceites, taninos y otros compuestos insolubles en éter, que puede llegar a contener la cascarilla de café. Es necesario eliminar los extractivos totales de la muestra para realizar el análisis de Porcentaje de Celulosa por el Método de Kurschner & Hoffer y al mismo tiempo calculamos el porcentaje de estos. (Figura A2.6 y A2.7)

En la siguientes Tablas se presentan los valores observados en el análisis:

El Análisis orientaba calcular el Porcentaje de Humedad de la muestra por duplicado.



Tabla 18. Pesos de Muestras, Capsulas y Muestras de Cascarilla de Café Después del Secado para Análisis de Extractivos Totales

Muestra	Peso de Muestra (g)	Peso de Beaker (g)	Peso de Muestra Seca (g)
1	2,0001	50,0445	1,85
2	2,0000	55,3368	1,84

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 19. Porcentaje de Humedad en Cascarilla de Café para Análisis de Extractivos Totales

Muestra	Porcentaje de Humedad (%)	Promedio (%)
1	7,50	7,56
2	7,61	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 20. Porcentaje de Humedad y Pesos de Muestras, Dedal, Muestras de Cascarilla de Café Después del Secado

Muestra	Porcentaje de Humedad (%)	Peso de la Muestra (g)	Peso de Dedal (g)	Peso Seco de Muestra (g)
1	7,56	4,0011	4,4068	3,6671
2	7,56	4,0011	4,2305	3,7085
3	7,56	4,0012	4,5660	3,6516
4	7,56	4,0012	4,6196	3,4525

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Tabla 21. Porcentaje de Extractivos Totales en Cascarilla de Café

Muestra	Porcentaje de Extractivos Totales (%)	Promedio (%)
1	12,12	
2	12,26	
3	12,07	11,97
4	11,41	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

En la Tabla 19 se aprecia que el porcentaje de humedad es 7,56%, siendo este el promedio de dos muestras de cascarilla de café, que es usado como referencia para el cálculo del porcentaje de extractivos totales. En la Tabla 21 se puede observar que las tres primeras replicas dan valores aproximados a 12 %, pero en la cuarta replica se cuantifica un valor de 11,41%, una diferencia de 0,85% con respecto al valor más alto que es de 12,26%. El valor promedio del porcentaje de extractivos totales es de 11,97% en la cascarilla de café.

Según (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1992), nos dice que la cascarilla de café contiene 18,9 % de extractivos totales; mientras que (Vazquez O, 2015) reporta 16,89 %, sin embargo, (Arias R. & Meneses J., 2016) dice que contiene solamente 0,44% de extractivos totales. Esta diferencia de valores se debe principalmente al solvente utilizado en el análisis, el estado de la muestra, y el tiempo de extracción que tuvo la muestra.

➤ **Porcentaje de Celulosa (Método Kurschner & Hoffer)**

Se realizó este análisis con el objetivo de valorar la cantidad de celulosa contenida en la cascarilla de café, y el método consiste en romper las cadenas de lignina y liberar la celulosa y hemicelulosa del material Lignocelulosico. (Figura A2.8, A2.9 y A2.10)

Las siguientes Tablas reflejan los valores obtenidos en el análisis:



Tabla 22. Pesos de Muestras y Muestras de Cascarilla de Café Después del Secado

Muestra	Peso de la muestra (g)	Peso Seco de Muestra (g)
1	1,0065	0,4798
2	1,0063	0,5155
3	1,0060	0,4921
4	1,0065	0,5737

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Tabla 23. Porcentaje de Celulosa en Cascarilla de Café

Muestra	Porcentaje de Celulosa (%)	Promedio (%)
1	47,67	
2	51,23	
3	48,42	51,01
4	56,99	

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Se observa en la Tabla 23 el valor cuantificado en cada replica es ligeramente diferente, esto puede deberse a la sensibilidad del método y calidad de reactivos usados en el análisis. Aunque solo hay 9,32% de diferencia entre el valor más bajo con respecto al valor más alto, como promedio general tenemos 51,01% de celulosa presente en la cascarilla de café.

Según el valor reportado por (Vazquez O, 2015) es de 48,9 %, mientras que (Arias R. & Meneses J., 2016) y (Manals E., Salas D. & Penedo M., 2018) reportan valores de 36,7 % de celulosa. Los valores reportados por las referencias son inferiores a los observados en el análisis, teniendo una diferencia de hasta 14,31 %. Esto puede atribuirse al método de análisis realizado, a la variedad del café cultivado y mejoramiento de manejo de cultivo a través de los años. Dicho contraste de resultados indica que la cascarilla de café, específicamente la variedad *Coffea arabica*, es una materia prima ideal para la extracción de pulpa de celulosa.



