

**OBTENCIÓN DE PAPEL ARTESANAL A PARTIR DE AFRECHO DE MALTA
PROPORCIONADA POR LA EMPRESA MERAK COLOMBIA**

**MARÍA ANGÉLICA OTÁLORA MARTÍNEZ
SAILY PAOLA IGUARÁN ARTEAGA**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
Ingeniero Químico**

**Director del proyecto:
Msc. Ing. Adriana Suesca Díaz
Ingeniera Química**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre: Adriana Suesca Díaz
Firma del director

Nombre:
Firma del presidente del jurado

Nombre:
Firma del Jurado

Nombre:
Firma del jurado

Bogotá D.C.: junio de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del programa

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento, ya que estas corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Quisiera dedicarle este nuevo logro a mi familia abuelos, tíos y principalmente a mi mamá, gracias por su apoyo incondicional y siempre estar para mí. Se el esfuerzo que han hecho para que pudiera lograr ser una profesional y poder seguir adelante, este logro no es solo mío sino una parte también de ustedes. Así mismo a mi novio el cual fue un soporte en toda la carrera y me acompañó muchas veces mientras trasnochaba o no podía más. Finalmente, a Dios, que ha sido un soporte durante toda mi vida.

Saily Paola Iguarán Arteaga

DEDICATORIA

“La familia es base de la sociedad y el lugar donde las personas aprenden por vez primera los valores que les guían durante toda su vida”. Juan Pablo II

Quiero dedicar este trabajo de grado a mis padres a mis hermanos y a toda mi familia quienes desde el inicio de mis estudios estuvieron guiándome y apoyándome en cada paso y logró que obtenía, buscando siempre la forma de potenciar mis habilidades y ayudándome a fortalecer mis debilidades.

María Angélica Otálora Martínez

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todos aquellos que hicieron parte de mi proceso académico, principalmente a mi familia el cual fue un apoyo incondicional y siempre me alentaron, a mi novio por ayudarme cada vez que lo necesitaba, a mis compañeras de la carrera, Carolina, Angela, Yuliana y Anny que se volvieron amigas durante estos cinco años y una compañía permanente. También a Dios que me bendice en todo momento de mi vida.

Asimismo, agradecerle a la ingeniera Yenny Hernández y a la laboratorista Jeidy Alfonso, por su orientación y colaboración siempre que fuera necesario en la parte experimental de este trabajo y también a los docentes de la Fundación Universidad de América que me brindaron los conocimientos durante el trayecto de la carrera para lograr llegar a este momento.

Finalmente, a mi compañera María Angelica Otalora por su compañía en este trabajo, gracias por tu esfuerzo, dedicación y constancia.

Saily Paola Iguarán Arteaga

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a mis padres quienes desde un inicio de carrera apoyaron cada una de mis decisiones, por cada palabra de aliento que me dieron para no rendirme ante cualquier obstáculo y por sobre todo enseñarme a solucionar y afrontar problemas. A mi hermano Oscar quien durante toda mi carrera me brindo su conocimiento y su apoyo cuando más lo necesitaba.

Gracias a mis amigos quienes me dieron su apoyo en cada decisión y pasó que di durante mi carrera, a Yuliana, Julián, Anny y mi compañera de trabajo de grado Saily por estar a mi lado y compartir cada uno de nuestros logros como propios por que como dijo Mario Puzo “La amistad lo es todo. La amistad vale más que el talento. Vale más que el gobierno. La amistad vale casi tanto como la familia”.

Gracias a todos mis profesores de carrera por toda su dedicación, paciencia en especial a las profesoras Diana Cuesta, Ginna Trujillo, a la ingeniera Yenni Hernández y la laboratorista Jeidy Alfonso quienes nos brindaron todo su conocimiento durante el desarrollo de la parte experimental de nuestro trabajo de grado.

Por último, pero no menos importante agradezco a Dios por estar siempre a mi lado, por darme la posibilidad de estudiar y por tener una maravillosa familia, unos increíbles amigos y unos extraordinarios profesores.

María Angélica Otálora Martínez

TABLA DE CONTENIDO

RESÚMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	21
1 GENERALIDADES	21
1.1 Biomasa	21
1.1.1 <i>Definición</i>	21
1.1.2 <i>Clasificación de biomasa</i>	21
1.2 Industria de la cerveza Artesanal	22
1.2.1 <i>Definición</i>	22
1.2.2 <i>Subproductos</i>	23
1.3 Afrecho de malta	28
1.3.1 <i>Definición</i>	28
1.3.2 <i>Características fisicoquímicas del afrecho de malta</i>	29
1.3.3 <i>Usos</i>	31
1.4 Industria de papel	31
1.4.1 <i>Definición</i>	31
1.4.2 <i>Caracterización</i>	32
1.4.3 <i>Procesos de obtención de celulosa</i>	34
1.4.4 <i>Producción de papel</i>	37
1.4.5 <i>Tipos de papel</i>	42
1.5 Papel artesanal	43
1.5.1 <i>Definición</i>	43
1.5.2 <i>Técnica de pulpeo</i>	43

1.5.3	<i>Materias primas</i>	46
2	CARACTERIZACIÓN AFRECHO DE MALTA	48
2.1	Caracterización de fibras al afrecho de malta	48
2.2	Curva de secado	50
2.2.1	<i>Equipos y condiciones de operación</i>	50
2.2.2	<i>Dosificación bagazo de malta</i>	50
2.2.3	<i>Condiciones de operación</i>	51
2.2.4	<i>Porcentaje de error</i>	53
2.2.5	<i>Porcentaje de humedad</i>	53
2.3	Determinación de ceniza	56
2.3.1	<i>Equipos y condiciones de operación</i>	56
2.3.2	<i>Pesaje</i>	56
2.3.3	<i>Producción de ceniza</i>	57
2.3.4	<i>Porcentaje de masa de ceniza</i>	58
2.4	Otros componentes	60
3	EXTRACCIÓN DE CELULOSA	62
3.1	Metodología	64
3.1.1	<i>Pretratamiento físico</i>	68
3.1.2	<i>Tratamientos químicos</i>	69
3.1.3	<i>Producción de papel artesanal</i>	81
4	PRODUCCIÓN DE PAPEL ARTESANAL	84
4.1	Diagrama BFD	84
4.2	Propiedades físicas	89
4.2.1	<i>Color</i>	89
4.2.2	<i>Textura</i>	91

4.2.3	<i>Espesor</i>	92
4.2.4	<i>Transparencia</i>	94
4.2.5	<i>Tinción</i>	95
4.3	Propiedades mecánicas	96
4.3.1	<i>Resistencia al rasgado</i>	96
4.3.2	<i>Resistencia a la tensión</i>	97
4.3.3	<i>Resistencia al dobléz</i>	97
5	CONCLUSIONES	99
6	RECOMENDACIONES	101
	BIBLOIOGRAFÍA	103

LISTA DE ABREVIATURAS

%ash: Porcentaje de masa de ceniza de bagazo de malta seca a 105°C

A: agua

AS: ácido sulfúrico

C: celulosa

cm²: centímetros cuadrados

g: gramos

g: gramos

H: hemicelulosa

h: horas

HDS: hidróxido de sodio

HM%: porcentaje de humedad de la muestra

HS: hipoclorito de sodio

L: lignina

m_{ash}: masa de ceniza más contenedor

m_{cont}: masa del contenedor

mg: miligramos

min: minuto

ml: mililitros

mm: milímetros

m_{od}: masa de biomasa seca a 105°C

pH: medida de acidez o alcalinidad

VA: vapor de agua

V_{anterior}: Valor Anterior

V_{siguiente}: Valor siguiente

W_c: Peso del contenedor

W_e: Peso entrada de celulosa

W_f: Peso Final

W_i: Peso Inicial

W_s: Peso salida de celulosa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo elaboración de cerveza artesanal.	23
Figura 2. Diagrama PFD elaboración de cerveza artesanal de la cervecería Merak Colombia	26
Figura 3. Datos bibliográficos de celulosa, hemicelulosa y lignina	30
Figura 4. Estructura molecular de la celulosa	33
Figura 5. Pared celular vegetal	34
Figura 6. Diagrama de flujo método TMP	40
Figura 7. Diagrama de flujo método Kraft	41
Figura 8. Diagrama pretratamiento físico residuos agroindustriales	44
Figura 9. Diagrama de flujo extracción celular para residuos agroindustriales	45
Figura 10. Diagrama de flujo tratamientos finales para papel artesanal	46
Figura 11. Diagrama de flujo Residuos Agroindustriales	47
Figura 12. Curva de secado muestras de 150 gramos	52
Figura 13. Curvas de secado muestras de 200 g	52
Figura 14. Gráfica intervalo de confianza humedad	55
Figura 15. Gráfica intervalo de confianza ceniza	59
Figura 16. Diagrama de flujo producción de papel a partir de afrecho de malta	63
Figura 17. Proceso de secado afrecho de malta	68
Figura 18. Montaje hidrólisis ácida suave	69
Figura 19. Montaje proceso de blanqueo	70
Figura 20. Montaje extracción alcalina	72
Figura 21. Diseño factorial 3^2	75

Figura 22. Diagrama de Pareto con factores estadísticamente significativos y no estadísticamente significativos	76
Figura 23. Diagrama de Pareto con únicamente factores estadísticamente significativos	77
Figura 24. Contornos de la superficie de respuesta estimada	78
Figura 25. Gráfica de efectos principales para pulpa seca de celulosa	79
Figura 26 Proceso de prensado de la celulosa	81
Figura 27. Proceso de secado del papel	82
Figura 28. Diagrama BFD con balance de materia para la obtención de papel a partir de afrecho de malta	85
Figura 29. Comparación de textura entre papel artesanal a partir de afrecho de malta y papel industrial	90
Figura 30. Comparación de colores de papeles artesanales según su materia prima	90
Figura 31. Comparación de textura entre papel artesanal a partir de afrecho de malta y papel industrial	91
Figura 32. Comparación de texturas de papeles artesanales según su materia prima	92
Figura 33. Espesor del papel	93
Figura 34. Prueba de transparencia	94
Figura 35. Prueba manual de tinción	95
Figura 36. Prueba manual resistencia al rasgado	96
Figura 37. Prueba manual resistencia al doblez	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la biomasa según su origen, composición y estado.	21
Tabla 2. Condiciones de operación	26
Tabla 3. Corrientes 1 - 12 diagrama PFD cervecería Merak Colombia	27
Tabla 4. Corrientes 13 - 25 diagrama PFD cervecería Merak Colombia	27
Tabla 5. Corrientes 26 - 37 diagrama PFD cervecería Merak Colombia	28
Tabla 6. Pretratamientos de tipo mecánico, químico y térmico aplicado a la biomasa para la extracción de celulosa	35
Tabla 7. Uso final del papel de acuerdo con el proceso y la materia prima	42
Tabla 8. Pesos para cada muestra: Bandeja con afrecho de malta y peso de materia prima restando el peso de la bandeja	50
Tabla 9. Peso de muestras después de 24 horas de secado	51
Tabla 10. Error relativo porcentual para cada muestra	53
Tabla 11. Porcentaje de humedad retirada en las muestras	54
Tabla 12. Ubicación de porcentajes de humedad, según el intervalo de confianza	54
Tabla 13. Peso de crisol y bagazo de malta cada 30 minutos	57
Tabla 14. Peso crisol y bagazo de malta antes de ingresar a la mufla, y peso crisol con ceniza a la salida de la mufla.	57
Tabla 15. Resultado porcentaje de masa de ceniza en el bagazo de malta seca a 105°C	58
Tabla 16. Ubicación de porcentajes de ceniza, según el intervalo de confianza	59
Tabla 17. Posibles usos del bagazo de malta	60
Tabla 18. Materiales de laboratorio utilizados para todo el proceso de obtención de pulpa de celulosa	64

Tabla 19. Equipos de laboratorio utilizados para todo el proceso de obtención de pulpa de celulosa	66
Tabla 20. Reactivos utilizados durante todo el proceso de obtención de pulpa de celulosa	67
Tabla 21. Resultados diseño de experimentos	74
Tabla 22. Análisis de varianza global para determinar el mejor rendimiento de obtención de celulosa	75
Tabla 23. Análisis de varianza sin factores no significativos para determinar el mejor rendimiento de obtención de celulosa	77
Tabla 24. Balance de materia para las operaciones de selección de afrecho, secado 1, hidrólisis ácida suave y filtrado y lavado 1.	86
Tabla 25. Balance de materia para las operaciones de blanqueo, filtrado y secado 2, extracción alcalina, filtrado y lavado 2.	86
Tabla 26. Balance de materia para las operaciones de prensado y secado 2.	87
Tabla 27. Promedio y porcentaje de pérdidas de las 18 muestras después de la hidrólisis ácida suave, blanqueo y extracción alcalina	88
Tabla 28. Medidas de espesor en diferentes puntos del papel	93

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Norma método fibra cruda AOAC 962.09	111
ANEXO 2. Ficha técnica caracterización bagazo de malta	113
ANEXO 3. ANOVA con factores significativos y no significativos	114
ANEXO 4. ANOVA con factores únicamente significativos	117
ANEXO 5. Ficha técnica potenciómetro	120
ANEXO 6. Ficha técnica horno Binder FP 53	122

RESÚMEN

El objetivo principal del presente trabajo de grado es demostrar que se puede obtener papel artesanal a partir del afrecho de malta proporcionado por la empresa Merak Colombia a través de la técnica de pulpeo para obtener la celulosa presente en la biomasa.

Antes de extraer celulosa del afrecho se hizo una caracterización de fibras en la cual se determinó el contenido de celulosa, lignina y hemicelulosa, así mismo por medio de las normas ASTM 871 y ASTM E1755-01 se calcularon los porcentajes de humedad y ceniza, y a partir de estos resultados se identificó la composición fisicoquímica de la malta proporcionada por la empresa, en donde el 63.6% hace referencia al contenido de fibras, el 3.17% a cenizas y el restante a proteínas, vitaminas y demás componentes presentes en la biomasa.

Para la producción de papel artesanal se estableció una ruta de proceso compuesta por un pretratamiento físico, tratamiento químico y un tratamiento final. El tratamiento químico fue la etapa del proceso más importante debido a que en este se realiza una hidrólisis ácida suave, una cloración y una extracción alcalina, y es en este último paso donde se realizó un sistema factorial de tipo 3^2 referente al peso seco de celulosa, variando la concentración de hidróxido de sodio con valores de 5%, 10% y 15% y el tiempo de residencia en plancha de la mezcla con valores de 30, 40 y 50 minutos, con el fin de determinar la ruta óptima para la extracción de celulosa, de este diseño se obtuvo que la concentración y tiempo óptimos fueron del 5% y 40 minutos respectivamente.

Como resultado de este trabajo se determinó que el rendimiento de celulosa obtenida fue de 34.31%; y el papel obtenido con un espesor promedio de 1.84 mm y mayor resistencia al rasgado que un papel tradicional.

Palabras clave: Afrecho de malta, celulosa, técnica de pulpeo, extracción alcalina y papel artesanal.

INTRODUCCIÓN

La cerveza es la bebida alcohólica predilecta del colombiano con un 66.1%, en comparación a otras como el vino, tequila, ron y aguardiente [1], por esta razón no es de extrañar que el promedio de consumo anual de esta bebida por persona en Colombia sea equivalente a 51.4 litros; ahora bien, este licor gracias a las cervecerías artesanales han ganado un espacio en el mercado, pues actualmente Colombia ya cuenta con 200 marcas de micro cervecerías las cuales todas muestran un sabor, olor y textura único para llamar la atención del consumidor. [2]

No obstante, como todo proceso industrial o artesanal la elaboración de la cerveza genera residuos agroindustriales que tienen un valor agregado como lo es el bagazo de malta o BSG el cual gracias a su contenido lignocelulósico y proteico se ha utilizado para la elaboración de suelas de zapato o como complemento alimenticio animal.

El tiempo útil para utilizar el BSG como materia prima para cualquier otro proceso es de apenas 3 días a condiciones normales, esto se debe a que sale con un contenido de humedad superior al 70% y su composición fisicoquímica la hace una excelente fuente de alimento debido a que el 15 – 26.2% equivale a proteínas. [17] Ahora bien, el problema real se presenta cuando un material orgánico se descompone, ya que este desprende vapores de CO_2 a la atmósfera y se producen lixiviados que pueden afectar suelos y fuentes hídricas. [3]

La cervecería artesanal Merak Colombia, se dedica a la producción de cerveza artesanal en la ciudad de Bogotá; con una producción anual de 6000 litros de cerveza, se estima que aproximadamente para una producción de 20 litros de cerveza se utilizan alrededor de 4 kilogramos de malta. Sabiendo que después del proceso de macerado, específicamente en el filtrado se obtendrá el bagazo de malta hidratado, que puede llegar a tener un peso total de 6.5 kilogramos, demuestra que anualmente la cervecería obtiene 1950 kilogramos de afrecho o bagazo de malta.

El propósito de este trabajo fue plantear la posibilidad de usar el bagazo de malta proveniente de la cervecería artesanal Merak Colombia para la elaboración de un papel con propiedades similares al papel industrial, para ello, se estableció una ruta de proceso de tres etapas. La primera etapa comprendió tratamiento físicos para evitar la degradación del BSG, la segunda etapa hizo referencia a la extracción de pulpa de celulosa por medio de la técnica de pulpeo propuesta por Cazaurang, la cual consta de una hidrólisis ácida suave, seguida por un blanqueo con hipoclorito

de sodio al 3.5% de concentración, extracción alcalina y un blanqueo posterior [32] , adicionalmente en esta etapa se propuso un diseño de experimentos para determinar las condiciones de operación óptimas para obtener niveles altos de celulosa, para ello se utilizó el software STATGRAPHICS, finalmente se realizan tratamientos físicos como lo son el prensado y secado para dar forma al papel.

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar papel artesanal utilizando celulosa obtenida del bagazo o afrecho de malta de la industria cervecera.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el contenido de lignina, hemicelulosa y celulosa del bagazo de malta.
- Evaluar el proceso de purificación de celulosa del bagazo de malta.
- Producir papel utilizando la celulosa obtenida del bagazo de malta.

1 GENERALIDADES

1.1 Biomasa

1.1.1 Definición

El término de biomasa según la directiva 2009/28/EC del parlamento europeo y del consejo se define como la fracción biodegradable de los productos, desperdicios y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluyendo sustancias vegetales o animales), silvicultura e industrias relacionadas, incluyendo también pesca y acuicultura, así como la fracción biodegradable de residuos industriales y municipales. [4]

1.1.2 Clasificación de biomasa

La biomasa se clasifica según su origen, composición y estado.

Tabla 1.

Clasificación de la biomasa según su origen, composición y estado.

BIOMASA		
Según	Definición	
Origen	Natural	Se produce de forma espontánea en la naturaleza, en ecosistemas que no hayan sufrido intervención humana.
	Residual	Materia producto de actividades humanas y de vertidos biodegradables. Algunos ejemplos de biomasa residual son aquellos productos de industrias forestales y agrícolas, residuos sólidos urbanos, aguas residuales urbanas, ganaderos, agroindustriales, entre otros.
	Cultivos energéticos	Son cultivos destinados a la producción de energía, es decir, que su función es abaratar los costos de cultivo y, por tanto, el precio de la biomasa final.

BIOMASA		
Según	Definición	
Composición	Según el contenido de carbono, aceite y azúcares (monosacáridos, disacáridos y polisacáridos), se determina el tipo de biomasa. Por ejemplo, si se trata de un residuo vegetal con alto contenido en celulosa y hemicelulosa (polisacáridos), la biomasa se considera lignocelulósica.	
Estado	Sólido	Productos obtenidos de industrias agrícolas, madereras (carpintería, papel, entre otras), cultivos energéticos, residuos sólidos urbanos y cualquier otro residuo con propiedades características de sólidos.
	Líquido	Residuos ganaderos, industriales biodegradables y aguas residuales urbanas.
	Gaseoso	Hace referencia al metano o biogás producto de residuos animales, agroalimentarios, vertederos, escombreras, entre otros.

Nota 1. Esta tabla muestra la clasificación que se le otorga a la biomasa, partiendo desde su origen de obtención, seguido de su composición fisicoquímica y por último se determina el estado en el que se encuentra. Tomado de: “BIOMASA, BIOCMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD” [5] y “Caracterización fisicoquímica de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café) como materia prima para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016” [6].

1.2 Industria de la cerveza Artesanal

1.2.1 Definición

La cerveza artesanal se caracteriza por su variedad de estilos, sabores, aromas, colores e incluso ingredientes muy innovadores, es por esto por lo que ha empezado a tomar importancia y ser una competencia para cervecerías industriales, dado que estas últimas presentan poca variedad en sus productos, debido a que se basan en una producción masiva de productos similares y tienen costos muy altos para producir cervezas diferentes. [7] Cabe mencionar, que la industria cervecera produce residuos de mayor aprovechamiento durante cada etapa del proceso como levadura,

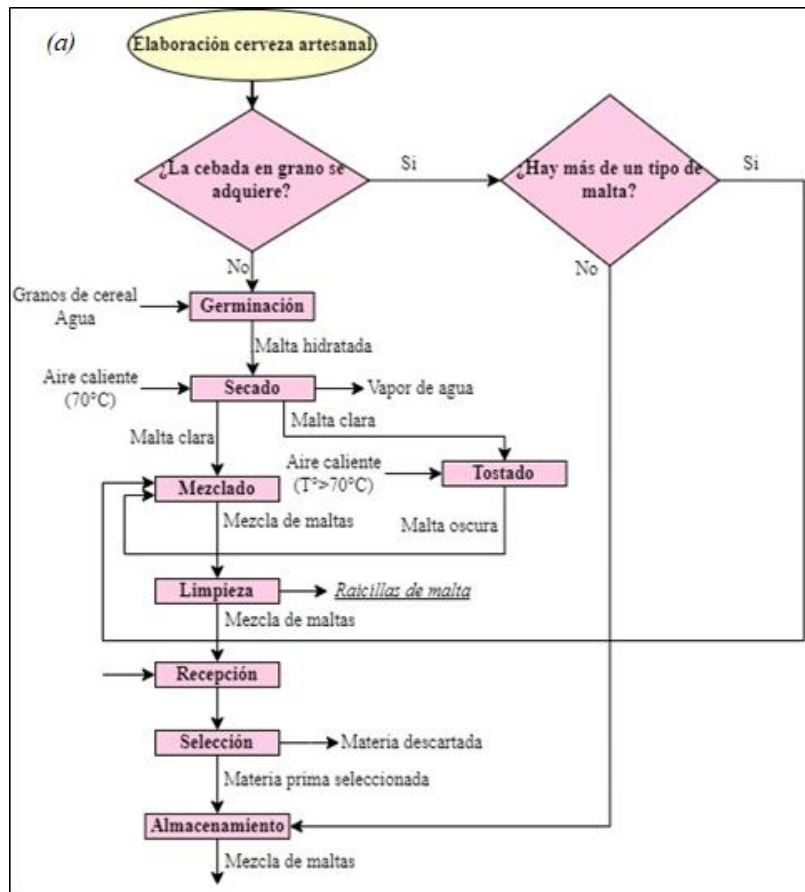
afrecho o bagazo de malta, residuos orgánicos de fruta y aguas residuales procedentes de la etapa de macerado y ebullición del mosto las cuales necesitan de un tratamiento adicional para un uso posterior. [8]

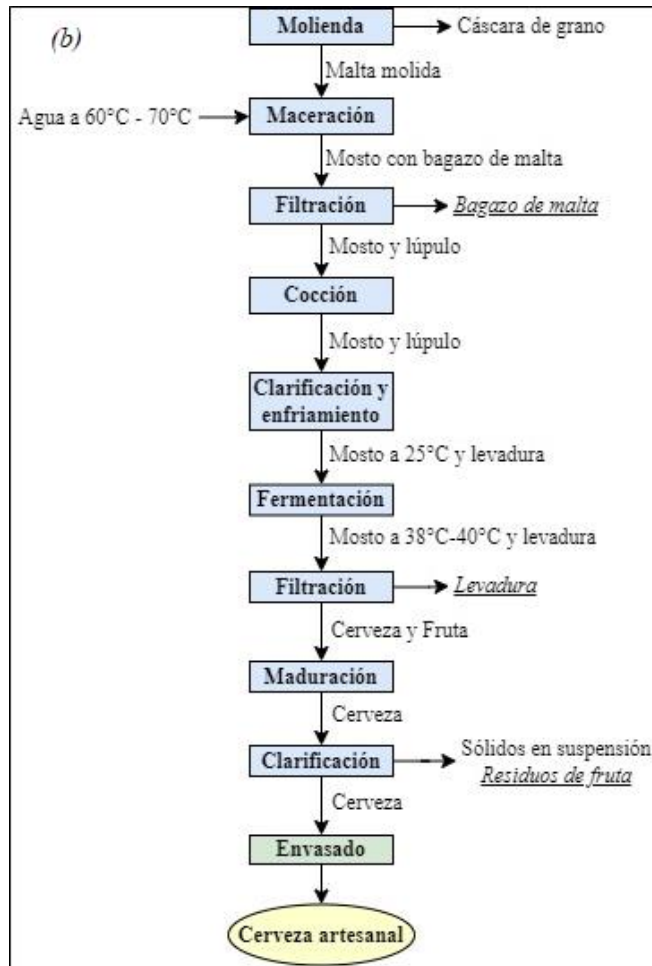
1.2.2 Subproductos

La elaboración de cerveza artesanal, así como cualquier otro proceso genera subproductos que pueden ser utilizados en diferentes campos, a continuación, se mostraran los tres productos secundarios generados después de las etapas de macerado (afrecho de malta), fermentado (levadura) y maduración (residuos orgánicos), (Figura 1).

Figura 1.

Diagrama de flujo elaboración de cerveza artesanal.





Nota 2. En el diagrama se muestra el proceso para la elaboración de cerveza artesanal, identificando los residuos en letra cursiva siendo el bagazo de malta, levadura y residuos de fruta los más importantes. La imagen (a) hace referencia a la obtención de la malta y la recepción de materias primas, mientras que, la imagen (b) corresponde al proceso de elaboración de cerveza artesanal. Información tomada de "Aprovechamiento De Los Subproductos Generados En La Industria Cervecera ". [9].

1.2.2.a Levadura. La levadura es un subproducto que se obtiene de una filtración del mosto fermentado, usualmente es utilizada la *Saccharomyces cerevisiae* para este proceso cervecero [9]; y posteriormente se le da como uso para suplemento nutricional, debido a que es un complemento rico en proteínas y vitaminas del complejo B, así mismo se considera dos veces más rica en proteínas en comparación con las semillas oleaginosas y se iguala al huevo o la leche. [10]

1.2.2.b Residuos orgánicos de fruta. Este subproducto se obtiene de una cerveza artesanal frutal y se encuentra en el proceso de maduración de la cerveza, este residuo agroindustrial puede ser utilizado para la producción de bioenergía o en el proceso de compostaje. [11]

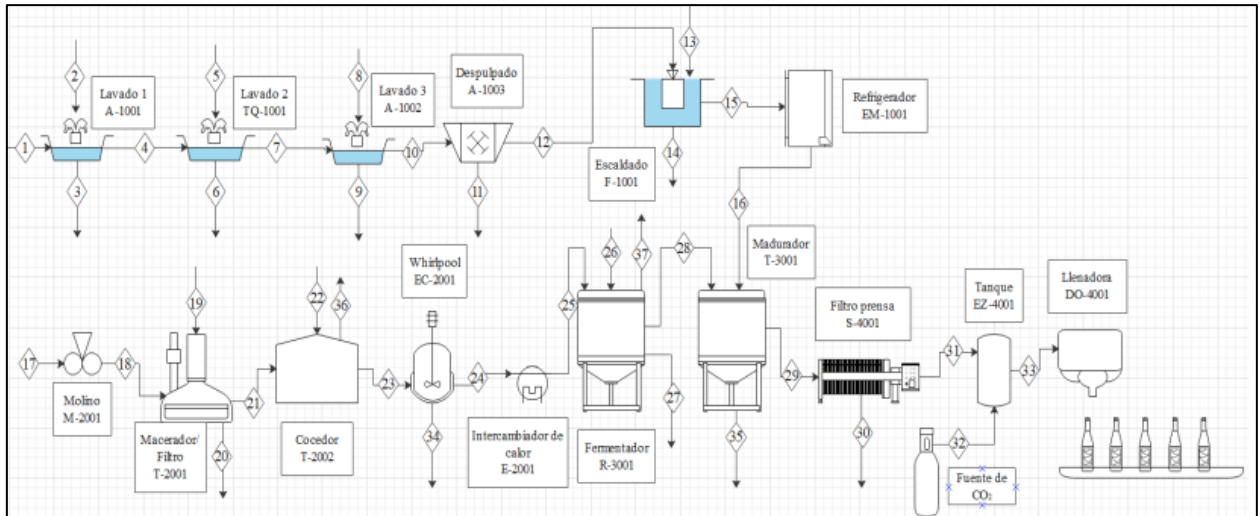
1.2.2.c Aguas residuales. La principal agua residual que encuentra en esta industria es la usada para limpieza de equipos e instalaciones lo que produce que se encuentre con alta carga de materia orgánica debido al contacto con la materia prima como la malta, lúpulo, levadura, entre otros. En la materia se encuentran carbohidratos, almidón, etanol, lípidos y proteínas, además de nutrientes como nitrógeno y fosforo y sales minerales. [12]

1.2.2.d Afrecho o bagazo de malta. El proceso más importante para la elaboración de la cerveza es el macerado, ya que su objetivo principal es la obtención del mosto por medio de los granos de malta molidos y agua caliente a una temperatura de 60 °C a 70 °C durante una hora y media. Una vez finalizado este proceso se retira el bagazo de malta también conocido como remanente del macerado. [13]

El bagazo de malta o BSG es el subproducto de cerveceras industriales o artesanales obtenido del proceso de macerado que se encuentra disponible a bajo o ningún costo. La composición de este residuo depende de la malta que se esté usando, sin embargo, se considera que posee altos contenidos de material lignocelulósico ricos en proteínas y fibras los cuales son en realidad del 20 al 70% de su composición. [14]

Figura 2.

Diagrama PFD elaboración de cerveza artesanal de la cervecería Merak Colombia



Nota 3. En el diagrama se muestra el proceso para la obtención de la cerveza artesanal en la cervecería Merak Colombia. Obtenido de “Evaluación de la adición de gulupa como ingrediente adjunto para la producción de una cerveza artesanal tipo ale” [15]

Tabla 2.

Condiciones de operación

Equipo	Temperatura (°C)	Presión (bar)
Escaldado	96	0,75
Refrigerador	-18	0,75
Molino	17	0,75
Macerador/Filtro	60 a 75	0,75
Cocedor	96	0,75
Whirpool	96 a 86	0,75
Intercambiador de calor	86 a 20	0,75
Fermentador	20	0,75
Madurador	2	0,75

Nota 4. Se muestra las condiciones de operación (como temperatura y presión) de cada equipo involucrado en el proceso. Obtenido de “Evaluación de la adición de gulupa como ingrediente adjunto para la producción de una cerveza artesanal tipo ale” [15]

Tabla 3.

Corrientes 1 - 12 diagrama PFD cervecería Merak Colombia

Componente(g) /corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gulupa	1000	-	-	1000	-	-	1000	-	-	1000	-	-
Pulpa gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504
Agua	-	1500	-	-	-	-	-	1500	-	-	-	-
Solución hipoclorito de sodio 30 ppm	-	-	-	-	1007	1007	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	1500	-	-	-	-	-	1500	-	-	-
Cáscara Gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	496	-
Malta Pale Ale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta Caramelo 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lúpulo Cascade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Levadura Safale US-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Afrecho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerveza Verde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua evaporada cocción	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trub	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fugas o pérdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerveza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	1000	1500	1500	1000	1007	1007	1000	1500	1500	1000	496	504
Presión (bar)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Temperatura (°C)	16,00	12	12	15	16	16	15	12	12	15	15	15

Nota 5. Se encuentran las corrientes 1 – 12 donde se presenta el pretratamiento de la fruta. Obtenido de “Evaluación de la adición de gulupa como ingrediente adjunto para la producción de una cerveza artesanal tipo ale” [15]

Tabla 4.

Corrientes 13 - 25 diagrama PFD cervecería Merak Colombia

Componente(g) /corriente	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa gulupa	-	4	500	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	3000	3000	-	-	-	-	12000	-	-	-	-	-	-
Solución hipoclorito de sodio 30 ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cáscara Gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta Pale Ale	-	-	-	-	1750	1750	-	-	-	-	-	-	-
Malta Caramelo 2	-	-	-	-	225	225	-	-	-	-	-	-	-
Lúpulo Cascade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-
Levadura Safale US-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mosto	-	-	-	-	-	-	-	-	10175	-	9600	9590	9585
Afrecho	-	-	-	-	-	-	-	3800	-	-	-	-	-
Cerveza Verde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua evaporada cocción	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trub	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fugas o pérdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Cerveza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	3000	3004	500	500	1975	1975	12000	3800	10175	15	9600	9590	9590
Presión (bar)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Temperatura (°C)	12	12	12	2	16	17	12	68	72	16	95	86	20

Nota 6. Se encuentran las corrientes 13 – 25 donde las corrientes de la 13 a la 16 hacen parte del pretratamiento desde la corriente 17 hace parte ya del proceso de elaboración de cerveza artesanal y presenta los valores de entrada de la malta y cuanto se obtiene de afrecho . Obtenido de “Evaluación de la adición de gulupa como ingrediente adjunto para la producción de una cerveza artesanal tipo ale” [15]

Tabla 5.

Corrientes 26 - 37 diagrama PFD cervecería Merak Colombia

Componente(g) corriente	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	320	-	-
Agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solución hipoclorito de sodio 30 ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cáscara Gulupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta Pale Ale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta Caramelo 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lúpulo Cascade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Levadura Safale US-05	12	80	-	-	96	-	-	-	-	-	-	-
Mosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Afrecho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerveza Verde	-	-	9517	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua evaporada cocción	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trub	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-
CO2	-	-	-	-	-	-	Corriente no mesurada	-	-	-	-	Corriente no mesurada
Fugas o pérdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	590	-
Cerveza	-	-	-	9697	-	9601	-	9601	-	-	-	-
TOTAL	12	80	9517	9697	96	9601	0	9601	10	320	590	0
Presión (bar)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Temperatura (°C)	16	20	20	2	2	2	-	5	86	2	95	20

Nota 7. Esta tabla muestra el balance de materia de las corrientes 26 a la 37. “Evaluación de la adición de gulupa como ingrediente adjunto para la producción de una cerveza artesanal tipo ale” [15]

El diagrama PFD mostrado en la Figura 2, muestra la identificación de los equipos para la producción de cerveza artesanal de la empresa Merak Colombia según la zona (área) en la que se encuentren donde cada una tiene las etapas correspondientes del proceso. Según el diagrama hay cuatro áreas: La primera consiste en el pretratamiento de la fruta (X-100X), la segunda hace referencia a la recepción de la malta y generación del mosto (X-200X), la tercer área es la zona de fermentación y maduración (X-300X) y la cuarta área se lleva a cabo el filtrado y embotellamiento de la cerveza (X-400X) [15]

El afrecho de malta que la empresa nos proporciona se obtiene de la zona 200 y según el balance mostrado en la Tabla 4 la malta que entra es una mezcla de Pale Ale y caramelo con 1750g y 225g (corriente 17) respectivamente y una vez finalizado el macerado y filtrado se obtiene la biomasa con un total de 3800g (corriente 20).

1.3 Afrecho de malta

1.3.1 Definición

Definido por la American Association of Feed Control Officials (AAFCO) el afrecho se considera como “El residuo seco extraído de la sola Malta de Cebada o mezclada con otros granos

cereales o productos de granos, resultante de la manufactura del mosto o de la cerveza, y que puede contener residuos de lúpulo gastado en una cantidad que no excede el 3%; uniformemente distribuido”. [17]

1.3.2 Características fisicoquímicas del afrecho de malta

Según el aminograma del afrecho se muestra que tiene una composición equilibrada relacionados a los aminoácidos más limitantes en las especies monogástricos como las siguientes: lisina, metionina, metionina más cistina y triptófano; el afrecho contiene niveles invertidos relacionados en calcio y fosforo y bajos niveles de potasio en comparación con los subproductos del arroz o el trigo. [17]

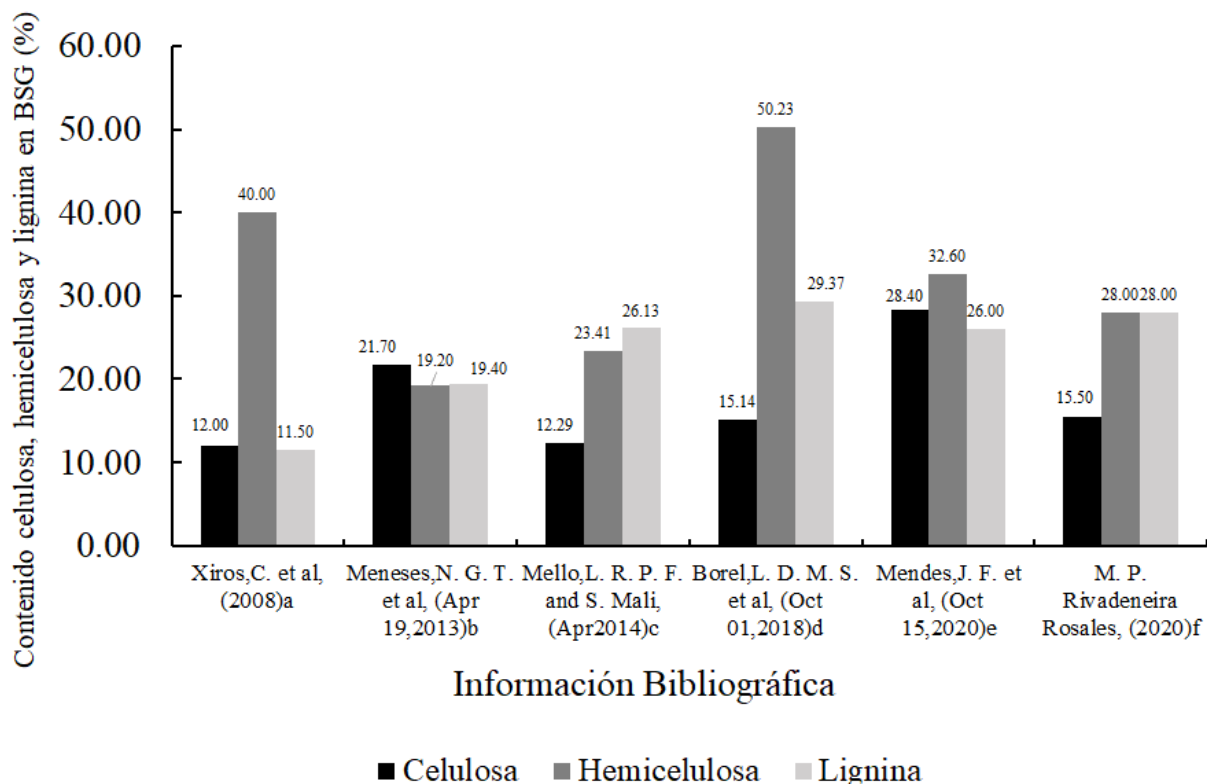
El 80% de la masa presente en el bagazo de malta se solubiliza, dejando como resultado un material fibroso que cuenta con un alto contenido proteico (15 – 26.2%) el cual hace referencia a una quinta parte del valor nutricional. No obstante, el 70% restante de su composición hace referencia a fibras, las cuales son celulosa, hemicelulosa y lignina; dependiendo del tipo de malta el porcentaje de estas fibras varía: la celulosa está en un rango de 15.5 a 25%, la hemicelulosa cuenta con valores entre 28 a 5% y por último la lignina posee un porcentaje de 28% aproximadamente en la composición total del bagazo de malta. [17]

Una forma de caracterizar el afrecho de malta es por medio de identificación de fibras solubles e insolubles. La malta puede contener un 53% de Fibra detergente neutra (FDN) y 27% de Fibra Detergente Acida (FDA). Adicionalmente el bagazo tiene presencia de ácido ferúlico el cual tiene funciones positivas, las cuales no solo tiene relación con las propiedades antioxidante en respuesta a los radicales libres, también tiene propiedades antimicrobianas, protege de enfermedades coronarias, anticancerígenas, entre otras. [10]

Además de las fibras y el contenido proteico, esta biomasa presenta dentro de su composición minerales como el calcio, fósforo y selenio, igual que biotina, colina, ácido fólico, niacina, ácido pantoténico, riboflavina, tiamina y vitamina B6. Algunos aminoácidos como leucina, valina, alanina, serina, glicina, tirosina, lisina, prolina, treonina, arginina, cistina, isoleucina, metionina, fenilalanina, triptófano, glutámico y ácido aspártico están dentro de la composición del afrecho de malta, no obstante, sus porcentajes son muy bajos debido a las proteínas y las fibras. [17]

Figura 3.