En la siguiente Tabla 24 se presenta un resumen de los datos obtenidos en la caracterización físico- química de la cascarilla de café.

Tabla 24. Caracterización Físico-Química de la Cascarilla de Café

N°	Análisis Realizado	Valor Promedio Obtenido
1	Porcentaje de Lignina	15,16 %
2	pH	3,15
3	Porcentaje de Humedad	6,29 %
4	Porcentaje de Cenizas	0,50 %
5	Porcentaje de Extractivos Totales	11,97 %
6	Porcentaje de Celulosa	51,01 %

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

A continuación, se presenta la Tabla 25 donde se muestran los valores obtenidos en la caracterización físico-química de cascarilla de café, y los diversos valores de referencia obtenidos en diferentes investigaciones.

Tabla 25. Valores Obtenidos Comparados con Referencias

Parámetro	Resultados	(Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1992)	(Vazquez O, 2015)	(Arias R. & Meneses J., 2016)	(Manals E., Salas D. & Penedo M., 2018)
Porcentaje de Lignina	15,16 %	-	23,6 %	15,93 %	15,93 %
pH	3,145	-	2-3	6,2	-
Porcentaje de Humedad	6,29 %	7,6 %	13,56 %	8,60 %	8,6 %



Porcentaje de Cenizas	0,495 %	0,5 %	3,12 %	3,67 %	10,5 %
Porcentaje de Extractivos Totales	11,97 %	18,9 %	16,89 %	0,44 %	-
Porcentaje de Celulosa	51,01 %	-	48,9 %	36,7 %	36,7 %

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

4.1.2. Estandarización de Obtención de Pulpa de Celulosa por Método Alcalino, a través del Diseño Experimenta Taguchi.

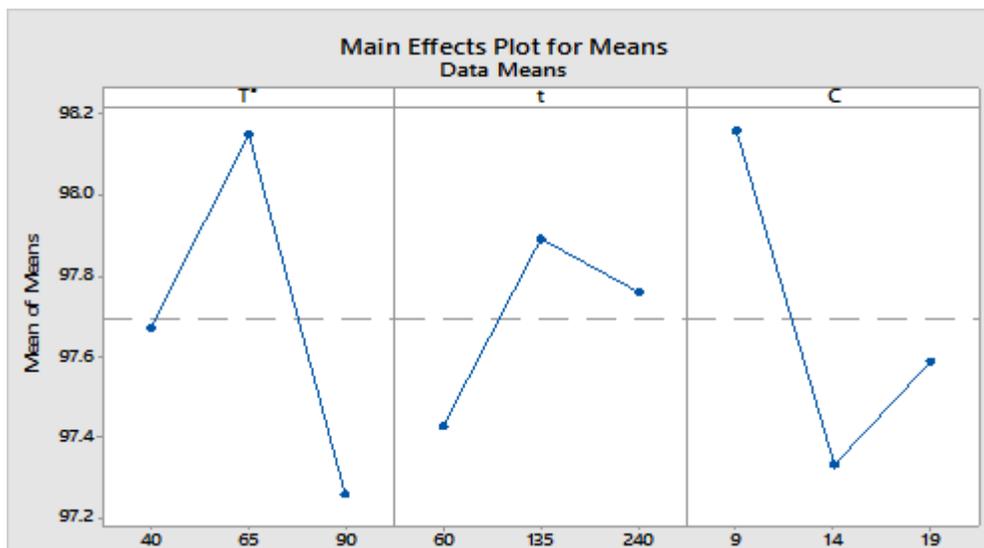
El diseño experimental fue basado en el método de Taguchi el cual es una herramienta diseñada para la optimización de procesos y productos, ya que se centra en identificar y evaluar las variables de mayor influencia en el proceso.

Se ha optado por ocupar Taguchi a 3L, usando tres variables y sus tres niveles (Tabla 10), realizándose los nueve experimentos para posterior evaluarlo con la variable respuesta, siendo esta el porcentaje de alfa celulosa contenida en la pulpa de celulosa, y definir las condiciones óptimas para la extracción de pulpa de celulosa.

A continuación, en el Grafico 1 se presenta la interacción de los niveles en los tres factores, los cuales son: Temperatura, Tiempo y Concentración.



Gráfico 1. Efecto Principal de Medidas



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Según Taguchi, indica entre mayor es la pendiente de los niveles de cada factor, mayor es la incidencia de éste en el proceso. En el Gráfico 1 se observa que la Temperatura como la Concentración son las variables de más influencia, y el tiempo influye, ya que su incidencia es menor, incluso tiende a buscar linealidad entre el segundo y tercer nivel, lo que indica que su incidencia es pobre.

La estadística orientada por Taguchi determina que las condiciones óptimas de extracción son: Temperatura: 65°C, Tiempo: 135 min, Concentración: 9%.