Datos bibliográficos de celulosa, hemicelulosa y lignina



Nota 8. La figura muestra la composición fisicoquímica del bagazo de malta de cebada de algunas referencias bibliográficas. Tomado de (a) "Evaluation of *Fusarium oxysporum* as an enzyme factory for the hydrolysis of brewer's spent grain with improved biodegradability for ethanol production." [19], (b) "Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains." [20], (c) "Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch." [21], (d) "Pyrolysis of brewer's spent grain: Kinetic study and products identification." [22], (e) "Development, physical-chemical properties, and photodegradation of pectin film reinforced with malt bagasse fibers by continuous casting." [23] y (f) "Propuesta De Re-Utilización De Los Residuos Del Proceso De Producción De Cerveza Artesanal Para Incremento De La Productividad De La Empresa Holy Krank." [18]

La Figura 3 suministra la composición fisicoquímica del bagazo de malta en base a información bibliográfica, es decir porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina presente; como se puede observar cada bibliografía contiene diferentes valores de estos componentes debido a que depende

del afrecho de malta porque hay factores como el tipo de malta, su calidad y el proceso de elaboración de cerveza que pueden determinar el porcentaje de estos componentes. [19]

1.3.3 Usos

En Colombia el principal uso que se le pueden dar a este subproducto de la industria Cervera es utilizarlo para alimento de animales; así mismo en la biorremediación de suelos y como desecho en rellenos sanitarios, sin embargo, debido a la gran susceptibilidad de este material a su degradación y de algunos animales a su incapacidad de metabolizar materiales con alta carga lignocelulósica, se ha estudiado procesos alternativos para su utilización. [24]

Los estudios más relevantes en la actualidad para el aprovechamiento de este residuo son la elaboración de suelas de zapatos, ladrillos utilizando únicamente la sílice contenida en la cáscara de la malta y también la posibilidad de producción de biocombustibles de segunda generación de proteínas y fibras los cuales son en realidad del 20 al 70% de su composición. [14] Igualmente, por su contenido de ácido ferúlico actualmente se está estudiando para su aplicación en la industria farmacéutica. [10]

1.4 Industria de papel

1.4.1 Definición

En Colombia la industria de pulpa, papel y cartón en 2018 según la ANDI aporta un 4,6% del PIB de la industria nacional, además de experimentar un aumento de producción del 3,3%. La materia prima que se utiliza para la fabricación del papel proviene de plantaciones forestales certificadas, fibra virgen de bagazo de caña de azúcar o fibra reciclada recolectada de residuos de papel después de su consumo. [25]

Es importante resaltar que la fabricación de papel en Colombia está inclinada en aprovechar la mayoría de los residuos producidos durante y después del proceso de producción; en 2017 la ANDI reportó que el 99,89% de los residuos son no peligrosos, de los cuales pertenecen a remanentes de materia prima (madera, papel reciclado o bagazo de caña de azúcar entre otros), mientras que el 0,11% restante hace referencia a residuos peligrosos (aceites usados, residuos de aparatos eléctricos y contaminación de agua entre otros), adicionalmente el 68% y 56% de los residuos no peligrosos y peligrosos respectivamente se lograron recuperar. [25]

1.4.2 Caracterización

La fabricación de papel depende cien por ciento de la composición de la pared celular vegetal, no obstante, esta parte de la célula varía durante el crecimiento de la planta. Cuando es muy joven o está en crecimiento, la pared celular es de tipo primaria y se caracteriza por tener cantidades aproximadamente iguales de celulosa, hemicelulosa y pectina permitiendo que sea relativamente delgada y no impida el crecimiento de la célula. Una vez superada la etapa de crecimiento, se desarrolla la pared celular secundaria la cual se ubica entre la membrana plasmática y la pared celular primaria. Este tipo de estructura se caracteriza por ser más rígidas debido a que carecen de pectinas y por presentar un polisacárido adicional conocido como lignina. [26]

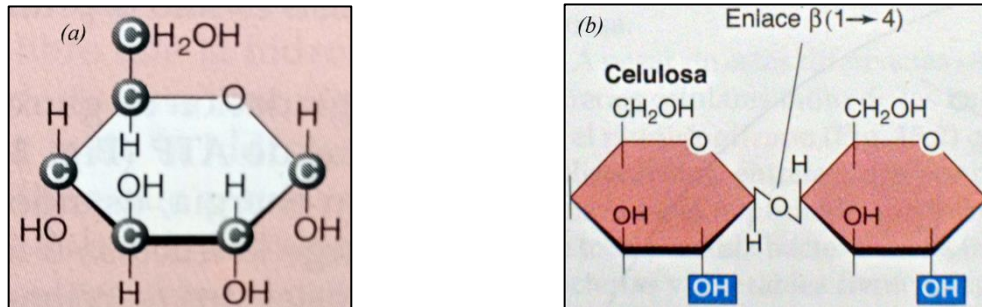
Como se mencionó anteriormente, la pared celular vegetal está compuesta por celulosa, hemicelulosa, pectina, proteína y lignina, a continuación los definimos.

- Celulosa: polímero constituido por más de 10.000 monómeros de restos de glucosa unidos por medio de enlaces β (1 \rightarrow 4), permitiendo formar largas cadenas rectas, (Figura 4). Las microfibrillas de celulosa se forman mediante 36 cadenas polisacáridas por medio de puentes de hidrógeno hasta obtener un grosor de 3nm, se encuentran encerradas en una matriz tipo gel compuesta por proteínas, hemicelulosa y pectinas, (Figura 4). [26]

La celulosa en la industria de papel constituye un 90% proveniente de material leñoso directamente de los árboles, y el 10% restante hace referencia a fibras obtenidas de biomasa residual como caña de azúcar o pastos entre otros. [27]

Figura 4.

Estructura molecular de la celulosa

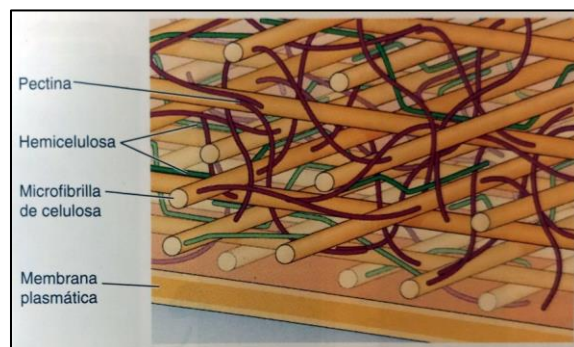


Nota 9. La figura (a) muestra la estructura de la glucosa, componente clave para la formación de la celulosa. La figura (b) es la unión de dos glucosas por medio de un enlace $\beta(1 \rightarrow 4)$. Tomada de: C. Geoffrey M. and H. Robert E., La Célula. (Séptima ed.) MARBÁN, 2018. Páginas 86 y 574. [26]

- Hemicelulosa: polímeros altamente ramificados unidos a las microfibrillas de celulosa por enlaces de hidrógeno, con la función de estabilizarlas y crear una fibra resistente. El xiloglucano es el polisacárido hemicelulósico más abundante presente en la mayoría de las plantas, el cuál está constituido por un eje central $\beta(1 \rightarrow 4)$ glucano más corto que el de la celulosa, sin embargo, a diferencia de este último el enlace de unión entre monómeros se da por medio de enlaces $\alpha(1 \rightarrow 6)$. [28]
- Pectina: polisacaridos ramificados que contienen una gran cantidad de residuos: ácido galacturónico de carga negativa y neutros como la ramnosa, galactosa y arabinosa, los cuales están inmersos en la matriz. El ácido galacturónico al ser un compuesto negativo, se une a iones positivos como el Ca^{+2} , permitiendole atrapar moléculas de agua y formar geles. [26]

Figura 5.

Pared celular vegetal



Nota 10. La figura muestra que las microfibrillas de celulosa están organizadas en lámina, la hemicelulosa está asociada con las microfibrillas; ambos polímeros están inmersos en un gel formado por pectinas. Tomada de: C. Geoffrey M. and H. Robert E., *La Célula*. (Séptima ed.) MARBÁN, 2018. Página 575. [26]

- **Proteínas:** La pared celular contiene diferentes tipos de proteínas y cantidades según el tipo de pared celular; en el caso de la primaria las proteínas equivalen al 10% del peso de la pared celular. Los tipos de proteínas más comunes son las ricas en hidroxipropilina (HRGP) o extensiva, prolina (PRP), glicina (GRP) y proteínas arabinoglactano (AGP). [28]
- **Lignina:** Polímero complejo de residuos fenólicos hidrófobos, que se insertan en los espacios presentes entre los demás polímeros (Microfibrillas de celulosa, hemicelulosa y pectina), adicionalmente, este compuesto deshidrata la pared celular sellandola y haciendola resistente a la degradación por parte de patógenas. [26]

1.4.3 Procesos de obtención de celulosa

Los residuos lignocelulósicos están compuestos principalmente de lignina, hemicelulosa y celulosa, siendo este último el componente de mayor interés para la producción de materiales o combustibles biodegradables. No obstante, es necesario realizar pretratamientos a estos productos debido a que la lignina al ser el polímero de mayor abundancia impide el acceso a los monómeros más sencillos como la hemicelulosa y celulosa. Los tratamientos que se aplican para degradar la lignina y penetrar su estructura para acceder a dichos monómeros son de tipo mecánico, térmico y químico. [6]

Tabla 6.*Pretratamientos de tipo mecánico, químico y térmico aplicado a la biomasa para la extracción de celulosa*

PRETRATAMIENTOS		
Tipo	Características	
Físico o mecánico	Trituración Mecánica	Utiliza procesos de trituración, astillado y molienda para aumentar el área superficial y densidad aparente, de manera que se facilite un pretratamiento térmico o químico.
	Radiación de alta energía	Rompimiento de enlaces β -glucosídicos, celulosa y lignina. Sin embargo, es un proceso costoso que requiere de instalaciones complejas.
Químico	Ácido diluido	<p>Ácidos a bajas concentraciones (0,5 – 5%) con temperaturas de 150° – 250°C. Los ácidos más utilizados en este proceso son: Ácido Sulfúrico, clorhídrico, fórmico, nítrico y fosfórico</p> <p>La selección del ácido depende de la cantidad y composición de la biomasa lignocelulósica, esto para reducir la degradación y pérdidas de azúcares, además de la formación de agentes inhibidores. Para este proceso se recomienda usar equipos resistentes a la corrosión.</p>
	Ácido concentrado	<p>Ácidos a altas concentraciones (30 – 60%) con temperaturas de 100° – 150°C. Los ácidos más utilizados en este proceso son: Ácido Sulfúrico, clorhídrico, fórmico, nítrico o fosfórico.</p> <p>Este proceso reduce la degradación de azúcares y los costos energéticos debido a la disminución de temperatura, no obstante, se necesitan catalizadores</p>

PRETRATAMIENTOS

Tipo	Características	
		químicos, recuperar y disponer de estos ácidos, generando un aumento en costos.
	Hidrólisis alcalina	Utiliza hidróxido de sodio a bajas temperaturas (50° - 100°C), sin embargo, se debe conocer el tipo de biomasa debido a que se presentan saponificaciones de ésteres intermoleculares que unen a la hemicelulosa con los otros componentes.
	Solventes orgánicos	Mezcla de solventes orgánicos y ácidos como el sulfúrico y el clorhídrico al 1%.
Térmico	Explosión de vapor	Utilización de vapor sobrecalentado (160°-260°C) y presiones altas (5 – 10 bares), su función es romper la matriz celular para acceder a la hemicelulosa y lignina. Hidrólisis ácida parcial o completa con tiempos de residencia cortos (5 a 30 minutos), seguido de lavados. Los lavados generan pérdidas de azúcar y formación de inhibidores de fermentación.
	Explosión de vapor con CO ₂	Se utiliza 4 kg de CO ₂ en contacto con biomasa seca con una presión de entre 5 – 6 Mpa. El rendimiento obtenido es relativamente bajo comparado con el método de explosión de vapor.
	Explosión de vapor con SO ₂	Utiliza dióxido de azufre gaseoso, para acidificar la biomasa con el fin de facilitar la hidrólisis de celulosa y hemicelulosa antes de pasar a un proceso de explosión de vapor.
	Explosión de vapor con NH ₃	Las condiciones de operación son a 27 °C y 1,24 Mpa, no obstante, al ser un compuesto costoso se puede sustituir el amoniaco por el dióxido de carbono (CO ₂), considerando la disminución en los rendimientos.

Nota 11. Esta tabla muestra algunas ventajas, desventajas y condiciones de operación para cada uno de los pretratamientos correspondientes. Tomado de: “BIOMASA, BIOCMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD” [5] y “Caracterización fisicoquímica de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café) como materia prima para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016” [6].

1.4.4 *Producción de papel*

La producción industrial de papel convencional (madera, trozos de corteza o astillas), está dominado por dos métodos: TMP (Thermomechanical Paper o papel termo mecánico) y Kraft. A continuación, se definirá cada técnica y su correspondiente diagrama de flujo.

1.4.4.a Método TMP. Es un proceso muy simple el cual es usado para la producción de papel de baja calidad, y generalmente se obtiene el papel prensa o el papel estucado, la materia prima que se utiliza en este proceso es madera blanda. Este método es amigable con el medio ambiente, debido a que no usa productos químicos y utiliza toda la madera que ingresa al proceso exceptuando la corteza de esta. No obstante, la mayor desventaja es que al no usar un químico blanqueador, parte de la lignina remanente en la pulpa cambia su color de blanco a amarillo debido a su exposición a la luz, (Figura 6). [29]

1.4.4.a.i Pretratamiento.

- *Recepción y limpieza:* La madera que se utiliza no debe estar podrida, doblada, hueca o torcida, adicionalmente, debe lavarse con agua para retirar sólidos o impurezas como trozos metálicos o mugre adheridas a la superficie. [29]
- *Secado 1:* Se elimina el agua proveniente del lavado de madera.
- *Descortezado:* Al ser materias primas leñosas, la superficie está cubierta por una corteza con baja proporción de celulosa en su interior. Para retirar estos sólidos se usa una descortezadora de madera con un rendimiento de 98%. [30]
- *Cortado:* Con ayuda de una sierra de cinta, la madera libre de corteza se corta de forma transversal y longitudinal. El rendimiento en este proceso equivale al 99%. [30]
- *Molienda:* La madera debe molerse hasta alcanzar un área superficial de 2 mm, adicionalmente se agrega agua obteniendo una mezcla de agua con pulpa con una concentración de 2 y 5%. El rendimiento en esta etapa equivale a 2857% respecto a la madera ingresada. [30]

1.4.4.a.ii Extracción de celulosa.

- *Secado 1 y tamizado*: La mezcla se deja secar retirar agua y facilitar la separación de partículas livianas y pesadas presentes en la mezcla. Esta etapa usa un tamizador y su rendimiento es del 97%. [30]

- *Blanqueo*: Por medio del aire u oxígeno, se retiran los sólidos más livianos, esto para reducir la concentración de lignina en la pulpa. [29]

1.4.4.a.iii Tratamiento final.

- *Secado 2 y prensado*: Se elimina agua de la pulpa en forma de vapor, la pulpa pasa después a una prensa por rodillos para generar láminas de celulosa con un grosor deseado. [30]

1.4.4.b Método Kraft. Es un proceso que combina buena calidad con bajo costo el cual es usado para la producción de papel de alta calidad, y generalmente se obtiene el papel blanco, la materia prima que utiliza puede ser madera blanda o dura. Este método no es muy amigable con el medio ambiente, debido a que usa productos químicos los cuales están mezclados con agua, por lo que es necesario realizar un tratamiento de aguas, sin embargo, a diferencia del método TMP, la pulpa de celulosa no cambia su color al momento de exponerse a la luz, ya que se usan productos químicos que inhiben a la lignina, (Figura 7). [29]

1.4.4.b.i Pretratamiento.

- *Recepción y limpieza*: La madera que se utiliza no debe estar podrida, doblada, hueca o torcida, adicionalmente, debe lavarse con agua para retirar solidos o impurezas como trozos metálicos o mugre adheridas a la superficie. [30]

- *Secado 1*: Se elimina el agua proveniente del lavado de madera.

- *Descortezado*: Al ser materias primas leñosas, la superficie está cubierta por una corteza con baja proporción de celulosa en su interior. Para retirar estos sólidos se usa una descortezadora de madera con un rendimiento de 98%. [30]

- *Cortado*: Con ayuda de una sierra de cinta, la madera libre de corteza se corta de forma transversal y longitudinal. El rendimiento en este proceso equivale al 99%. [30]

- *Molienda*: La madera debe molerse hasta alcanzar un área superficial de 2 mm, adicionalmente se agrega agua obteniendo una mezcla de agua con pulpa con una concentración de 2 y 5%. El rendimiento en esta etapa equivale a 2857% respecto a la madera ingresada. [30]

- *Cribado*: Por medio de cribas con diferentes tamaños de partícula se separan trozos de madera superiores e inferiores a 2 mm. Si son superiores a 2 mm se recirculan a la molienda, mientras que los inferiores se utilizan como residuos combustibles o se convierten en aserrín. [30]

1.4.4.b.ii Extracción de celulosa.

- *Cocción*: En un digestor de tipo continuo, se ingresan los trozos de madera con 2 mm de área y licor blanco. Este licor es una mezcla entre hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, el cual tiene como disolver las fibras de lignina mediante la disolución de lignina para liberar la celulosa. De este proceso se obtiene un desecho líquido y un producto sólido; el primero es un licor negro (mezcla de hidróxido de sodio, agua y lignina), mientras que, el segundo es la pulpa de celulosa. [30]

- *Tamizado*: Mediante un tamiz, se separan los trozos de madera que no hayan sido digeridos, para reutilizarlos en la etapa de cocción. [30]

- *Lavado*: Mediante agua desionizada se lava la pulpa de celulosa para retirar los restos del licor negro. [30]

- *Blanqueo*: La celulosa antes de este proceso se caracteriza por un color oscuro debido a los remanentes de lignina, para modificar el color de este material se utilizan agentes químicos como el dióxido de cloro, oxígeno y soda cáustica. Sin embargo, existen dos métodos de blanqueo: ECF hace referencia al uso libre de cloro elemental (Dióxido de cloro) y TFC que está totalmente libre de cloro elemental (Peróxido de hidrógeno y oxígeno). [30]

Según la ISO-2470, normalmente se retira el 7% de lignina y se alcanza un blanco del 87 – 90%. [30]

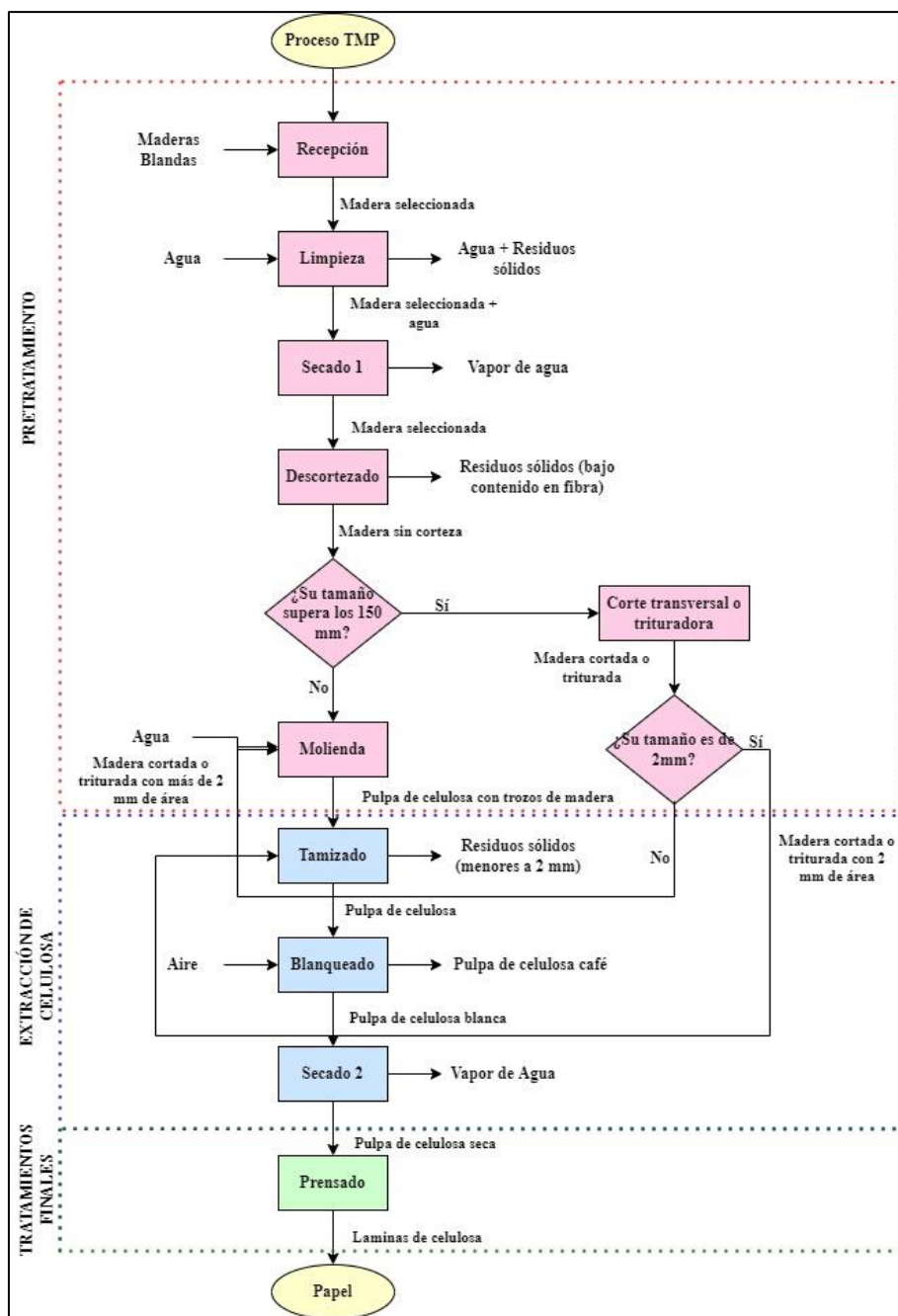
- *Secado 2*: Se elimina el agua residual del lavado y el blanqueo de pulpa de celulosa. [30]

1.4.4.b.iii Tratamiento final.

- *Secado 3 y prensado*: Se elimina agua de la pulpa en forma de vapor, la pulpa pasa después a una prensa por rodillos para generar láminas de celulosa con un grosor deseado. [30]

Figura 6.

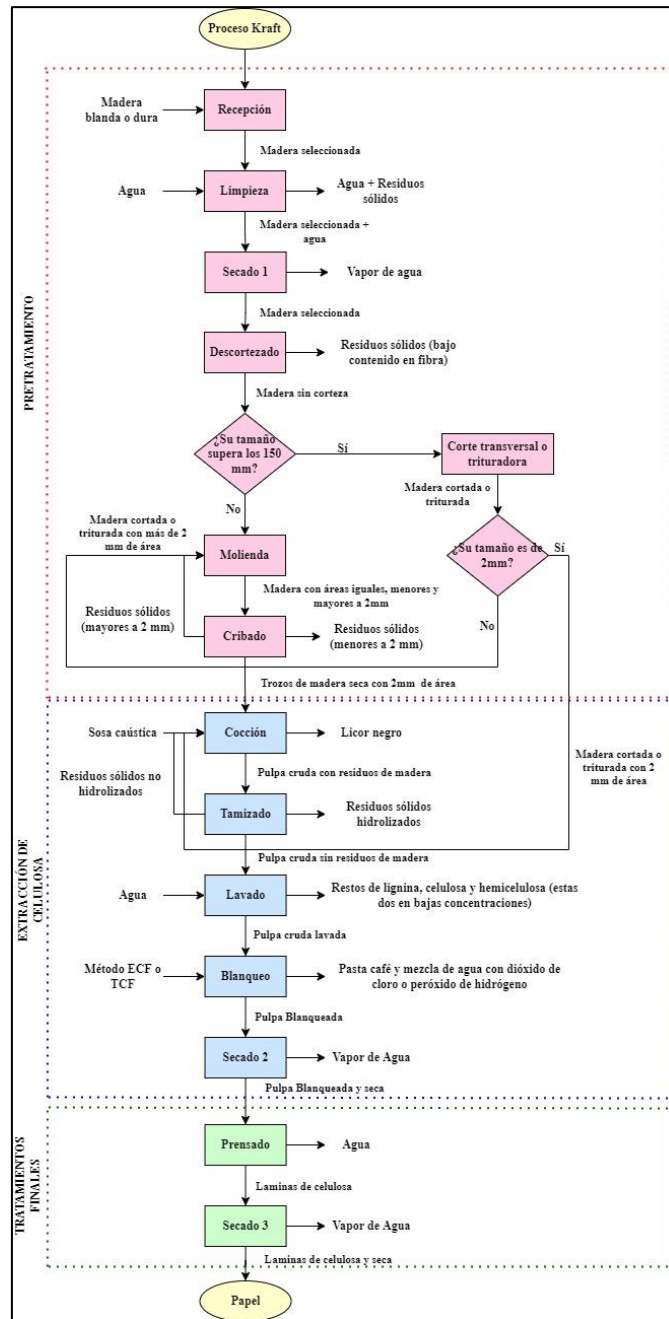
Diagrama de flujo método TMP



Nota 12. El diagrama muestra la ruta de proceso para la elaboración de papel de baja calidad; el color rojo, equivale al proceso de pretratamiento, el azul es la extracción de celulosa y el verde hace referencia al tratamiento final de la pulpa. Información tomada de: “Fabricación de pasta de celulosa aspectos técnicos y contaminación ambiental” [29]; “Análisis de los costos de producción de pulpa de celulosa: Métodos Kraft y vapor” [30].

Figura 7.

Diagrama de flujo método Kraft



Nota 13. El diagrama muestra la ruta de proceso para la elaboración de papel de alta calidad; el color rojo, equivale al proceso de pretratamiento, el azul es la extracción de celulosa y el verde hace referencia al tratamiento final de la pulpa. Información tomada de: “Fabricación de pasta de celulosa aspectos técnicos y contaminación ambiental” [29]; “Análisis de los costos de producción de pulpa de celulosa: Métodos Kraft y vapor” [30].

1.4.5 Tipos de papel

Dependiendo del tipo de madera utilizada y del proceso, se obtiene un grado de pulpa el cuál es utilizado para la producción de diversos tipos de papel. A continuación, mostraremos una tabla en la cual se clasifica el proceso, el tipo de materia prima y el uso final que se le da al papel obtenido.

Tabla 7.

Uso final del papel de acuerdo con el proceso y la materia prima

Clasificación de pulpa	Materia Prima	Uso del producto final
<i>Pulpa obtenida de procesos químicos</i>		
Pulpa al sulfito	Madera blanda y madera dura	Papeles finos y de imprenta.
Pulpa Kraft al sulfato	Madera blanda y madera dura	Papeles blancos para imprimir y escribir, cartón, cartulina, papeles de embalaje pesados sin embalar.
Disolución de pulpa	Madera blanda y madera dura	Rayón viscoso, celofán, fibras de acetato y películas.
<i>Pulpa obtenida de procesos semi químicos</i>		
Pulpa caustica en frío	Madera blanda y madera dura	Papeles de imprenta de prensa y triturados.
Proceso de sulfito neutro	Madera dura	Papeles de imprenta de prensa y triturados.
<i>Pulpa obtenida de procesos mecánicos</i>		
Madera triturada con piedra	Principalmente madera blanda	Medio corrugado
Refinadora mecánica (RMP)	Principalmente madera blanda	Papeles de imprenta de prensa y triturados.
Termo mecánica (TMP)	Principalmente madera blanda	Papeles de imprenta de prensa y triturados.

Químico-Mecánica (CTMP)	Principalmente madera blanda	Papel periódico y finos.
-------------------------	------------------------------	--------------------------

Nota 14. La tabla muestra los diferentes usos que se le pueden dar al papel de acuerdo con el proceso químico y a la materia prima utilizada. Datos recuperados y traducidos de "Basic overview of pulp and paper manufacturing process". [31]

El proceso Kraft es el más utilizado en la industria de papel, debido a su recuperación química (con respecto a los diferentes tratamientos de agua planteadas en las etapas de cocción, en donde se obtiene un licor negro y blanqueo en donde el agua está mezclada con agentes químicos como el dióxido de cloro o peróxido de hidrógeno) y la resistencia de la pulpa obtenida, adicionalmente, representa el 91% de la pulpa química y el 75% de toda la pulpa producida. [31]

1.5 Papel artesanal

1.5.1 Definición

El papel artesanal a diferencia del industrial es diseñado hoja por hoja y no de forma continua, utiliza materia prima virgen (madera) o biomasa para la obtención de un papel con bordes y rugosidades irregulares, que adicionan un valor agregado en el mercado. [27]

1.5.2 Técnica de pulpeo

La obtención de celulosa en residuos agroindustriales sigue un método conocido como técnica de pulpeo propuesta por Cazaurang, et al en 1990, el cual consta de cuatro pasos: Un pretratamiento químico (hidrólisis ácida), una cloración de alta concentración, una extracción básica y un blanqueo final (figura 11). [32]

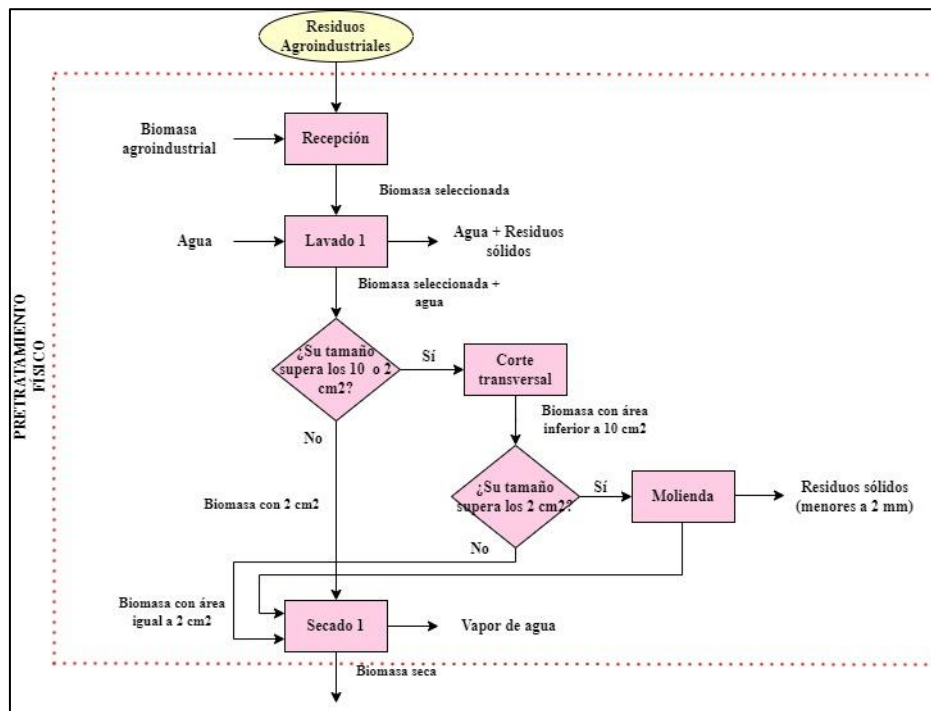
1.5.2.a Pretratamiento físico.

- *Recepción y limpieza:* La biomasa que se utiliza no debe estar fermentada o presentar algún daño que impida su uso, adicionalmente, debe lavarse con agua para retirar solidos o impurezas adheridas a la superficie de la biomasa. [27]
- *Cortado:* Dependiendo de la materia prima, se utilizan equipos que reduzcan el área superficial de la biomasa, por ejemplo, la caña de guadua necesita de un equipo que realice cortes transversales para formar anillos con área superficial más pequeña. [27]

- *Troceado y molienda:* En el caso que la biomasa no cumpla con el tamaño óptimo para la extracción de celulosa por medio de agentes químicos, es necesario usar un equipo que realice cortes de manera paralela a la fibra o un molino hasta alcanzar un tamaño de 2 cm^2 con espesor de 1 a 2 mm [27].
- *Secado 1:* La materia prima es enviada a un horno a temperatura de $102^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ para obtener materia seca. [27]

Figura 8.

Diagrama pretratamiento físico residuos agroindustriales



Nota 15. El diagrama muestra el pretratamiento físico que se debe seguir antes de extraer la celulosa. Información tomada de: “*ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA GUADUA (Guadua Angustifolia K.)*” [27].

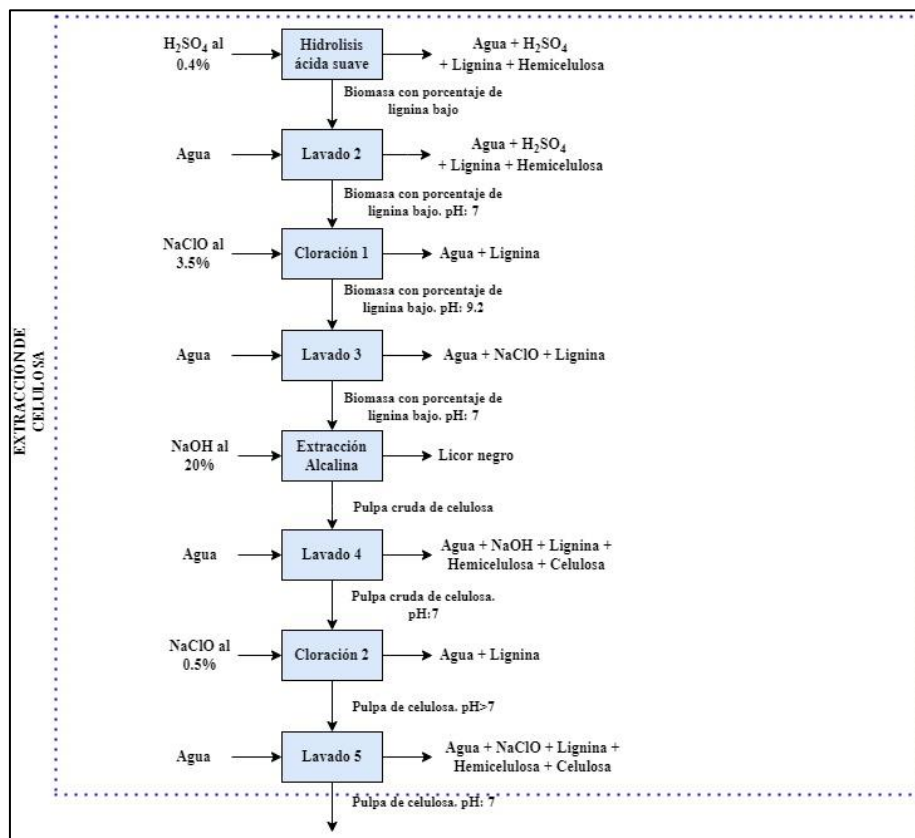
1.5.2.b Extracción de celulosa.

- *Pretratamiento:* Se realiza una hidrólisis ácida suave con ácido sulfúrico (H_2SO_4) a una concentración de 0.4% durante una hora. [33]
- *Lavado 1:* Se realizan lavados con agua destilado hasta alcanzar un pH de 7. [33]

- *Cloración 1:* Se utiliza hipoclorito de sodio (NaClO) al 3.5% de concentración, temperatura de 30°C, agitación continua hasta alcanzar un pH de 9.2. [33]
- *Lavado 2:* Se realizan lavados con agua destilado hasta alcanzar un pH de 7. [33]
- *Extracción básica:* Se realiza una extracción alcalina con hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración del 20% durante una hora. [33]
- *Lavado 3:* Se realizan lavados con agua destilado hasta alcanzar un pH de 7. [33]
- *Cloración 2:* Se utiliza hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5% de concentración y agitación continua durante una hora hasta alcanzar un pH de 9.2. [33]
- *Lavado 4:* Se realizan lavados con agua destilado hasta alcanzar un pH de 7. [33]

Figura 9.

Diagrama de flujo extracción celular para residuos agroindustriales



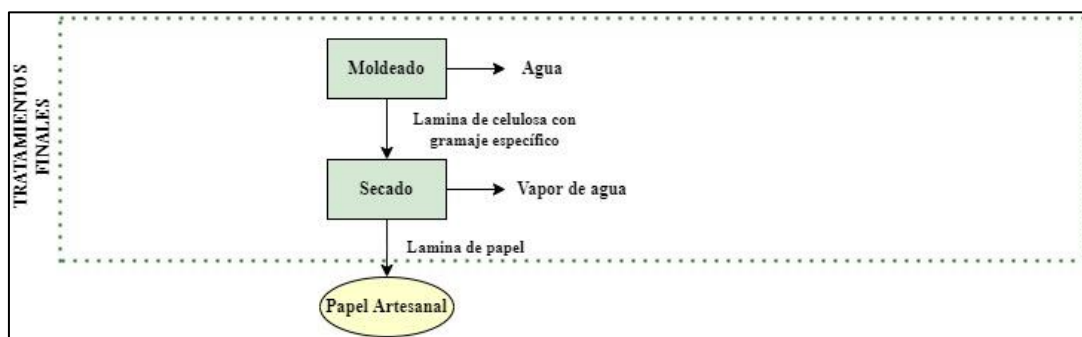
Nota 16. El diagrama muestra la ruta para la extracción de celulosa usando la técnica de pulpeo. Información tomada de "Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*saccharumofficinarum* l.)" [33].

1.5.2.c Tratamiento final.

- *Moldeado*: Mediante un bastidor, se da forma a la celulosa extraída, así como el gramaje deseado para el papel. [33]
- *Secado 2*: El papel se coloca en una tela absorbente para retirar parcialmente el agua, no obstante, es enviado al horno a 60 °C para retirar la merma de agua. [33]

Figura 10.

Diagrama de flujo tratamientos finales para papel artesanal



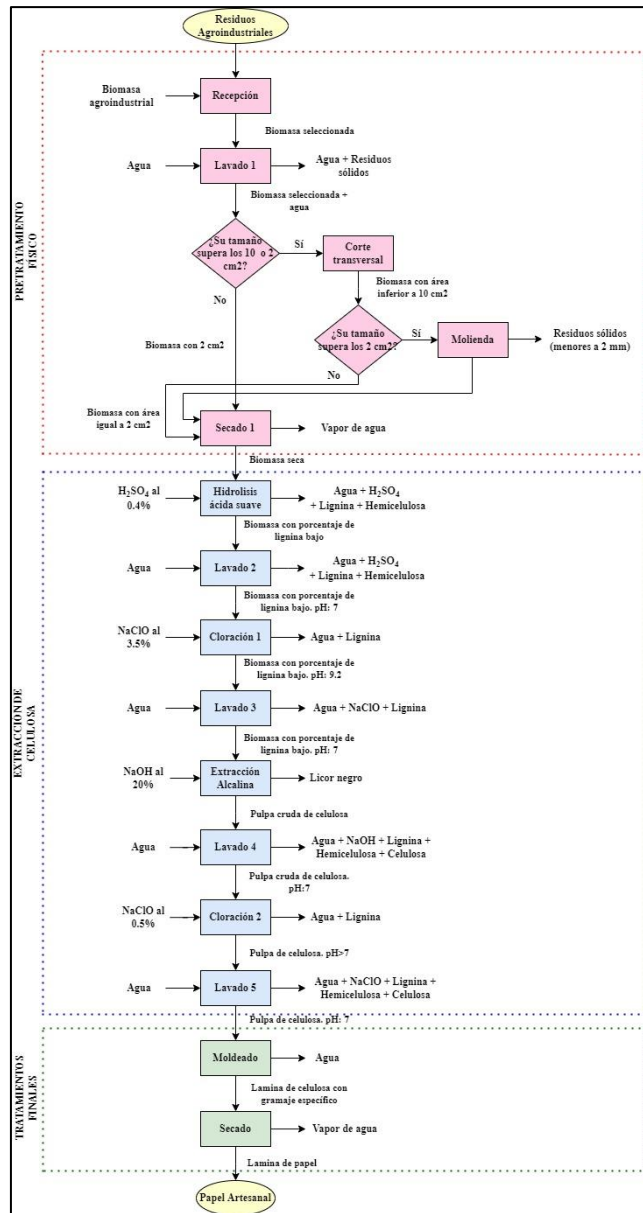
Nota 17. El diagrama muestra la ruta de tratamiento final para la elaboración de papel artesanal. Información tomada de “Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*saccharumofficinarum* l.)” [33].

1.5.3 *Materias primas*

Los procesos de producción que utilizan materia orgánica como producto básico son susceptibles a generar residuos agroindustriales, los cuales en su mayoría representan un beneficio para la elaboración de nuevos materiales, por ejemplo en Colombia según la ANDI en 2018 el 73,23% de los productos base para la elaboración de papel corresponde a la fibra virgen de bagazo de caña (12,42%) y fibra reciclada recolectada de residuos de papel después de su consumo (60,81%), donde el bagazo de caña corresponde a un residuo agroindustrial lignocelulósico producto de la fabricación de azúcar a partir de la caña, mientras que el papel reciclado es un residuo sólido urbano. [25]

Figura 11.

Diagrama de flujo Residuos Agroindustriales



Nota 18. El diagrama muestra la ruta de proceso para la elaboración de papel artesanal; el color rojo, indica el pretratamiento físico, el azul es la extracción de celulosa y el verde hace referencia al tratamiento final de la pulpa. Información tomada de: “*ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA GUADUA (Guadua Angustifolia K.)*” [27]; “*Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar (saccharumofficinarum l.)*” [33].

2 CARACTERIZACIÓN AFRECHO DE MALTA

Antes de comenzar la producción de papel se realizó el análisis fisicoquímico de fibras, ceniza y humedad, en donde el primero se realizó mediante un laboratorio externo, mientras que los porcentajes de ceniza y humedad se determinaron mediante las normas ASTM E1755-01 y ASTM 871.

El laboratorio Biopolab por medio de la fibra cruda, detergente neutro, detergente ácida y fibra ácida estableció el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, mediante las normas AOAC 962.09, AOAC 2002.04, AOAC 973.18 (esta norma se aplica para la fibra ácida y fibra detergente ácida), véase en el anexo 2. Por otro lado, la norma ASTM E1755-01 por medio del método gravimétrico permitió conocer el porcentaje de ceniza, mientras que la norma ASTM 871 haciendo uso de una curva de secado y método gravimétrico nos permitió determinar el contenido de humedad del bagazo de malta.

En conclusión, la finalidad de este capítulo es caracterizar parcialmente el bagazo de malta por medio de un laboratorio externo y normas técnicas.

2.1 Caracterización de fibras al afrecho de malta

Por practicidad del proyecto se llevó a cabo esta caracterización con ayuda del laboratorio llamado Biopolab, donde fue necesario enviar una muestra de 500g este con el fin de realizar cuatro diferentes análisis de fibras.