A continuación, se muestran los factores y la variable respuesta tomados en cuenta a la hora de la Formulación de la Pulpa de celulosa a partir de la cascarilla de café.

Tabla 26. Valores de Diseño de Experimento para la Formulación

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Concentración (%)	Alfa celulosa (%)	Gamma Celulosa (%)	Beta Celulosa (%)
1	40	60	9	97,55	1,17	1,28
2	40	135	14	97,55	1,21	1,24
3	40	240	19	97,92	0,95	1,13



4	65	60	14	97,81	1,94	0,26
5	65	135	19	97,92	1,17	0,91
6	65	240	9	98,72	0,62	0,66
7	90	60	19	96,93	1,46	1,61
8	90	135	9	98,21	0,62	1,17
9	90	240	14	96,64	0,15	3,21

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

La variable respuesta está en base a los resultados del porcentaje de alfa celulosa obtenidos en cada experimento, ya que esta es la de mayor interés en la pulpa de celulosa, y como se puede observar en la Tabla 26, los valores son altos, siendo las muestras N° 6 y 8 las que contiene más alfa celulosa llegando a más del 98%.

Por lo que basado en el porcentaje de alfa celulosa obtenido y el resultado de Taguchi, las muestras N° 6 y 8, tienen en común una concentración de 9% de NaOH, pero sus temperaturas son inversas a sus tiempos, es decir, en la N° 6 tiene una temperatura media de 65°C y un tiempo largo de 240 min, a mientras que la N° 8 tiene una temperatura alta de 90°C. y un tiempo es medio de 135 min, dejando en evidencia que la temperatura tiene mayor influencia en comparación con las demás variables sobre el proceso. A su vez la influencia del tiempo es crítica en los procesos de transformación, por lo que se busca obtener un proceso optimizado en el menor tiempo posible.

En consecuencia, se define que las condiciones operacionales de la muestra N° 8 son las más óptimas para extracción de pulpa de celulosa, en contraste, dos de las variables coinciden con el resultado de Taguchi, como lo es el tiempo y la concentración.

4.1.2.1. Porcentaje de Rendimiento

Al finalizar los nueve experimentos, se procedió a calcular el rendimiento obtenido y medir la cantidad de licor negro, residuo generado en el proceso de digestión química.



Tabla 27. Rendimiento de Pulpa de Celulosa

Muestra	Peso de cascarilla de café (g)	Peso de Pulpa de Celulosa (g)	Rendimiento de Extracción (%)	Licor Negro (mL)
1	20	13,05	65,25	130
2	20	13,25	66,25	120
3	20	13,15	65,75	104
4	20	14,65	73,25	92
5	20	14,20	71	83
6	20	12,65	63,25	41
7	20	13	65	60
8	20	11,65	58,25	12
9	20	11,35	56,75	38

Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

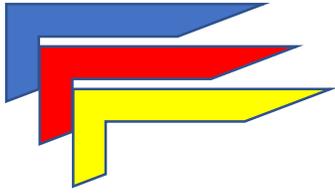
La Tabla 27 nos incita a ver principalmente el porcentaje de rendimiento obtenido, y como se puede apreciar los valores no son cercanos, siendo la de mayor rendimiento la muestra N° 4 con 73,25% y la de menor rendimiento la muestra N° 9 con 56,75%. Hay que mencionar que, aunque la muestra N°4 sea la de mayor rendimiento no significa que sea la de mayor éxito de extracción, ya que como se muestra en la Tabla 23, la cascarilla de café contiene 51,01% de celulosa disponible para extraer. Por lo tanto, el rendimiento calculado es aparente y no real, lo que nos dice que la muestra con más probabilidad de éxito es la que está más próxima al porcentaje de celulosa reportado, pues es la pulpa con menos contenido de lignina, humedad y extractivos.



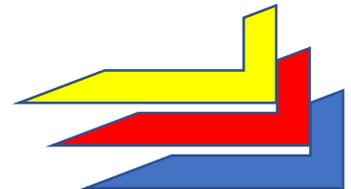
En base a los análisis realizados de caracterización físico-químico, y lo obtenido en los resultados de Taguchi se afirma que la muestra N° 8 es el mejor experimento debido a que se obtuvo un rendimiento aparente de 58,25% con un contenido de alfa celulosa de 98,21%. Descartándose la muestra N° 6 por su alto rendimiento aparente ya que se aleja considerablemente del promedio de celulosa obtenido en la cascarilla de café. (Tabla 23).