En primera instancia se encuentra el análisis de fibra cruda (FC), el cual consiste en determinar la proteína cruda, la grasa y la ceniza crudas [34] que se encuentre en la biomasa, el método utilizado para la determinación de este parámetro es AOAC 962.09 se observa en el anexo 1; posteriormente también se le realiza el parámetro de fibra detergente neutro (FDN) el cual representa los componentes de la pared celular de las plantas: hemicelulosa, celulosa, lignina, entre otros [35], este parámetro es analizado por medio del método AOAC 2002.04; el siguiente parámetro a realizar es la fibra detergente ácido (FDA) hace referencia a las porciones de pared celular del forraje que están compuestas de celulosa y lignina [36] y el ultimo parámetro es el de fibra ácida el cual determina la fracción de lignina que se encuentra en la FDA [36]; estos dos últimos análisis se realizan por medio del mismo método AOAC 973.18.

Después de que el laboratorio implementará todos los métodos necesarios, fue entregado el resultado de los cuatro análisis el cual se encuentra en el Anexo 2. En él se puede observar los valores de cada parámetro.

En el caso de la fibra cruda nos dio un resultado de 12.9 g/100g con una incertidumbre de 0.942; mientras el resultado de fibra detergente neutro tuvo un valor de 63.6% con una incertidumbre de 4.66; la fibra detergente ácido reflejo un 12.8% con una incertidumbre de 0.940 y por último la fibra acida obtuvo 7.32% con una incertidumbre de 0.550.

Los valores obtenidos fueron comparados con los datos bibliográfica que se encuentran en la figura 1 para saber que tan cercanos podrían estar de la teoría el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. En primera instancia debemos determinar los valores exacto de cada fibra lignocelulosa suministrada por el laboratorio; en hemicelulosa se obtuvo 51.1%, de lignina 7.32% y de celulosa 5.48%; ya con esto se puede observar que el valor de hemicelulosa se acerca al valor que muestra la bibliografía "*Pyrolysis of brewer's spent grain: Kinetic study and products identification*" [22] dado que tiene un porcentaje de esta fibra de 50,63% lo que quiere decir que tiene una diferencia de 0,47%; mientras tanto en el caso de lignina y celulosa comparando con las seis referencias bibliográficas el valor más cercano es el reportado en "*Evaluation of Fusarium oxysporum as an enzyme factory for the hydrolysis of brewer's spent grain with improved biodegradability for ethanol production*" [19], dado que presentan un valor de 11.9% de lignina y 11.5% de celulosa en el afrecho de malta, lo quiere decir una diferencia de 4.58% y 6.02% respectivamente.

Para que se obtuvieran estos valores pudo ocurrir que la muestra de malta seleccionada realmente no tenía altos contenidos de lignina y celulosa, dado que la composición en aspectos de fibras lignocelulosas en el afrecho de malta puede variar dependiendo del tipo de malta que se esté utilizando [18], en nuestro caso la malta utilizada fue 90% Pale Ale y 10% Caramel munich II.

2.2 Curva de secado

2.2.1 Equipos y condiciones de operación

Los equipos que se utilizaron para la elaboración de curva de secado fueron un horno BINDER FP 53 (Anexo 6) a $103^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, una balanza analítica con 2 cifras significativas y cuatro bandejas de aluminio con medidas de 20.3 cm x 9.8 cm x 6.6 cm.

2.2.2 Dosificación bagazo de malta

De una muestra de 3kg de bagazo de malta, se tomaron cuatro muestras de materia prima las cuales fueron colocadas en bandejas de aluminio y pesadas posteriormente en una balanza analítica con peso máximo de 400 g y dos cifras significativas. La Tabla 8 muestra que las cuatro muestras evaluadas hacen referencia a dos pesos diferentes cada una con su réplica respectiva, esto con el fin de estudiar el comportamiento de secado para muestras con pesos similares.

Tabla 8.

Pesos para cada muestra: Bandeja con afrecho de malta y peso de materia prima restando el peso de la bandeja

Muestras	Peso Bandeja (g)	Peso Bagazo + Bandeja (g)	Peso Bagazo (g)
<i>Muestra 1</i>	10.90	150.74	139.84
<i>Muestra 2</i>	11.12	150.23	139.11
<i>Muestra 3</i>	10.86	200.01	189.15
<i>Muestra 4</i>	11.08	200.10	189.02

Nota 19. La tabla muestra los pesos de cada muestra incluyendo el peso de la bandeja de aluminio y sin la bandeja.

2.2.3 Condiciones de operación

De acuerdo con la norma ASTM 871 “Standard Test Method for Moisture Analysis of particulate Wood Fuels” [37], las muestras fueron ingresadas al horno a una temperatura de 103°C por 16 horas; finalizado este tiempo, las muestras se pesaron y se ingresaron de nuevo al equipo por dos horas, hasta alcanzar un peso constante. Las muestras alcanzaron un peso constante 24 horas después de colocadas por primera vez en el horno (Tabla 9).

Tabla 9.

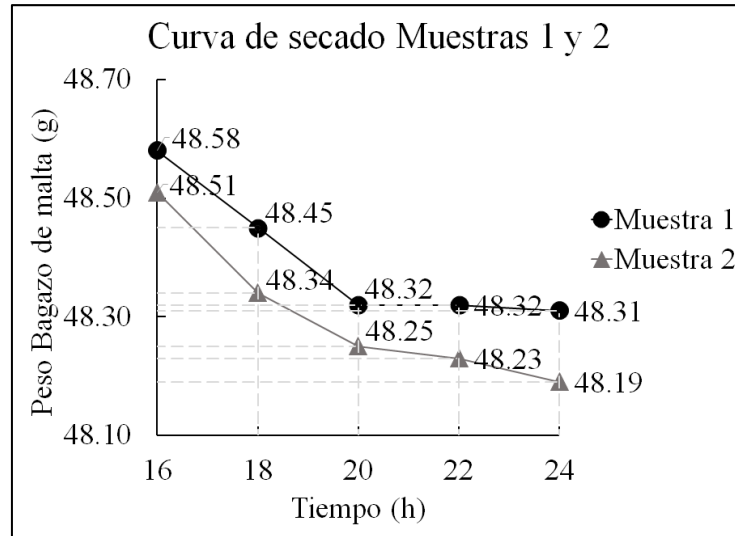
Peso de muestras después de 24 horas de secado

Tiempo (h)	Pesos (g)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
16 h	Peso bandeja	10.90	11.12	10.86	11.08
	Peso bagazo + bandeja	59.48	59.63	82.99	78.47
	Peso neto bagazo	48.58	48.51	72.13	67.39
18 h	Peso bandeja	10.90	11.12	10.86	11.08
	Peso bagazo + bandeja	59.35	59.46	82.81	78.30
	Peso neto bagazo	48.45	48.34	71.95	67.22
20 h	Peso bandeja	10.90	11.12	10.86	11.08
	Peso bagazo + bandeja	59.22	59.37	82.62	78.13
	Peso neto bagazo	48.32	48.25	71.76	67.05
22 h	Peso bandeja	10.90	11.12	10.86	11.08
	Peso bagazo + bandeja	59.22	59.35	82.52	78.06
	Peso neto bagazo	48.32	48.23	71.66	66.98
24 h	Peso bandeja	10.90	11.12	10.86	11.08
	Peso bagazo + bandeja	59.21	59.31	82.47	78.02
	Peso neto bagazo	48.31	48.19	71.61	66.94

Nota 20. La tabla muestra los pesos de cada una de las muestras después de las primeras 16 horas y los pesos cada dos horas después del primer pesaje.

Figura 12.

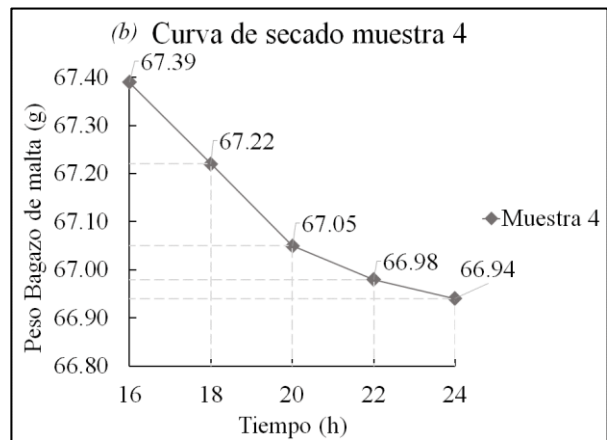
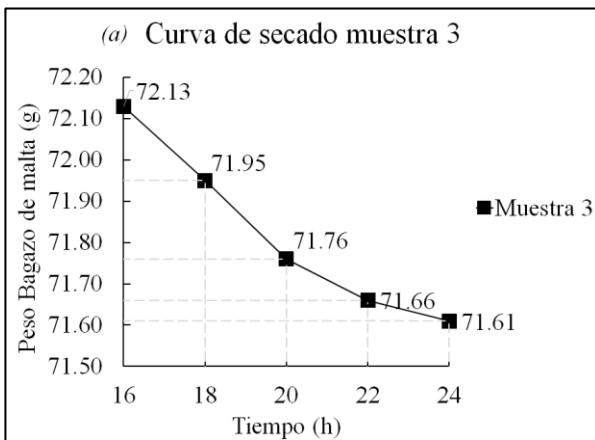
Curva de secado muestras de 150 gramos



Nota 21. La gráfica referencia a las muestras con peso de 150 gramos, se evidencia que el cambio en el peso es mínimo después de 22 horas de secado.

Figura 13.

Curvas de secado muestras de 200 g



Nota 22. Las gráficas (a) y (b) hacen referencia a las muestras con peso de 200 gramos evidenciando que el cambio en el peso es mínimo después de 22 horas de secado.

2.2.4 Porcentaje de error

La norma establece que el proceso de secado debe detenerse cuando la variación en los pesos es menor a 0.2%; para ello se hace uso de la ecuación porcentaje de error relativo. [37]

Ecuación 1.

Error relativo porcentual.

$$\text{Error relativo porcentual} = \left(\frac{V_{\text{anterior}} - V_{\text{siguiente}}}{V_{\text{anterior}}} \right) * 100$$

Tabla 10.

Error relativo porcentual para cada muestra

Tiempo (h)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
<i>22 h</i>	48.32	48.23	71.66	66.98
<i>24 h</i>	48.31	48.19	71.61	66.94
<i>Error relativo</i>	0.02%	0.08%	0.07%	0.06%

Nota 23. Se evidencia que a las 24 horas después de iniciado el secado, el peso de las muestras es inferior a 0.2% como lo establece la norma.

2.2.5 Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad extraído de la muestra se calcula mediante la ecuación 2 extraída de la norma ASTM 871. [37]

Ecuación 2.

Humedad en la muestra.

$$HM \% = \left[\frac{(W_i - W_f)}{(W_i - W_c)} \right] * 100$$

Tabla 11.*Porcentaje de humedad retirada en las muestras*

Muestras	Wc	Wi	Wf	HM%
<i>Muestra 1</i>	10.90	150.74	48.31	73.25%
<i>Muestra 2</i>	11.12	150.23	48.19	73.35%
<i>Muestra 3</i>	10.86	200.01	71.61	67.88%
<i>Muestra 4</i>	11.08	200.10	66.94	70.45%
			<i>Promedio</i>	71.23%

Nota 24. La tabla muestra la humedad retirada después de 22 horas para las demás muestras.

Por medio de los datos de humedad (HM%) registrados en la Tabla 11 y con un error aleatorio de 0.05 ($\alpha=5\%$), se define el intervalo de confianza con el objetivo de determinar aquellos porcentajes de humedad con un error aleatorio inferior al 5%. Para este caso, el intervalo que se determinó fue de $71.23\% \pm 2.56$, es decir que la humedad del afrecho de malta tiene un intervalo de humedad desde 68.68% hasta 73.79%, siendo entonces el porcentaje de humedad de la muestra 3, el único dato con un α inferior a 0.05.

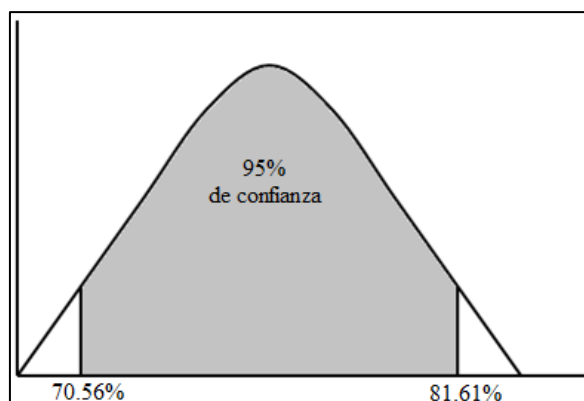
Tabla 12.*Ubicación de porcentajes de humedad, según el intervalo de confianza*

Referencia	Datos	Dato Estadístico	Valor
[38]	70.00	<i>n</i>	5.00
Autoría Propia	71.23	<i>Promedio</i>	76.09
[10]	74.20	<i>Desviación Estandar</i>	6.30
[18]	80.00	<i>Alfa (α)</i>	0.05
[38]	85.00	<i>Intervalo</i>	5.53
		<i>Desde</i>	70.56
		<i>Hasta</i>	81.61

Nota 25. La tabla muestra en color verde los porcentajes de humedad dentro del intervalo con un error aleatorio de 5%. Datos extraídos de: “Afrecho de cervecería como suplemento alimentario” [10], “Propuesta de reutilización de los residuos del proceso de producción de cerveza artesanal para incremento de la productividad de la empresa Holy Krank” [18], “Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el código alimentario argentino (CAA)” [38].

Figura 14.

Gráfica intervalo de confianza humedad



Nota 26. La figura muestra las zonas en donde los datos pueden ubicarse según el error aleatorio.

El valor promedio obtenido de humedad retirada en este estudio fue de $71.23\% \pm 2.56$, y se determinó que este se encuentra dentro del intervalo de confianza realizado con los datos recopilados de bibliografía: Montenegro y Macabres en su documento “*Afrecho de cervecería como suplemento alimentario*” [10] presentan un valor de 74.20% de humedad, por otro lado Rosales María Paula en su propuesta metodológica “*Propuesta de reutilización de los residuos del proceso de producción de cerveza artesanal para incremento de la productividad de la empresa Holy Krank*” [18] registra un valor entre 75% a 80%, por último la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura en su informe “*Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el código alimentario argentino (CAA)*” [38] reporta un valor entre 70% – 85% de humedad, gracias a esto podemos concluir entonces que el intervalo desde 70.56% hasta 81.61% mostrado en la Tabla 12 incluye el porcentaje de humedad obtenido en este proyecto indicando que se encuentra dentro de la zona de confianza.

2.3 Determinación de ceniza

2.3.1 Equipos y condiciones de operación

Los equipos que se utilizaron para la producción de ceniza son una mufla a $575\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, un horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, una balanza analítica con 4 cifras significativas y desecador con perlas de silicio.

2.3.2 Pesaje

Según la norma ASTM E1755 – 01 “Standard Test Method for Ash in Biomass” se debe pesar el crisol antes de ingresar en la mufla. Posteriormente se lleva a la mufla a una temperatura de $575\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas, se deja enfriar a temperatura ambiente en el desecador con perlas de silicio y se realiza un primer pesado, una vez finalizada esta parte se conduce el crisol a la mufla durante 1 hora hasta que la variación del peso sea inferior a 0.3 mg o 0.0003 g. No obstante, por practicidad del proyecto se reducen los tiempos de residencia en la mufla, por tal motivo se eliminan las 3 horas y únicamente se deja el crisol cada 30 minutos y se registran los pesos hasta obtener un peso constante. [39]

Adicionalmente, el bagazo de malta se ingresa al horno a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ esto como acondicionamiento de la biomasa antes de ingresar a la mufla. Aunque la norma no requiere que se aplique un pesado constante en la biomasa, se realizaron los mismos pasos para el crisol, cambiando el equipo y la temperatura. Para el cálculo de la variación de masa se hace uso de la Ecuación 3.

Ecuación 3.

Error Relativo

$$\text{Error relativo} = \left(\frac{V_{anterior} - V_{siguiente}}{V_{anterior}} \right)$$

Tabla 13.*Peso de crisol y bagazo de malta cada 30 minutos*

Tiempo (min)	Peso (g)	
	Crisol	Bagazo de malta
<i>30 min</i>	21.2899	3.4065
<i>30 min</i>	21.2896	3.4032
<i>Error Relativo</i>	1.4091E-05	9.6874E-04

Nota 27. La tabla muestra el error relativo de los pesos del crisol y el bagazo de malta cada 30 minutos durante 1 hora, evidenciando el cumplimiento de una variación en masa menor a 0.0003 g (3 E-4 g).

2.3.3 Producción de ceniza

Se tomó un 1 g aproximadamente de bagazo de malta calentado posteriormente a 105 °C el cual fue colocado en el crisol; el peso del crisol es el último peso anotado. La norma ASTM E 1755-01 establece que se debe ingresar el crisol con el bagazo a la mufla a una temperatura inferior a los 575 °C durante 30 minutos para evitar la formación de flama, una vez pasado el tiempo requerido se aumenta la temperatura hasta llegar a los 575 °C durante 3 horas. Finalizadas las tres horas, se sacó el crisol con la ceniza de la mufla, se llevó al desecador a temperatura ambiente y posteriormente se pesó. Luego de hacer el pesado, se pasó el crisol con la biomasa a la mufla durante una hora más, este proceso debió repetirse hasta que la variación de masa fue inferior a 0.3 mg o 0.0003 g. [39]

Tabla 14.*Peso crisol y bagazo de malta antes de ingresar a la mufla, y peso crisol con ceniza a la salida de la mufla.*

<i>(a)</i>			<i>(b)</i>		
Peso (g)			Peso (g)		
Crisol	Bagazo de malta	Total	Tiempo (h)	Crisol + Ceniza de Bagazo de malta	Ceniza
21.2896	1.0005	22.2901	<i>3 h</i>	21.3227	0.0331
			<i>1 h</i>	21.3213	0.0317

Nota 28. Las tablas que se muestran a continuación hacen referencia a los pesos antes y después de la mufla. (a) la primera tabla equivale a la suma del crisol con el bagazo de malta según la norma; (b) la segunda tabla es la suma del crisol más la ceniza de bagazo después de 3 horas en la mufla y una hora después del primer peso.

2.3.4 Porcentaje de masa de ceniza

El porcentaje de ceniza para biomasa seca a 105°C se calcula con la Ecuación 4 (ítem 8.1 de la norma).

Ecuación 4.

Porcentaje de masa de ceniza.

$$\%ash = \left[\frac{(m_{ash} - m_{cont})}{(m_{od} - m_{cont})} \right] * 100$$

Tabla 15.

Resultado porcentaje de masa de ceniza en el bagazo de malta seca a 105°C.

Abreviatura	Valor	Unidad
m_{ash}	21.3213	g
m_{cont}	21.2896	g
m_{od}	22.2901	g
$\%ash$	3.17%	-

Nota 29. La tabla muestra un contenido de masa de 3.17% presente en el bagazo de malta seca a 105°C.

Tabla 16.

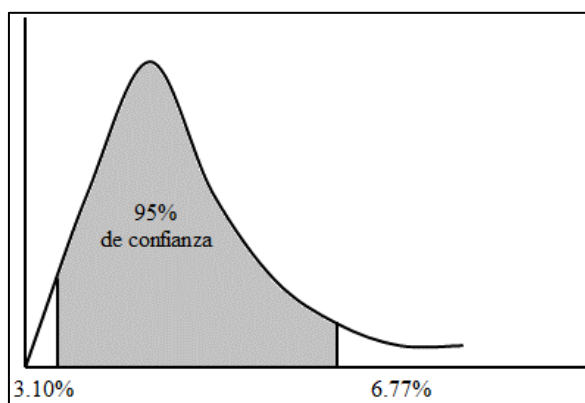
Ubicación de porcentajes de ceniza, según el intervalo de confianza

Referencia	Datos	Dato Estadístico	Valor
[38]	2.50	<i>n</i>	6.00
Autoria Propia	3.17	<i>Promedio</i>	3.68
[18]	3.82	<i>Desviación Estandar</i>	0.73
[10]	3.90	<i>Alfa (α)</i>	0.05
[20]	4.18	<i>Intervalo</i>	0.58
[38]	4.50	<i>Desde</i>	3.10
		<i>Hasta</i>	6.77

Nota 30. La tabla muestra en color verde los porcentajes de humedad dentro del intervalo con un error aleatorio de 5%. Datos extraídos de: “Afrecho de cervecería como suplemento alimentario” [10], “Propuesta de reutilización de los residuos del proceso de producción de cerveza artesanal para incremento de la productividad de la empresa Holy Krank” [18], “Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer’s spent grains.” [20] “Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el código alimentario argentino (CAA)” [38].

Figura 15.

Gráfica intervalo de confianza ceniza



Nota 31. La figura muestra las zonas en donde los datos pueden ubicarse según el error aleatorio.

El valor promedio obtenido de ceniza en el afrecho de malta en este estudio fue de 3.17%, y se determinó que este se encuentra dentro del intervalo de confianza realizado con los datos recopilados de bibliografía: Montenegro y Macabres en su documento “Afrecho de cervecería

como suplemento alimentario” [10] presentan un valor de 3.90% de humedad, por otro lado Rosales María Paula en su propuesta metodológica “Propuesta de reutilización de los residuos del proceso de producción de cerveza artesanal para incremento de la productividad de la empresa Holy Krank “[18] registra un valor entre 3.82%, Meneses en su artículo “Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer’s spent grains.”, [20] mostró un valor de ceniza 4.18%, y por último la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura en su informe “Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el código alimentario argentino (CAA)” [38] reporta un valor entre 2.5% - 4.5% de ceniza, gracias a esto podemos concluir entonces que el intervalo desde 3.10 hasta 6.77 mostrado en la Tabla 16 incluye el porcentaje de ceniza obtenido en este proyecto indicando que se encuentra dentro de la zona de confianza.

2.4 Otros componentes

Tabla 17.

Posibles usos del bagazo de malta

Campo de uso del BSG	Usos
<i>Nutrición humana</i>	Hojuelas, productos integrales (pan, galletas, extruidos).
<i>Nutrición animal</i>	Gatos, aves de corral, cerdos, peces, roedores.
<i>Producción de energía</i>	Combustión directa o fermentación para producir biogás.
<i>Procesos biotecnológicos</i>	Sustrato para cultivo de m/o para la producción de enzimas.
<i>Constituyente en ladrillos</i>	Se puede producir ladrillos de alta porosidad.
<i>Manufactura de papel</i>	Toallas de papel y papelería reciclable
<i>Aplicación agronómica</i>	Mejorar la productividad de los suelos frágiles.

Nota 32. La tabla muestra los potenciales usos que se le pueden dar al afrecho de malta. Extraída de: “Issues with utilisation of brewers’ spent grain.” [40]

El afrecho de malta proviene de las cervecerías, es decir que es un residuo libre de tóxicos debido al control que se tiene puesto que la cerveza es un producto alimenticio, por tal motivo este residuo agroindustrial puede ser usado para la elaboración de alimentos de consumo animal o humano, ya que, contiene un alto contenido de fibra dietética (60% - 70%) [41] y de proteína (15%

- 26.2%). [18] Como se muestra en la Tabla 17, la ceniza y la humedad también determinan un posible uso para la producción de energía o de ladrillos debido a que el porcentaje de ceniza determina el poder calorífico, y la composición de este producto al contener minerales sirve como aditivo para la elaboración de materiales de construcción como el cemento o como se mencionó previamente, los ladrillos.

3 EXTRACCIÓN DE CELULOSA

En el primer capítulo se estableció que la extracción de pulpa de celulosa se puede realizar mediante el proceso Kraft, TMP o la técnica de pulpeo, sin embargo, los primeros dos métodos se destinan para la elaboración de papeles finos, de imprenta, cartones, cartulina, entre otros a partir de trozos de madera, tronos y astillas con un contenido celulósico superior al 40% del porcentaje total de fibras, permitiendo que las condiciones de operación como la temperatura o tiempos de cocción y la concentración de reactivos sean altas. El bagazo de malta para este proyecto tiene un porcentaje de celulosa de 5.48% del global de fibras, por lo tanto, la técnica de pulpeo es el proceso que mejor se adecua para extraer este polímero, debido a que las condiciones de operación y concentraciones de reactivos son bajas, (Figura 11).

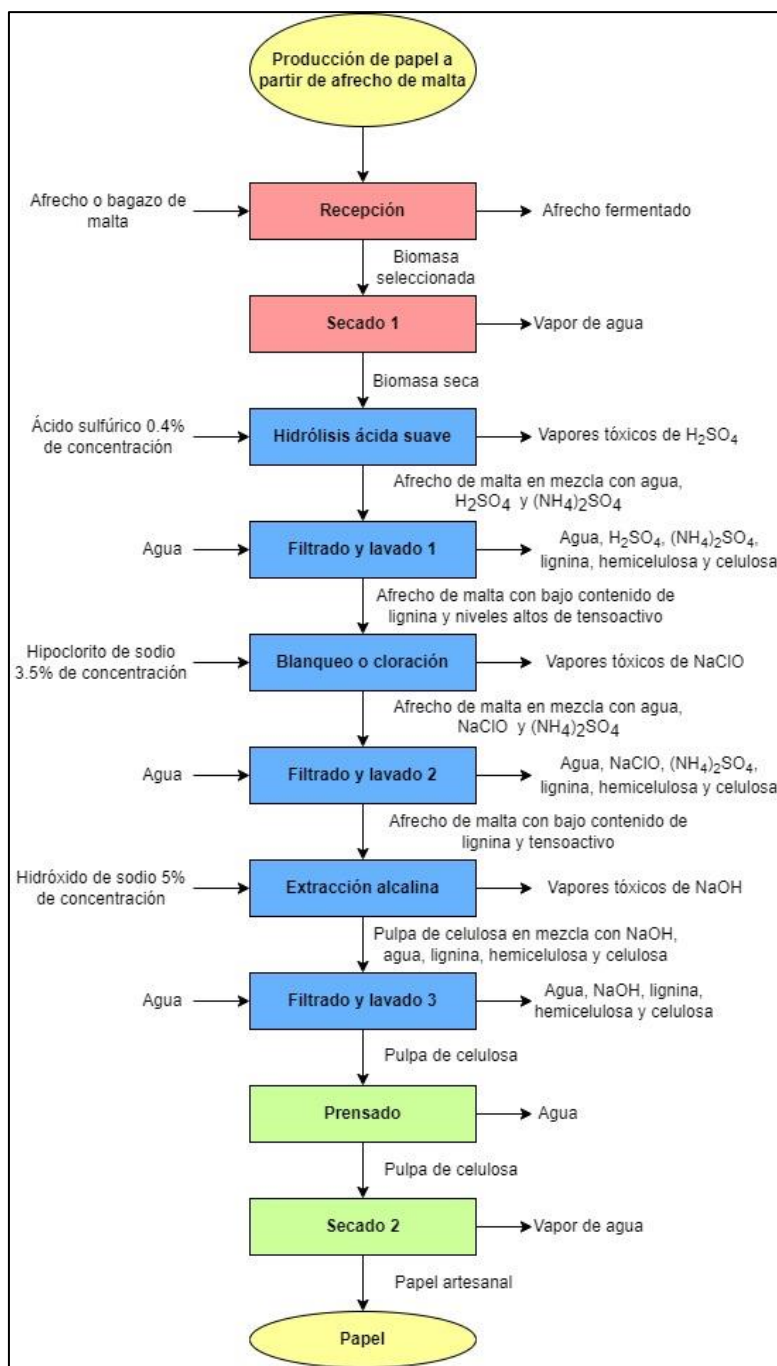
Adicionalmente, antes de la técnica de pulpeo se realizó un pretratamiento físico, el cual se realizó mediante de la selección del afrecho de la malta y un secado, siendo este último el de mayor importancia debido a que en este punto se evitó la rápida degradación de la biomasa. Una vez finalizada la extracción de celulosa, se realizó un tratamiento final el cual agrupó un proceso de prensado el cual buscó reducir la humedad de agua presente en la celulosa, así como dar un gramaje al papel, y por último un secado el cual retiró agua para secar la celulosa y obtener un papel artesanal.

El diagrama de flujo que se muestra a continuación representa al proceso general que se realizó en el laboratorio para la elaboración de papel artesanal a partir de afrecho de malta, sin embargo, es importante aclarar que la técnica de pulpeo que se manejó en este trabajo solamente trabaja la hidrólisis ácida suave, un blanqueo con 3.5% de hipoclorito de sodio y la extracción alcalina, es decir que se elimina el último blanqueo mostrado en la Figura 9, ya que se quiere mantener el color de la malta en el papel.

En conclusión, el tema central de este capítulo es explicar el proceso que se realizó en el laboratorio para obtener pulpa de celulosa mostrando tres etapas de proceso entre las cuales se explicará el diseño de experimentos para optimizar el rendimiento de obtención de celulosa.

Figura 16.

Diagrama de flujo producción de papel a partir de afrecho de malta



Nota 33. El diagrama muestra la ruta de proceso para la elaboración de papel artesanal a partir de afrecho de malta; el color rojo indica el pretratamiento físico, el azul hace referencia a la extracción de celulosa y el verde hace es el tratamiento final de la pulpa. Este diagrama se diseñó en base al método de pulpeo mostrado en la Figura 11.

3.1 Metodología

Para extraer celulosa del afrecho de malta, se utilizó la técnica de pulpeo expuesta por Cazaurang en 1990. Este método consta de cuatro pasos: hidrólisis ácida suave (diluida), extracción alcalina y blanqueos con hipoclorito de sodio antes y después de la hidrólisis básica [32]. A continuación, se muestran los equipos, materiales y reactivos que se utilizaron durante el desarrollo experimental de extracción de celulosa.

Tabla 18.

Materiales de laboratorio utilizados para todo el proceso de obtención de pulpa de celulosa









Imagen	Nombre del material	Descripción
	Balón fondo plano con boquilla esmerilada	Contenedor de líquidos capaces de soportar altas temperaturas, boquilla esmerilada para permitir la conexión con otro material de laboratorio. [42]
	Balón fondo plano de dos bocas esmeriladas	Contenedor de líquidos capaces de soportar altas temperaturas, boquilla esmerilada para permitir la conexión con otro material de laboratorio. Segunda boquilla para medición de temperatura. [42]
	Condensador lineal	Permite transformar los gases producidos en un sistema a fase líquida. [43]


Imagen	Nombre del material	Descripción
	Filtro en tela para café	Equipo que permite separar una fase líquida de una sólida.
	Manguera de goma de latex para conexión	Transporte de sustancias líquidas, o como sistema de conexión en un sistema de refrigeración. [44]
	Probeta graduada	Permite contener líquidos, además permite la medición de volumen. [44]
	Soporte universal	Equipo para realizar montajes, compuesto de una varilla y una base de hierro fundido. [44]
	Vaso precipitado	Contenedor para fluidos o sustancias químicas. [44]

Nota 34. La tabla muestra los materiales de laboratorio utilizados para extraer la pulpa de celulosa.

Tabla 19.

Equipos de laboratorio utilizados para todo el proceso de obtención de pulpa de celulosa

Imagen	Nombre del equipo	Descripción
	Balanza de precisión	Arroja pesos precisos con dos cifras significativas. [45]
	Horno	Permite calentar uniformemente los materiales. [46]
	Plancha de calentamiento con agitación	Permite calentar un fluido de manera homogénea debido a su agitación constante. [42]
	Plancha de calentamiento seis puestos	Genera un calentamiento por medio de contacto directo, además permite trabajar cada puesto a una o varias temperaturas.
	Potenciómetro o pH metro	Realiza lecturas de mV o pH, además detecta la temperatura en la cual se encuentra el fluido o mezcla. [47]

Imagen	Nombre del equipo	Descripción
	Termocupla	Permite controlar la temperatura de un fluido, con tolerancia hasta los 300°C. [45]

Nota 35. La tabla muestra los equipos de laboratorio utilizados para extraer la pulpa de celulosa.

Tabla 20.

Reactivos utilizados durante todo el proceso de obtención de pulpa de celulosa

Fórmula Química	Nombre del Reactivo	Descripción
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico al 96%	Es utilizado mundialmente debido a sus variadas aplicaciones industriales y a que participa en la síntesis de numerosos ingredientes químicos. [49]
$NaOH$	Hidróxido de sodio en perlas	Es una sustancia altamente versátil que se utiliza en una variedad de procesos de fabricación. [50]
$NaClO$	Hipoclorito de sodio al 15%	Se usa principalmente como agente blanqueador o desinfectante. [51]

Nota 36. La tabla muestra los reactivos utilizados para extraer la pulpa de celulosa.

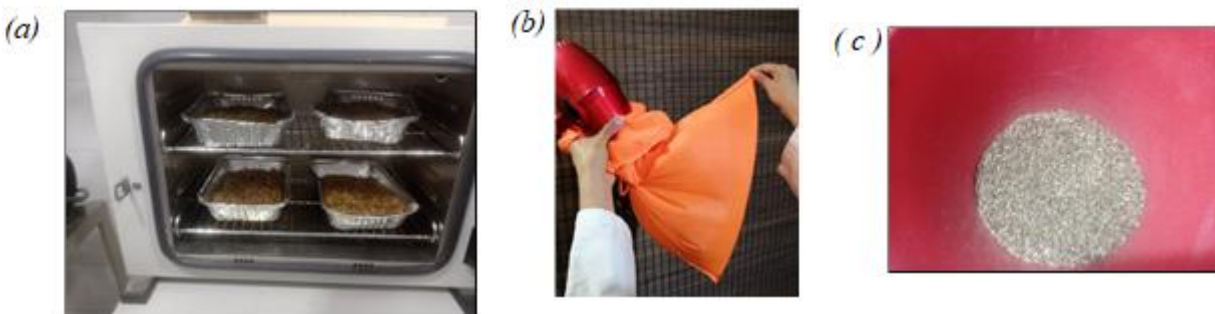
3.1.1 *Pretratamiento físico*

3.1.1.a Selección afrecho de malta. Conociendo que el afrecho o bagazo de malta es un sustrato con un contenido proteico medio entre el 15% - 26.2% [18] se convierte en una fuente de alimento para la proliferación de microorganismos, produciendo aromas parecidos o iguales a la fermentación. [38] Por tal motivo, únicamente se seleccionó la malta que no presentara olores de descomposición u hongos en su superficie. Para ello se tomaron muestras de 10 gr y con una espátula se revisó el afrecho para identificar la presencia de cualquier microorganismo visible. Esto se realizó hasta obtener una muestra aproximada de 5 kg para posteriormente llevar al proceso de secado.

3.1.1.b Proceso de secado. Se utilizaron tres pasos para secar los 5 Kg de afrecho de malta seleccionados: El primer paso fue usar el horno a una temperatura de 110 °C durante una hora para retirar el 60% de la humedad; posteriormente se colocó la malta en una bolsa conectada a un secador en la entrada para reproducir el efecto ciclón dentro de ella y como la bolsa no está aislada al ambiente permite liberar el vapor al exterior, los tiempos que se trabajaron en este segundo paso fueron de 15 minutos alternando temperaturas calientes y frías para impedir que la bolsa retuviera humedad en sus paredes impidiendo el escape de vapor. El paso final de secado fue colocando la malta en un recipiente abierto al aire libre durante 24 horas, esto para que el aire retire la humedad libre restante presente en la biomasa. Al finalizar este proceso se obtuvo 1.5 Kg de afrecho de malta seco.

Figura 17.

Proceso de secado afrecho de malta



Nota 37. La imagen (a) representa el horno a 110°C durante una hora, la ilustración (b) es la simulación efecto ciclón para reducir la humedad en la malta, por último, la fotografía (c) es el bagazo de malta expuesto al aire.

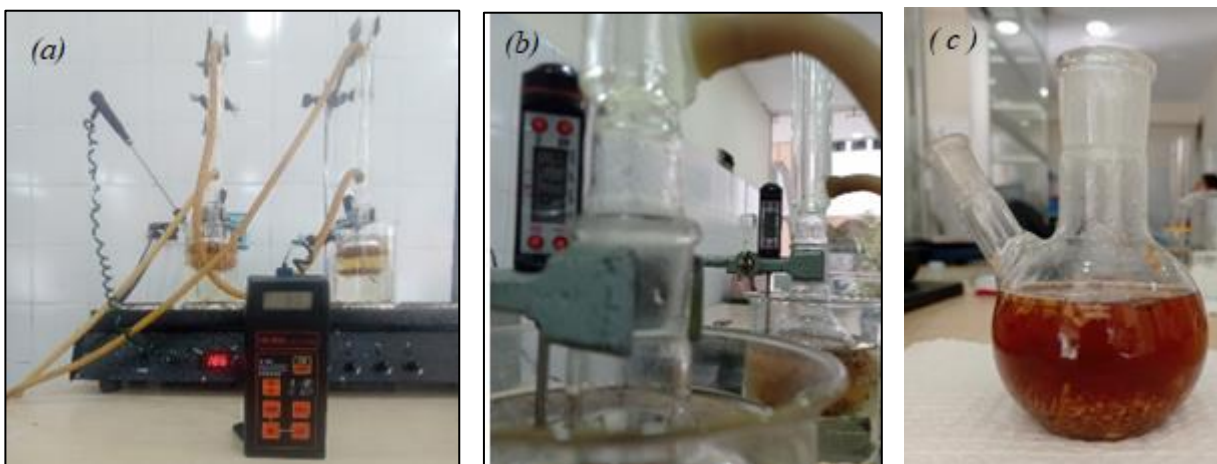
3.1.2 *Tratamientos químicos*

3.1.2.a Hidrólisis ácida suave.

- *Montaje:* Se utilizó una plancha de calentamiento, vaso precipitado de 1000 ml, balón de fondo plano esmerilado con doble boquilla, balón de fondo plano con boquilla esmerilada, condensador sencillo, termocupla, termómetro y filtro de café de tela.

Figura 18.

Montaje hidrólisis ácida suave



Nota 38. La imagen (a) muestra la temperatura en la cual sale la primera burbuja en la mezcla el cual fue de 80°C en este estudio, la fotografía (b) muestra la estabilidad térmica del aceite que fue de 91.7°C y por último la imagen (c) muestra el licor obtenido después de la hidrólisis.

- *Reactivos:* Aceite mineral y ácido sulfúrico diluido a 0.4% en 400 ml de agua desionizada.
- *Condiciones de operación:* La plancha de calentamiento se encendió a una temperatura de 186 °C y se colocaron dos vasos precipitados de 1000 ml con 600 ml de aceite mineral, después de 30 minutos el aceite alcanzó una temperatura de 110°C y se colocó entonces dentro del beaker dos balones de fondo plano con una mezcla de 20g de afrecho de malta cada uno y 400 ml de disolución de ácido sulfúrico al 0.4% de concentración, conectados a un condensador y uno de los balones conectado a una termocupla durante 40 minutos. Finalizado el tiempo, los balones se

desconectaron de los condensadores y se dejó en reposo durante 20 minutos (los balones debieron taparse con una toalla de papel para evitar la salida de vapores tóxicos al ambiente) para luego depositar la mezcla a un filtro de café de tela. Al afrecho de malta separado de la mezcla se le realizaron 10 lavados con agua a una temperatura de 18.7°C, para aumentar el pH de 3 a 7, el agua usada en cada filtrado se depositó en un colector de ácidos.

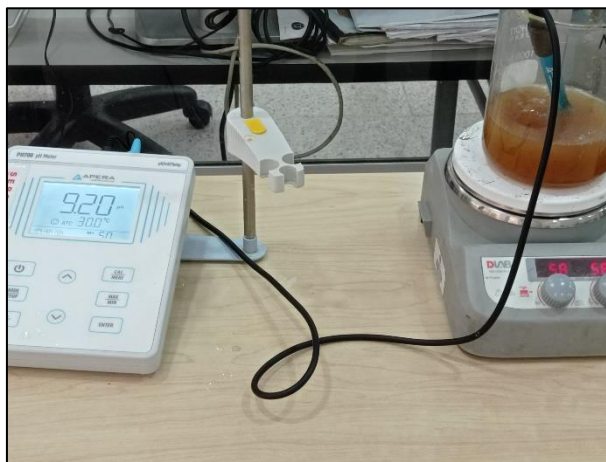
El bagazo de malta finalizado el proceso aún conserva parte de su estructura inicial, es decir que se puede apreciar la cáscara de la malta y algunos granos con almidón como se aprecia en la imagen (c) de la Figura 18. La presencia de estas estructuras se consideró como un indicativo visual positivo para continuar con las siguientes etapas, ya que se identificó que hay presencia de lignina la biomasa indicando que la celulosa no se ha desintegrado.

3.1.2.b Cloración o blanqueo.

- *Montaje:* Se utilizó una plancha de calentamiento con agitación, vaso precipitado de 1000 ml, potenciómetro, magneto, termocupla y filtro de café de tela.

Figura 19.

Montaje proceso de blanqueo



Nota 39. Por medio de un potenciómetro y una plancha de agitación magnética se realizó el control de pH y temperatura de la mezcla

- *Reactivos:* Hipoclorito de sodio a 3.5% de concentración en 500 ml de agua desionizada.

- *Condiciones de operación:* La plancha de calentamiento se encendió a una temperatura de 50 °C y se coloca el vaso precipitado de 1000 ml con 100 ml de agua, la biomasa resultante de la hidrólisis ácida y un magneto para mantener una agitación constante, la cabeza del electrodo indicador debe estar sumergida por completo dentro de la mezcla para obtener correctos resultados. Una vez la mezcla alcanzó una temperatura de 30°C, se adiciona 1 ml de disolución de hipoclorito de sodio hasta que el potenciómetro APERA (Anexo 5) indicó que se alcanzó un pH constante de 9.20.

Es importante mencionar, que la muestra debe alcanzar el pH establecido, de lo contrario, la reacción entre el sulfato de amonio (resultado de la reacción entre la proteína y el ácido sulfúrico) y el hidróxido de sodio (Ecuación 6) [52] produciría un aditivo el cual generaría espuma en la siguiente etapa del proceso ocasionando que la presión del sistema aumente hasta el punto en que el condensador y el balón plano se separen interrumpiendo con el proceso. Finalizado el proceso de blanqueo, la mezcla se introdujo en un filtro de tela para realizar 10 lavados con agua a una temperatura de 18.7°C para reducir el pH desde 9.20 hasta 7, el agua remanente de cada filtrado se deposita en un colector de sales.