En comparación a (Aguilar, Houbron, Rustrian y Reyes, 2014) quienes realizaron la extracción en la pulpa de café, por el método alcalino con NaOH al 5% p/p. mostro rendimiento de 32,05% y un contenido de holocelulosa (celulosa + hemicelulosa) de 56.75%. En términos de literatura general, que condensa que una madera puede ser ocupada para extraer pulpa de celulosa sí posee más del 30% de celulosa. De ambas investigaciones se puede concluir que el café, puede ser ocupado en la industria papelera.

Con respecto al licor negro, el residuo obtenido después de cada digestión, la cantidad de mililitros es diversa debido a las tres diferentes temperaturas usadas, esto se refleja en la Tabla 26 en donde la cantidad de licor negro obtenido va en forma descendente, conforme se aumenta la temperatura este se evapora más rápido. La muestra N°8 es la que menos licor negro se obtuvo, debido a la evaporación de la solución de NaOH, cabe mencionar que, si logro llegar al término de la digestión, por lo que con la muestra N°9 se recurrió a dejar entre cerrado el beaker con un vidrio reloj, para amortiguar el escape de vapor y evitar que la muestra no llegara a término.



Capítulo V





5.1. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos durante la investigación y conforme a los objetivos planteados se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se evidencia que la cascarilla de café (*Coffea arabica*) es una materia prima ideal para la extracción de pulpa de celulosa, pues se encontró registros bibliográficos que posee un gran valor significativo de celulosa. Al igual que se desaprovecha su potencial transformación en otros productos y procesos.
2. Se determinaron las características físico-químicas de la cascarilla de café (*Coffea arabica*), mediante una serie de análisis físico químicos, cumpliendo con lo establecido en las Normas TAPPI, y el *Método Kurschner & Hoffer* para la cuantificación de celulosa, obteniendo los siguientes resultados: Lignina 15,16%; pH 3,15; Humedad 6,29%; Ceniza 0,50 %; Extractivos Totales de 11,97% y Celulosa de 51,01%.
3. Mediante la aplicación del diseño experimental de Taguchi se concluyeron las mejores condiciones operacionales para realizar la extracción más óptima, tomando en cuenta principalmente el porcentaje de alfa celulosa contenido en la matriz y el rendimiento aparente de la digestión. Siendo la muestra N°8 la de mejor extracción con las condiciones: Temperatura 90°C; Tiempo 135 min y Concentración 9%; con un rendimiento de 58,25% y conteniendo 98,21% de alfa, 0,62% de gamma y 1,17% de beta celulosa.
4. Se concluye, que la transformación de la cascarilla de café de la variedad *Coffea arabica* en pulpa de celulosa, puede llegar a tener un rendimiento de extracción de hasta 58% con una alta presencia de alfa celulosa y pocos restos de lignina en condiciones óptimas de extracción. Lo que la convierte en una materia prima rentable industrialmente.



5.2. Recomendaciones

Se sugieren las siguientes recomendaciones de la presente investigación:

1. Tener en cuenta a la cascarilla de café como materia para más análisis de caracterización, ya que la cascarilla analizada en la investigación es proveniente de un beneficio en específico y las áreas de cultivo de café son diversas, por los que las propiedades físico-químicas pueden variar.
2. Se recomienda realizar la extracción en sistemas cerrados y de manera controlada, para evitar pérdida innecesaria de solución alcalina debido a la evaporación y donde se establezca una buena relación solido: liquido en la digestión.
3. Se insta a proponer un método para la recuperación del licor negro, residuo sobrante de la digestión, a escala de laboratorio o piloto, pues industrialmente es recuperado mediante evaporación en calderas de cal.
4. A químicos industriales, tener en cuenta la cascarilla de café de la variedad Coffea arabica como materia prima para obtención de derivados procedentes de la celulosa.
5. Se sugiere dejar libre de CO₂ el NaOH para un mayor rendimiento.
6. Se incita a investigar maneras de aprovechamiento de esta pulpa de celulosa, principalmente para la fabricación de diversos tipos de papel.



5.3. Bibliografía

- Aguilar, Houbron, Rustrian y Reyes. (2014). *Papel Amate de pulpa de café (Coffea arabica) (Residuo de beneficio húmedo)*. México.
- Arias R. & Meneses J. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorio de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Armas E., Cornejo N. & Muncia K. (2008). *Propuesta para el aprovechamiento de los subproductos del beneficiado del café como una alternativa para la diversificación de la actividad cafetera y aporte de valor a la cadena productiva*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Asociación Nacional de Café [Anacafé]. (2019). *Guía de Variedades de Café*. Guatemala.
- Asociación Nacional del Café [Anacafé]. (2016). *Guía de variedades de café*. Guatemala.
- Betiko Kafe . (2013). *El Café*. Obtenido de <http://www.betikokafea.com/el-cafe/>
- Castellano, N. (11 de Febrero de 2021). *Perfec Daily Grind*. Obtenido de Una guía a la producción de café en Nicaragua: <https://perfectdailygrind.com/es/2021/02/11/una-guia-a-la-produccion-de-cafe-en-nicaragua/#:~:text=A%20pesar%20de%20ser%20el,Madriz%2C%20Matagalpa%20y%20Nueva%20Segovia>.
- Dethlefsen & Balk . (s.f.). *Planta, variedades y zonas de cultivo: La plata de café*. Obtenido de <https://www.dethlefsen-balk.de/ESP/10889/Kaffeepflanze.html>
- El 19 Digital. (22 de Febrero de 2022). *El 19 Digital*. Obtenido de Estos son los avances en la producción de café en Nicaragua: <https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:125608-estos-son-los-avances-en-la-produccion-de-cafe-en-nicaragua/#:~:text=de%20Caf%C3%A9%20establecidas.->



,El%20Caf%C3%A9%20es%20uno%20de%20los%20rubros%20m%C3%A1s%20importantes%20en,volumen%20y%2017.6%25%2

Escobedo A., Bendaña E. & Gutiérrez R. (s.f.). *Cartilla Cadena de Valor: Café de Nicaragua*. Obtenido de

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8657>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [CENICAFE]. (1999). *Extracción de celulosa a partir de borra de café*. Colombia.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [CENICAFE]. (2010). *Los subproductos del café: Fuente de energía renovable*. . Caldas, Colombia.

Finca y Beneficio Bariloche. (2022). *Registro Administrativo*. Las Cuchillas, Jinotega, Nicaragua.

Industria Colombina de Café S.A. (2017). *Material compuesto de celulosa obtenida de cascarilla de café o cacao, articulo que comprenden el mismo y proceso de obtención*. Colombia.

InfoAgro. (s.f.). *El cultivo de Café*. Obtenido de AGRI nova Science: <https://infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (1992). *El tratamiento anaeróbico de los residuos del café: Una alternativa para la disminución del impacto ambiental*. Matagalpa, Nicaragua.

International Coffee Organization [ICO]. (s.f.). *Ecología*. Obtenido de https://www.ico.org/es/ecology_c.asp

Kühl E. (2004). *Nicaragua y su café*. Managua, Nicaragua: Hispamer. Obtenido de Kühl E. (2004). *Nicaragua y su café*. Editorial Hispamer. Managua, Nicaragua.

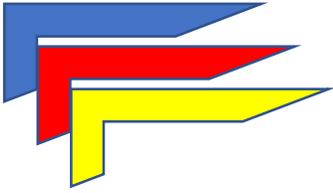
Leonardo. (2014). *Conozca el proceso de obtención de la pulpa de celulosa*. . Obtenido de <https://www.leonardo-gr.com/es/blog/conozca-el-proceso-de-obtenci-n-de-la-pulpa-de-celulosa>



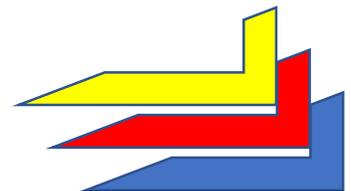
- Maldonado, E. J. (2018). *Análisis Técnico Financiero en la Imprintación de Briquetas de Aserrín, Cáscara de Café y Olote, para disminuir el consumo de Leña en San Juan de Sacatepéquez*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Manals E., Salas D. & Penedo M. (2018). *Caracterización de la biomasa vegetal "Cascarilla de café"*. Cuba: Universidad de Oriente.
- Márquez, B. (2014). *Cenizas y Grasas. Teoría del Muestreo. Refrigeración y congelación de Alimentos: Terminología, Definiciones y Explicaciones*. Arequipa, Peru: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Mundo Cafeto. (23 de Mayo de 2018). *Mundo Cafeto*. Obtenido de El Cafeto: <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>
- Pasta y Papel. (s.f.). Obtenido de http://www.clustermadeira.com/pdf/5_pasta_papel.pdf
- PCC-Grup. (2020). *Proceso de fabricación de papel*. . Obtenido de <https://www.products.pcc.eu/es/k/industria-de-pulpa-y-papel/>
- Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible [Nicafé]. (2019). *Institucionalidad del sector café en Nicaragua*. . Managua, Nicaragua.
- Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible [Nicafé]. (2 de Marzo de 2022). *Facebook*. Obtenido de Nicafé - Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible: https://www.facebook.com/Nicafes/posts/pfbid03gM6NfSwYcUTdAPZqfBEE96zwURW15Asv3in4e5nP2gCkgP1q41etpmej3XMwY6l?__tn__=%2CO*F
- Salas D, Penedo M. (2018). *Caracterización de la biomasa vegetal "cascarilla de café"*. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.
- Sampieri R., Fernandez C. & Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Sanchez J., Alvarez D, & Gelves J. (2018). *Cisco de Café como posible material sustituto de arcilla en la fabricación de materiales cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta*. Colombia: Revista Respuestas.