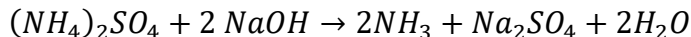
Ecuación 5.

Formación de sulfato de amonio mediante la reacción de la proteína con el ácido sulfúrico



Ecuación 6.

Formación del aditivo sulfato de sodio

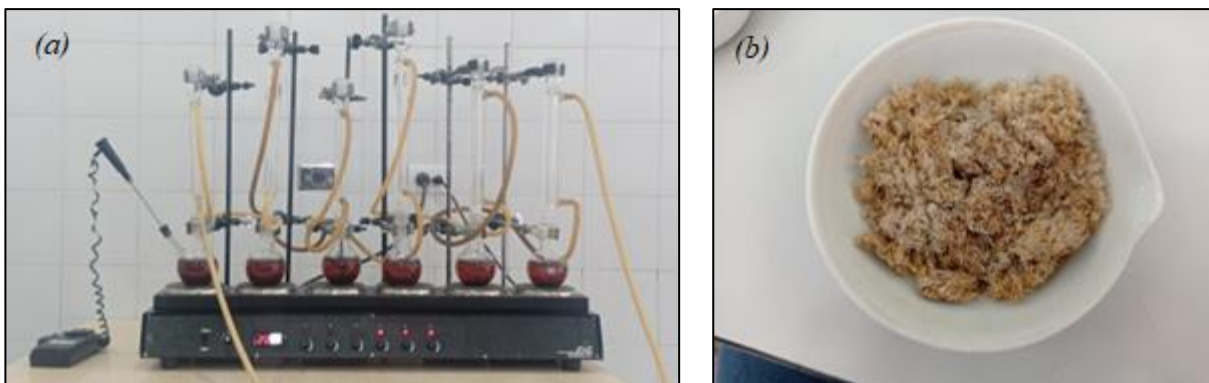


3.1.2.c Diseño de experimentos: Extracción alcalina.

- *Montaje:* Se utilizó una plancha de calentamiento, un balón de fondo plano esmerilado con doble boquilla, cinco balones de fondo plano con boca esmerilada, seis condensadores sencillos, termocupla y filtro de tela.

Figura 20.

Montaje extracción alcalina



Nota 40. La imagen (a) muestra el montaje de la extracción alcalina, en este caso se usaron los seis puestos de la plancha ya que cada una era un ensayo con su réplica; la imagen (b) es la pulpa de celulosa seca.

- *Reactivos:* Disolución de hidróxido de sodio al 5%, 10% y 15% de concentración.
- *Diseño de experimentos:* En proyectos previamente revisados y tomados como referencia para la elaboración de este estudio, se realizaron diferentes pruebas con la finalidad de determinar la ruta óptima para la producción de papel a partir de residuos agroindustriales. Las variables que se manipulan son la temperatura, la concentración de hidróxido de sodio, el tamaño de partícula, la agitación y los tiempos de residencia que pasa la mezcla en cocción.

3.1.2.c.i Variables manipulables.

- *Temperatura:* Esta variable es determinante a la hora de realizar la extracción de celulosa, ya que al no tener un control adecuado y dependiendo del contenido de fibras lignocelulósicas de la biomasa generaría que el aumento de esta condición de operación degrade parcialmente o por completo la celulosa. [53].
- *Concentración de hidróxido de sodio:* La concentración de reactivo para la extracción de celulosa, según diversa bibliografía es el de mayor impacto con respecto a las demás variables, debido a que este componente genera que el rendimiento de celulosa disminuya a medida que aumenta, generalmente se varía con valores de 5%, 10% y 15%.

- *Tamaño de partícula:* Como se explicó en los métodos Kraft, TMP y técnica de pulpeo el tamaño de biomasa afecta el rendimiento de celulosa.
- *Agitación:* Esta variable permite que el contacto del reactivo con la biomasa sea amplio y por tanto permita el aumento del rendimiento de celulosa.
- *Tiempo de cocción:* Los tiempos para llevar a cabo la extracción alcalina también afecta el rendimiento, ya que, a mayor tiempo la temperatura y el reactivo en contacto con la biomasa será mayor y los rendimientos serán más bajos.

3.1.2.c.ii Variables de respuesta.

- *Peso seco de celulosa:* Al finalizar la cocción (extracción alcalina) se toma la biomasa residual y se pasa a un horno a 105 °C para eliminar por completo la humedad, del peso seco obtenido se aproxima que la celulosa equivale al 5.48% de porcentaje con respecto al total de biomasa residual.
- *Rendimiento de celulosa:* Al realizar un estudio de fibras o caracterización fisicoquímica de la biomasa al final de la extracción alcalina se obtiene el dato real de celulosa y por tanto el rendimiento que se obtuvo de cada variación.

Ahora bien, las variables manipulables que se seleccionaron para el sistema factorial 3^2 fueron las concentraciones de hidróxido de sodio y el tiempo de cocción, debido a que las instalaciones en las cuales se realizó este trabajo no cuentan con un reactor que permita el óptimo control de temperatura y agitación, por otro lado, el tamaño de partícula no podía ser variado ya que el bagazo de malta es de 2 mm siendo este un buen tamaño para la cocción. La variable de respuesta que se seleccionó es el peso seco de celulosa, ya que no se realizó una caracterización fisicoquímica de la biomasa al final de cada experimento del sistema factorial y por tanto el valor de celulosa será un aproximado y no el real.

El diseño de experimentos contó con tres niveles, dos factores y una réplica por cada experimento dando como resultado un total de 18 datos finales representativos; la primera variable consistió en cambiar la concentración de hidróxido de sodio en una disolución de 400 ml de agua con valores de 5%, 10% y 15% y como segunda variable el tiempo de residencia con valores entre 30, 40 y 50 minutos en la plancha de calentamiento en el cual se espera eliminar los remanentes

de lignina y obtener celulosa, así, la variable de respuesta de cada una de las formulaciones corresponde al peso seco de celulosa, finalizados los procesos de filtrado, lavado y ajuste de pH.

Tabla 21.

Resultados diseño de experimentos

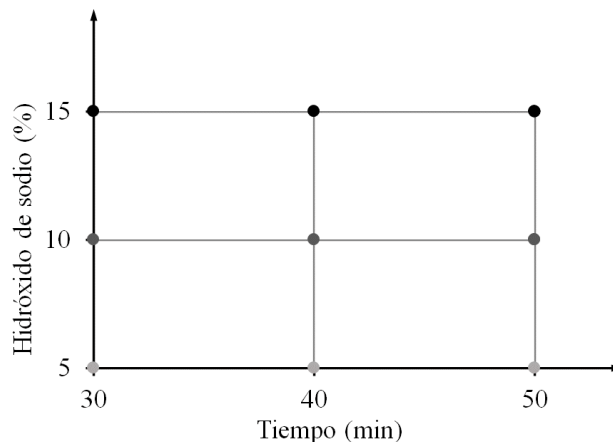
		Concentración de hidróxido de sodio en 400 ml de agua a 94°C		
		<i>5% p/v</i>	<i>10% p/v</i>	<i>15% p/v</i>
Tiempo de residencia en plancha de calentamiento	<i>30 min</i>	1.18	1.13	0.91
		1.19	1.15	0.87
	<i>40 min</i>	1.48	1.37	1.01
		1.45	1.29	1.12
	<i>50 min</i>	1.25	0.69	0.38
		1.31	0.55	0.32

Nota 41. Resultados obtenidos de laboratorio variando los factores A (tiempo de residencia en plancha de calentamiento) y factor B (Concentración de hidróxido de sodio en 400 ml de agua a 94°C).

Ahora bien, conociendo que los valores de respuesta del diseño factorial dependen de la interacción entre el tiempo de residencia de la mezcla en la plancha de calentamiento y la concentración de hidróxido de sodio se obtuvo un diagrama x-y el cual muestra el comportamiento entre las variables y sus réplicas, dicho gráfico corresponde a la Figura 21 mostrada a continuación.

Figura 21.

Diseño factorial 3²



Nota 42. El diagrama esquematiza la interacción de los factores A y B sobre el peso seco de celulosa (variable respuesta).

Mediante el ANOVA realizado por STATGRAPHICS se tomó un nivel de significancia de 5% o $\alpha=5\%$, para obtener un nivel de aceptación alto, es decir, que existen diferencias estadísticas significativas al momento de obtener celulosa variando los factores A y B. Para considerar que uno o más factores son estadísticamente significativos, su valor-P debe ser menor a 0.05, ya que esto indica un nivel de confianza del 95%.

Tabla 22.

Análisis de varianza global para determinar el mejor rendimiento de obtención de celulosa

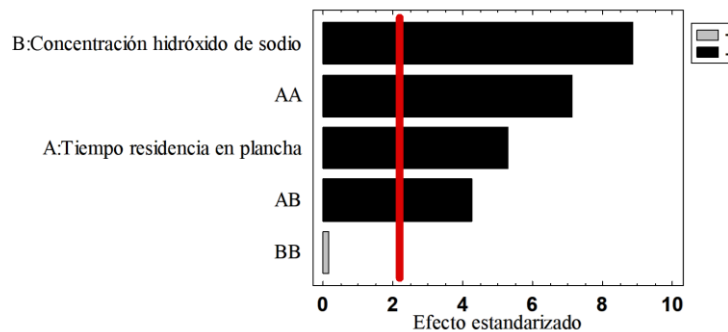
Análisis de Varianza para Peso seco de celulosa					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>A: Tiempo residencia en plancha</i>	0.310408	1	0.310408	27.76	0.0003
<i>B: Concentración hidróxido de sodio</i>	0.880208	1	0.880208	78.71	0.0000
<i>AA</i>	0.565003	1	0.565003	50.52	0.0000
<i>AB</i>	0.201612	1	0.201612	18.03	0.0014
<i>BB</i>	0.000336111	1	0.000336111	0.03	0.8655
<i>Bloques</i>	0.00125	1	0.00125	0.11	0.7444
<i>Error total</i>	0.12301	11	0.0111827		
<i>Total (corr.)</i>	2.08183	17			

Nota 43. Datos recuperados del programa STATGRAPHICS Centurion 19. Tomado de: Statgraphics Thecnologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "marzo 17, ", 2022. [54].

La Tabla 22 muestra que el programa STATGRAPHICS arroja un ANOVA con cuatro factores con valor-P inferior a 0.05, es decir que el tiempo de residencia en plancha (A), la concentración de hidróxido de sodio (B), la interacción AA y AB son los únicos que se pueden tomar en cuenta para elaborar un modelo apropiado. Para comprender mejor este enfoque, el programa en el cual se realizó el análisis de varianza, a continuación, la Figura 22 muestra el diagrama de Pareto estandarizado del ANOVA.

Figura 22.

Diagrama de Pareto con factores estadísticamente significativos y no estadísticamente significativos



Nota 44. Este diagrama establece que los factores menores y mayores a 0.05, las barras negras indican los factores estadísticamente significativos y el gris hace referencia a el factor no significativo. Tomado de: Statgraphics Technologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "marzo 17, ", 2022. [54].

El diagrama Pareto o diagrama ABC es una representación gráfica que permite identificar los aspectos esenciales de un grupo de datos problema [55]; la línea roja mostrada en la Figura 22 indica el límite en el cual un factor se considera o no significativo, aquellas barras que superen dicha línea se consideran significativas, debido a que su longitud hace referencia a la división de su efecto estimado y su error estandarizado (efecto estandarizado), estos datos pueden consultarse en el Anexo 3.

Ahora bien, para obtener un diseño de experimentos óptimo se decidió eliminar aquellos datos no significativos y así determinar una ruta de proceso con mayor peso seco de celulosa. La Tabla 23 y la Figura 23 a continuación hacen referencia al nuevo ANOVA, véase en el Anexo 4.

Tabla 23.

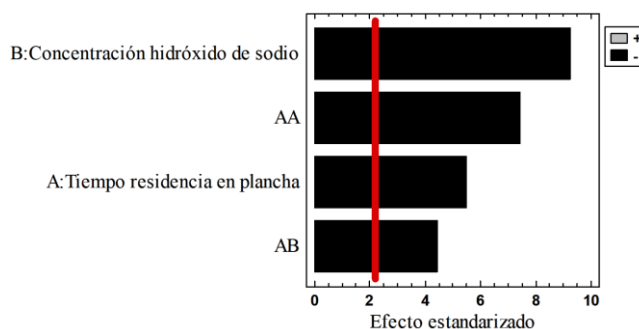
Análisis de varianza sin factores no significativos para determinar el mejor rendimiento de obtención de celulosa

Análisis de Varianza para Pulpa seca de celulosa					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo residencia en plancha	0.310408	1	0.310408	30.2	0.0001
B:Concentración hidróxido de sodio	0.880208	1	0.880208	85.63	0.0000
AA	0.565003	1	0.565003	54.97	0.0000
AB	0.201612	1	0.201612	19.61	0.0008
bloques	0.00125	1	0.00125	0.12	0.7333
Error total	0.123346	12	0.0102788		
Total (corr.)	2.08183	17			

Nota 45. Datos recuperados del programa STATGRAPHICS Centurion 19. Tomado de: *Statgraphics Thecnologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "marzo 17, ", 2022. [54].*

Figura 23.

Diagrama de Pareto con únicamente factores estadísticamente significativos

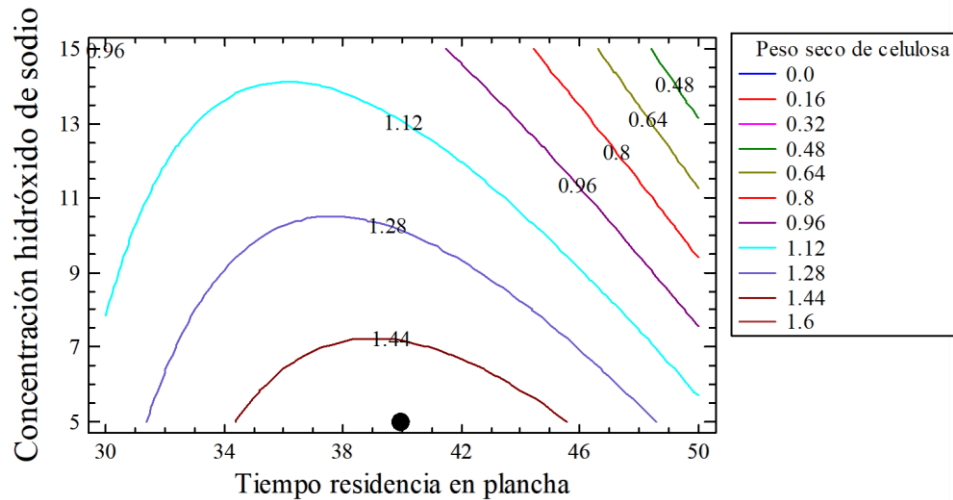


Nota 46. Este diagrama establece que los factores menores a 0.05 son estadísticamente significativos, es decir las barras de color negro. Tomado de: *Statgraphics Thecnologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "marzo 17, ", 2022. [54].*

Como todos los factores del nuevo ANOVA son estadísticamente significativos, se pudo entonces determinar las condiciones a las cuales se podría llegar a obtener mayor rendimiento de celulosa, para este caso de estudio la concentración de hidróxido de sodio y el tiempo de residencia de la mezcla en la plancha de calentamiento deben ser a 5% y 40 minutos respectivamente, (Anexo 4).

Figura 24.

Contornos de la superficie de respuesta estimada



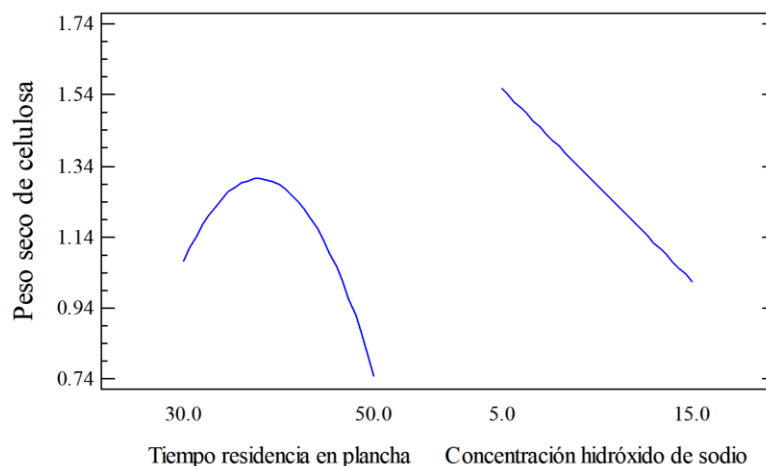
Nota 47. Este diagrama de contorno muestra por medio de curvas las zonas en las cuales la pulpa de celulosa es mayor o menor dependiendo de la variación de cada factor. Tomado de: *Statgraphics Technologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "marzo 17, ", 2022. [54].*

La Figura 24 es un gráfico de contorno el cual muestra por zonas los rendimientos de peso seco cuando se varía la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de residencia en la plancha de calentamiento o cuando hay una interacción de ambos factores. Es decir, si se trabaja con una concentración cercana al 10% de hidróxido de sodio se estaría trabajando en la zona azul y por tal motivo se van a obtener pesos secos de celulosa menores a 1.44 y superiores a 1.28.

El programa mediante el ANOVA determinó que a una concentración de 5% y un tiempo de 40 minutos se obtiene el peso seco de celulosa óptimo, debido a que la curva en la cual se encuentra el punto está en el intervalo de 1.6 y 1.44.

Figura 25.

Gráfica de efectos principales para pulpa seca de celulosa



Nota 48. Influencia de los factores sobre la variable de respuesta pulpa seca de celulosa. Tomado de: *Statgraphics Technologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "marzo 17, ", 2022. [54].*

La Figura 25 muestra por medio de las pendientes de ambos factores el efecto sobre la variable de respuesta; el factor A o concentración de hidróxido de sodio tiene una pendiente negativa indicando que su efecto sobre el peso seco de celulosa disminuye, en el caso del factor B o tiempo de residencia en plancha se tienen dos pendientes una positiva la cual indica un aumento en la variable de respuesta y una pendiente negativa que actúa de forma contraria.

La parábola cóncava negativa mostrada en la Figura 25 establece que existe un punto máximo equivalente a 40 minutos y por tanto los datos que partan hacia los infinitos positivos después de dicho punto tendrán un efecto inverso sobre la variable, es decir, los pesos de celulosa disminuyen cuando se supera el rango de 40 minutos de residencia en plancha.

Continuando con el proceso de extracción alcalina, una vez finalizados los 40 minutos de cocción, la mezcla se dejó reposar durante 20 minutos dando un total de 1 hora, tiempo que por teoría es el ideal, ya que según Delgado y Uribe en su tesis "*Determinación de la concentración de soda cáustica, tiempo de cocción y tamaño de partícula, en la obtención de pulpa para la fabricación de papel a partir de las hojas de caña de azúcar*", los datos que obtuvieron del programa STATGRAPHICS utilizando tres factores entre ellos la concentración de hidróxido de sodio y el tiempo de residencia en plancha o cocción llegaron a la conclusión que 5% de soda

cáustica y 1 hora de cocción les proporcionaba un rendimiento de 34.76% similar al valor de mayor rendimiento obtenido en su base de datos [56]. En este caso de estudio, el mayor peso de celulosa obtenido en laboratorio fue de 1.48 g y por ajuste del programa los valores altos obtenidos en una para una media superior e inferior al 95% fueron de 1.69 y 1.44 respectivamente.

La experimentación nos permitió establecer que 1 hora de cocción era un tiempo excesivo y por tanto el afrecho de malta a esas condiciones se desintegraba, por tal motivo se tomó la decisión de dividir el tiempo entre cocción y reposo para evitar pérdidas de pulpa de celulosa, es importante resaltar que el tiempo de reposo equivalente a 20 minutos fue el mismo para todos los ensayos realizados.

Para determinar el rendimiento de celulosa fue necesario utilizar la Ecuación 7 obtenida de Mantilla en su tesis “*Hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar y paja de trigo con una posterior fermentación alcohólica para obtención de etanol*”. [57]

Ecuación 7.

Porcentaje de rendimiento de celulosa

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{W_e - w_s}{W_e} \right) * 100$$

Al utilizar esta ecuación se obtuvo un valor de 34.31% de rendimiento de celulosa teniendo como peso seco de entrada 2.19 g (en una muestra total de 40g) y un peso seco de salida de celulosa de 1.44 g, comparando con el resultado con la tesis de Delgado y Uribe “*Determinación de la concentración de soda cáustica, tiempo de cocción y tamaño de partícula, en la obtención de pulpa para la fabricación de papel a partir de las hojas de caña de azúcar*”, se evidencia que se obtuvo un valor similar siendo de 34.76%.

Finalizado el proceso de extracción alcalina, la mezcla se introduce a un filtro de tela para realizar 10 lavados con agua a una temperatura de 18.7 °C para disminuir el pH desde 11.20 hasta 7, el agua remanente de cada filtrado se deposita en un colector de bases.