- Sierra J., Roque H., & Medrano J. (2013). *Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción*. Nicaragua: Revista Ciencia Y Tecnología El Higo.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industries [TAPPI]. (s.f.). *Asociación Técnica de la Industria del Papel y la Pulpa*. Obtenido de <https://www.tappi.org/>
- Tejedor, A. S. (s.f.). *Química Orgánica Industrial*. Obtenido de Tecnología de la celulosa. La industria papelera: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>
- Vazquez O. (2015). *Etanol lignocelulósico, a partir de cascarilla de café, por medio de hidrólisis química-enzimática y fermentación*. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz.
- Zeledón J., Gahona J., Herrera M., & Dicoyskiy L. (2017). *Macetas biodegradables de cascarilla de café para la producción de plántulas de hortalizas, Estelí, Nicaragua*. Nicaragua: Revista Ciencia y Tecnología El Higo.



Anexos





Anexo 1. Figuras del Marco Teórico

Figura A1.1 Árbol de café



Fuente: (Asociación Nacional de Café [Anacafé], 2019)

Figura A1.2 Árbol de café Variedad arábica



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)

Figura A1.3 Estructura de la Cereza y Grano de Café



Fuente: (Mundo Cafeto, 2018)

Figura A1.4 Cultivo de café Arábica



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)



Figura A1.5 Zonas Productoras de Café en Nicaragua



Fuente: (Plataforma Nicaragüense de Café Sostenible [Nicafés], 2022)

Figura A1.6 Fruto de Café Maduro



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)

Figura A1.7 Despulpado del Grano de Café



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)

Figura A1.8 Lavado del Grano de Café



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)



Figura A1.9 Secado del Grano de Café



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)

Figura A1.10 Cascarilla de café



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2021)

Figura A1. 11 Logo TAPPI



Fuente: (Technical Association of the Pulp and Paper Industries [TAPPI], s.f.)

Anexo 2. Figuras de Análisis y Discusión de Resultados

Figura A2.1 Equipo montado para el Reflujo en Análisis de Lignina



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.2 Muestras de cascarilla de café en Reposo para determinar Lignina



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Figura A2.3 Medición de pH en muestras de cascarilla



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.4 Muestras de cascarilla enfriándose para determinar Humedad



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.5 Muestra de cascarilla enfriándose para determinar Cenizas



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.6 Sistema Soxhlet para Determinar Extractivos Totales



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.7 Muestra de cascarilla Enfriándose para Determinar Extractivos



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.8 Muestras de cascarilla de café Preparadas para Reflujo



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Figura A2.9 Sistema Montado para la Determinación de Celulosa



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A2.10 Muestra de cascarilla de café en 100 mL de Solución Saturada de Acetato de Sodio



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Anexo 3. Figuras de Extracción de Pulpa de Celulosa

Figura A3.1 Soluciones de NaOH al 9%, 14% y 19 %



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A3.2 Muestra de cascarilla de café en Digestión Alcalina en Agitación



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A3.3 Muestras de cascarilla de café en Digestión Alcalina



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Figura A3.4 Pulpas de Celulosa Húmedas



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A3.5 Pulpas de Celulosa Almacenadas



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Anexo 4. Figuras Análisis de Alfa, Gamma y Beta Celulosa

Figura A4.1 Filtración de la Preparación de Muestra de Pulpa de Celulosa de cascarilla de café



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

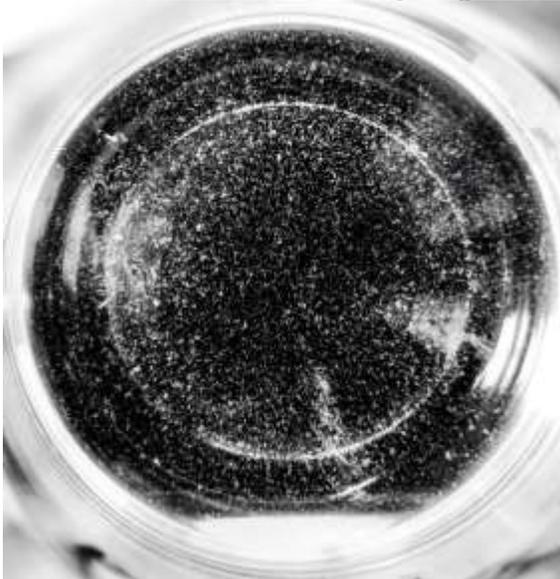
Figura A4.2 Filtrado de Pulpa de Celulosa de cascarilla de café



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

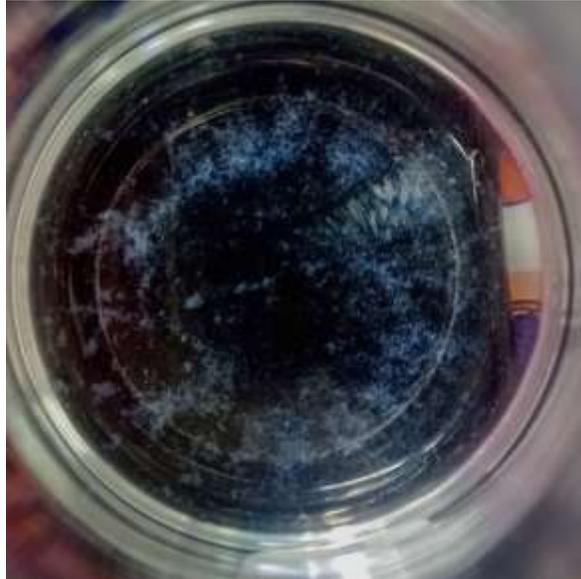


Figura A4.3 Coagulación de Beta Celulosa. Foto en Blanco y Negro



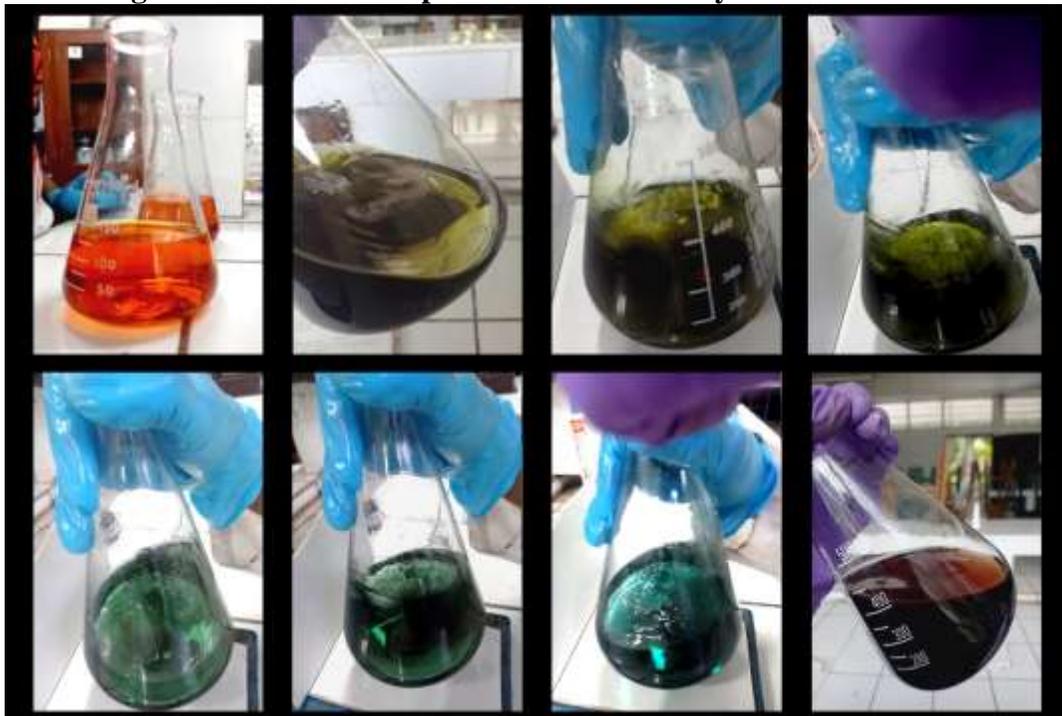
Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Figura A4.4 Precipitación de Beta Celulosa Asentada



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

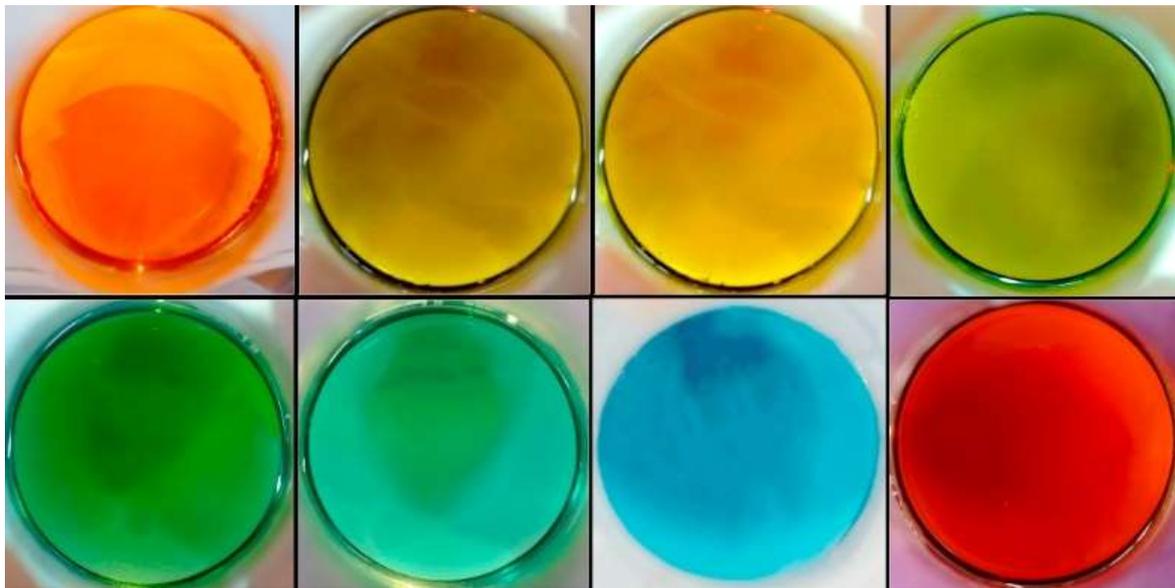
Figura A4.5 Titulación para Análisis de Alfa y Gamma Celulosa



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



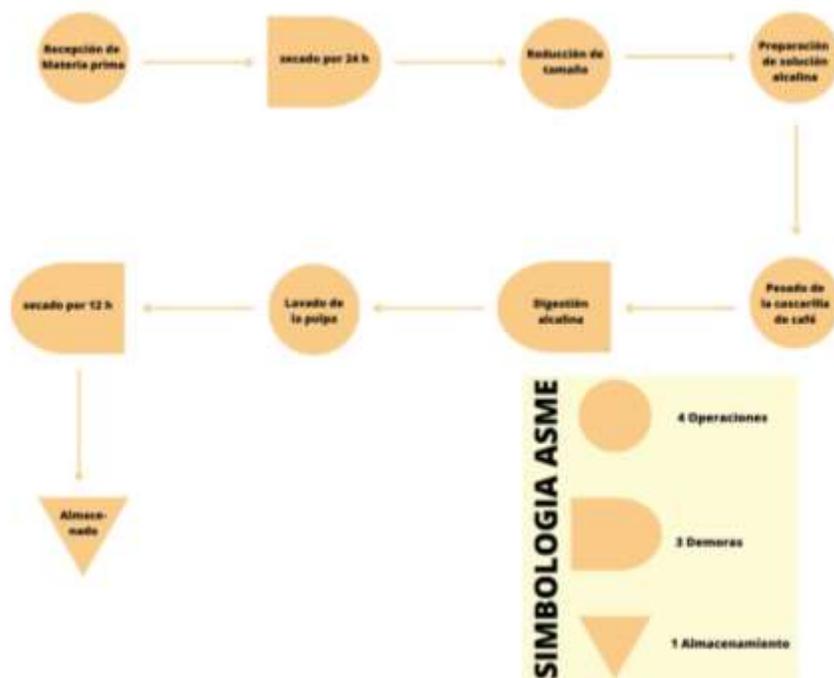
Figura A4.6 Colores Observados en la Titulación



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)

Anexo 5. Diagramas

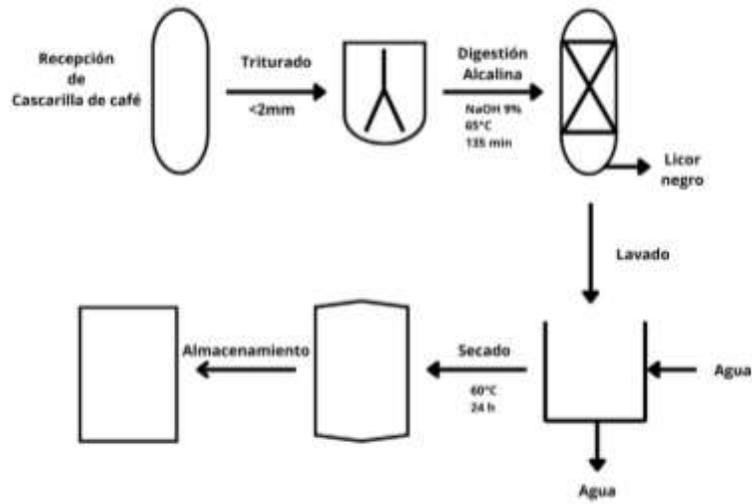
Figura A5.1 Flujograma de Proceso de Extracción de Pulpa de Celulosa



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)



Figura A5.2 Diagrama de Proceso para la Extracción de Pulpa de Celulosa



Fuente: (Blandino & Rodríguez, 2022)