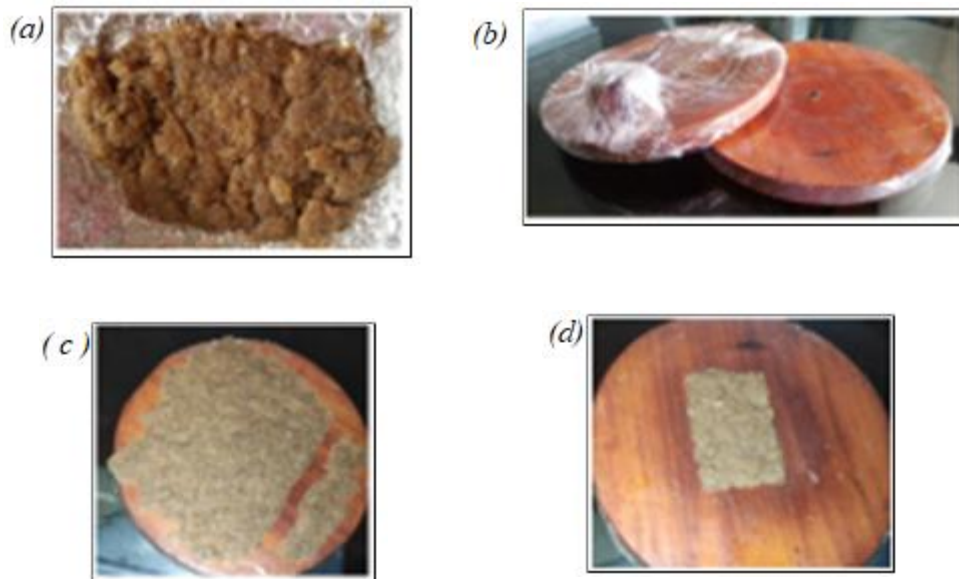
3.1.3 Producción de papel artesanal

3.1.3.a Prensado.

- *Montaje:* Se utilizó la pataconera como prensa, papel vinipel y bisturí.

Figura 26

Proceso de prensado de la celulosa



Nota 49. La imagen (a) muestra la celulosa obtenida, la fotografía (b) muestra lo que se usó como prensa, la imagen (c) muestra como ya está prensado el papel y se decide cortar y por último la (d) muestra del tamaño que quedó nuestro papel.

- *Reactivos:* Celulosa
- *Condiciones de operación:* Se tomó el vinipel y se envolvió la pataconera, la celulosa se debe encontrar húmeda para facilitar la manipulación, ya con estas condiciones se tomó celulosa en forma de esfera y se dispuso en la pataconera que funciona como prensa con una presión constante hasta donde lo permita la celulosa. Teniendo la celulosa plana se le dieron las medidas que se querían en el papel.

A pesar de que se disminuye el espesor la prensa no es lo suficiente fuerte dado que todavía se obtiene un espesor grueso, pero permite que se forme la lámina para que se forme un papel. Eso

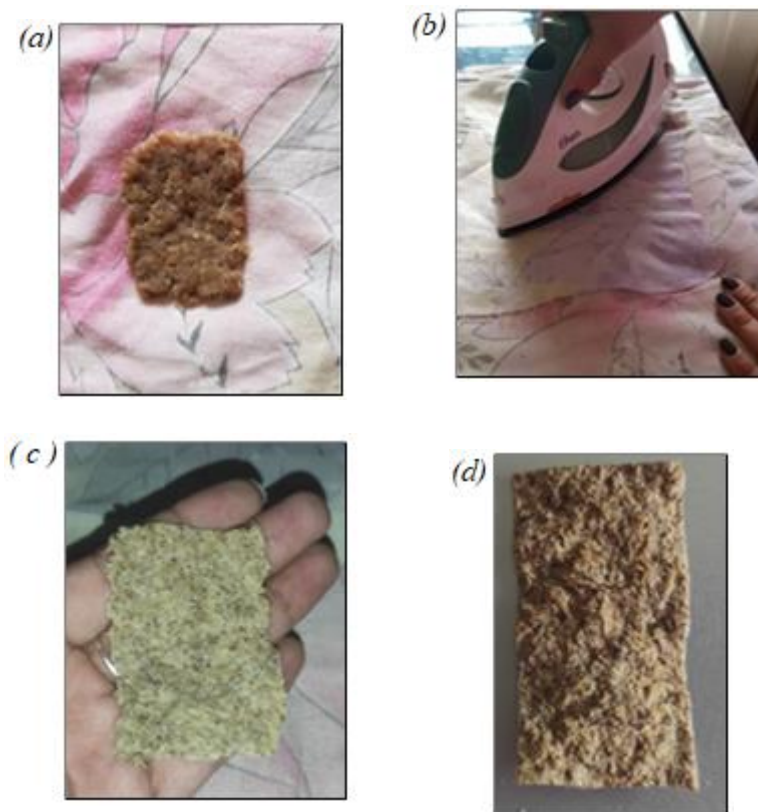
se puede evidenciar en la Figura 26 (c) y (d), de igual manera si pierde un poco de humedad, pero sigue siendo húmeda la lámina.

3.1.3.b Secado de papel.

- *Montaje:* Tela y plancha.

Figura 27.

Proceso de secado del papel



Nota 50. Se evidencia el proceso de secado de la hoja de papel, la imagen (a) es el papel húmedo sobre la tela, la fotografía (b) muestra cómo se llevó a cabo el secado con la plancha, imagen (c) es el papel con menor cantidad de humedad y la última (d) es el papel completamente seco.

- *Reactivos:* Celulosa
- *Condiciones de operación:* Se ubicó la lámina de papel húmedo encima de una tela y encima de este se ubica otra tela; antes de empezar a evaporar el agua, se usa una plancha precalentada a una temperatura entre 70 °C a 120 °C aproximadamente, cumpliendo con todas

estas condiciones se empieza a planchar el papel uniformemente y a generar presión en el papel; de igual manera la plancha es necesaria para quitar la mayor cantidad de humedad, dado que después se deja el papel a temperatura ambiente para que termine el proceso de secado por evaporación.

Este procedimiento permite disminuir el espesor del papel al que se presentaba apenas salía de la prensa, es necesario utilizar la tela en el momento de planchar debido a que se correría el riesgo de que el papel se pudiera deshacer porque se podría pegar en la plancha; este proceso permite que la humedad presente disminuya significativamente, pero llega un momento en que el calor genera tanto vapor que no permite que el papel se siga secando por esta razón se optó por dejar que se terminara de secar a temperatura ambiente.

4 PRODUCCIÓN DE PAPEL ARTESANAL

Una vez obtenida la ruta óptima de tratamiento químico, se planteó un diagrama BFD con el propósito de agrupar las etapas para la producción de papel artesanal expuestas en el capítulo anterior, es decir pretratamiento físico (selección de afrecho y secado), extracción de celulosa (hidrólisis con ácido sulfúrico al 0.4% de concentración, cloración y extracción alcalina) y tratamientos finales de prensado y secado.

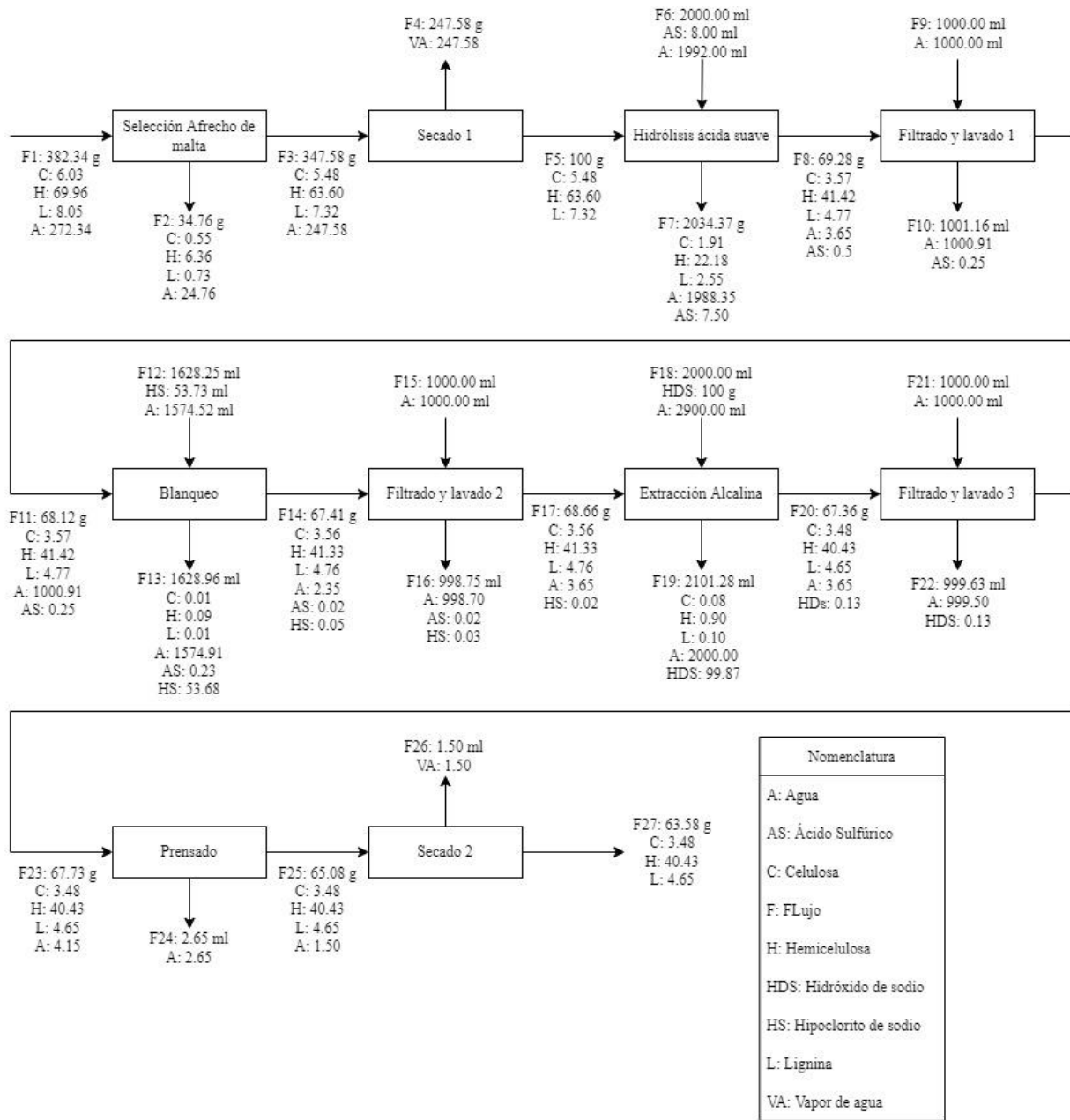
Adicionalmente, en este capítulo se exponen las pruebas físico-mecánicas realizadas al papel una vez finalizado el proceso (para tener homogeneidad en cada una de las pruebas, se utilizó un papel con dimensiones de 30mm x 50mm), sin embargo, es importante aclarar que los pesos utilizados para el diseño de experimentos y los balances de materia son una aproximación, ya que se utilizó el porcentaje de celulosa obtenido de la caracterización para el cálculo del peso seco de celulosa y pérdidas en el caso del balance de masa, debido a que en este proyecto no se realizó una caracterización al papel una vez finalizado el proceso.

4.1 Diagrama BFD

A continuación, se muestra el diagrama de bloques (Figura 28) y el balance de materia para la obtención de papel artesanal a partir del afrecho de malta, una vez aclaradas las condiciones de operación para cada etapa del proceso, es de gran importancia conocer que en las tablas de balance no se detalla la composición de proteínas, vitaminas y otros componentes diferentes al de fibras, ya que todo el proyecto se evaluó a partir de los porcentajes obtenidos por el laboratorio Biopolab.

Figura 28.

Diagrama BFD con balance de materia para la obtención de papel a partir de afrecho de malta



Nota 51. El diagrama de bloques hace referencia a las unidades de operación y el balance de materia de cada una para el proceso de obtención de papel a partir del afrecho de malta.

Tabla 24.

Balance de materia para las operaciones de selección de afrecho, secado 1, hidrólisis ácida suave y filtrado y lavado 1.

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Componente</i>												
<i>Celulosa</i>	6.03	0.55	5.48	0.00	5.48	0.00	1.91	3.57	0.00	0.00	3.57	0.00
<i>Hemicelulosa</i>	69.96	6.36	63.60	0.00	63.60	0.00	22.18	41.42	0.00	0.00	41.42	0.00
<i>Lignina</i>	8.05	0.73	7.32	0.00	7.32	0.00	2.55	4.77	0.00	0.00	4.77	0.00
<i>Afrecho Seco</i>	110.00	10.00	100.00	0.00	100.00	0.00	34.87	65.13	0.00	0.00	65.13	0.00
<i>Agua</i>	272.34	24.76	247.58	247.58	0.00	1992.00	1988.35	3.65	1000.00	1000.91	2.74	1574.52
$H_2SO_4/(NH_4)_2SO$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	7.50	0.50	0.00	0.25	0.25	0.00
<i>NaOH</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>NaClO</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.73
Total	382.34	34.76	347.58	247.58	100.00	2000.00	2030.72	69.28	1000.00	1001.16	68.12	1628.25

Nota 52. La tabla muestra los balances de materia para las corrientes 1 a 12

Tabla 25.

Balance de materia para las operaciones de blanqueo, filtrado y secado 2, extracción alcalina, filtrado y lavado 2.

Corrientes	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Componente</i>												
<i>Celulosa</i>	0.01	3.56	0.00	0.00	3.56	0.00	0.08	3.48	0.00	0.00	3.48	0.00
<i>Hemicelulosa</i>	0.09	41.33	0.00	0.00	41.33	0.00	0.90	40.43	0.00	0.00	40.43	0.00
<i>Lignina</i>	0.01	4.76	0.00	0.00	4.76	0.00	0.10	4.65	0.00	0.00	4.65	0.00
<i>Afrecho Seco</i>	0.14	64.99	0.00	0.00	64.99	0.00	1.41	63.58	0.00	0.00	63.58	0.00
<i>Agua</i>	1574.91	2.35	1000.00	998.70	3.65	2000.00	2000.00	3.65	1000.00	999.50	4.15	2.65
$H_2SO_4/(NH_4)_2SO$	0.23	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>NaOH</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.87	0.13	0.00	0.13	0.00	0.00
<i>NaClO</i>	53.68	0.05	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	1628.96	67.41	1000.00	998.75	68.66	2100.00	2101.28	67.36	1000.00	999.63	67.73	2.65

Nota 53. La tabla muestra los balances de materia para las corrientes 13 a 24.

Tabla 26.

Balance de materia para las operaciones de prensado y secado 2.

Corrientes	25	26	27
<i>Componente</i>			
<i>Celulosa</i>	3.48	0.00	3.48
<i>Hemicelulosa</i>	40.43	0.00	40.43
<i>Lignina</i>	4.65	0.00	4.65
<i>Afrecho Seco</i>	63.58	0.00	63.58
<i>Agua</i>	1.50	1.50	0.00
<i>H₂SO₄/(NH₄)₂SO</i>	0.00	0.00	0.00
<i>NaOH</i>	0.00	0.00	0.00
<i>NaClO</i>	0.00	0.00	0.00
<i>Total</i>	65.08	1.50	63.58

Nota 54. La tabla muestra los balances de materia para las corrientes 25 a 27.

El balance de masa se compone del afrecho seco (equivalente a la suma de celulosa, hemicelulosa y lignina), el contenido de agua, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio e hipoclorito de sodio. El término afrecho seco mostrados en las Tablas 24, 25 y 26 se utiliza para la determinación de contenido en gramos de celulosa, hemicelulosa y lignina partiendo de los porcentajes mostrados en el Anexo 1, ya que, estos valores se obtienen únicamente cuando la biomasa se encuentra en estado seco.

Ahora bien, se consideró que en las operaciones de filtrado y lavados no hubo pérdida de masa, ya que en estas operaciones como se explicó anteriormente se buscó la regulación de un pH de 3 a 7 en el caso de la hidrólisis ácida suave, de 9.20 a 7 para el blanqueo y de 11.20 a 7 para la extracción alcalina.

Las Tabla 27 a continuación muestra los pesos de las 18 muestras después de la hidrólisis ácida suave, blanqueo y extracción alcalina utilizadas para el diseño de experimentos, no obstante, el balance de masa se diseñó para 100 gramos de afrecho de malta seco con una repetición de 5 veces para obtener un porcentaje de celulosa superior a 15% en el papel final.

Tabla 27.

Promedio y porcentaje de pérdidas de las 18 muestras después de la hidrólisis ácida suave, blanqueo y extracción alcalina

Muestra	Peso después Hidrólisis ácida suave	Peso después Blanqueo	Peso después Extracción alcalina
1	25.56	25.50	24.94
2	26.27	26.21	25.65
3	25.73	25.67	25.11
4	26.38	26.32	25.76
5	25.66	25.60	25.04
6	26.12	26.06	25.50
7	25.78	25.72	25.16
8	26.28	26.22	25.66
9	26.13	26.07	25.51
10	26.17	26.11	25.55
11	26.18	26.12	25.56
12	25.86	25.80	25.24
13	26.26	26.20	25.64
14	26.10	26.04	25.48
15	25.44	25.38	24.82
16	26.44	26.38	25.82
17	26.34	26.28	25.72
18	26.25	26.19	25.63
<i>Promedio</i>	26.05	25.99	25.43
<i>% Pérdida</i>	34.88%	0.22%	2.17%

Nota 55. La tabla mediante los porcentajes de pérdida de masa fueron la base para hallar los pesos de afrecho seco para el desarrollo del balance de materia.

La base de cálculo para el diseño de experimentos fue 40 gramos, se hallaron los porcentajes de pérdida para cada una de las etapas y con ese porcentaje se extrapolaron a los 100 gramos de afrecho utilizados en el balance de masa, resultó que el porcentaje de pérdida de masa después de la hidrólisis ácida para 40 gramos de afrecho es de 34.88%, por lo tanto, el afrecho seco de la corriente 7 (Tabla 24) representa ese porcentaje de pérdida, mientras que la corriente 8 equivale al 65.13% restante o porcentaje de afrecho resultante de la hidrólisis ácida suave.

Para finalizar, los flujos de entrada para cada uno de los reactivos se calcularon por medio de una extrapolación, en el caso de la hidrólisis ácida suave para cada 20 gramos de afrecho se usó una disolución de 400 ml de agua con una concentración de ácido sulfúrico de 0.4% es decir que para 100 gramos de afrecho se utilizaron 1992 ml de agua con 8 ml de ácido, el blanqueo se realizó con una concentración de hipoclorito de sodio al 3.5% en 500 ml de agua y para el balance de

masa se utilizó 1574.52 ml de agua con 53.73 ml de hipoclorito, la extracción alcalina se realizó con 2000 ml de agua y 100 gramos de hidróxido de sodio que equivale al 5% de concentración del total de disolución, para finalizar el agua para cada lavado se tomó como base de cálculo 1000 ml de agua para regular el pH.

Los residuos más importantes que se presentan en la producción de papel artesanal son los licores obtenidos al finalizar la hidrólisis ácida suave y extracción alcalina, ya que su composición además del reactivo es el material orgánico como la lignina, hemicelulosa y celulosa. No obstante, para un proyecto a escala laboratorio la recuperación del hidróxido de sodio del licor negro es limitante, debido a que se requiere una instalación grande para evaporar y quemar los componentes volátiles y orgánicos respectivamente y así obtener el reactivo de forma sólida y ser usado de nuevo para la disolución en la extracción alcalina. [58]

En el caso de querer recuperar la lignina existen métodos como la ultrafiltración (membranas), y precipitación ácida, siendo la última la más utilizada puesto que la lignina es soluble en agua cuando el pH es básico e insoluble con pH ácido. En el caso del licor negro resultante de la extracción alcalina el método que proponen Kim et al en 1987 para precipitar la lignina de alta pureza se realiza por medio de cuatro pasos importantes: Preparación de la muestra del licor negro, precipitación de lignina con ácido sulfúrico a 1N, purificación de lignina por medio de una solución acuosa de hidróxido de sodio y por último el secado de lignina. [58]

Para el licor resultante de la hidrólisis ácida suave la centrifugación es el método que permite precipitar la lignina, ya que al estar en medio ácido este polímero es insoluble en agua y por tanto no necesita la modificación del pH, como la lignina es una fibra dietética puede ser utilizada como alimento animal, sin embargo, es importante que este compuesto esté libre de químicos antes de proporcionarse a animales.

4.2 Propiedades físicas

4.2.1 Color

Esta propiedad aparece por la sensación producida por los rayos de luz que se expresan en los órganos visuales y depende de la longitud de onda presente. [59]

Para realizar la evaluación de esta propiedad física fue necesario comparar el papel artesanal con el papel tradicional (producido de manera industrial); teniendo en cuenta si es más claro u oscuro. Además de tener en cuenta los colores de otros tipos de papel artesanal realizados con otras materias primas.

Figura 29.

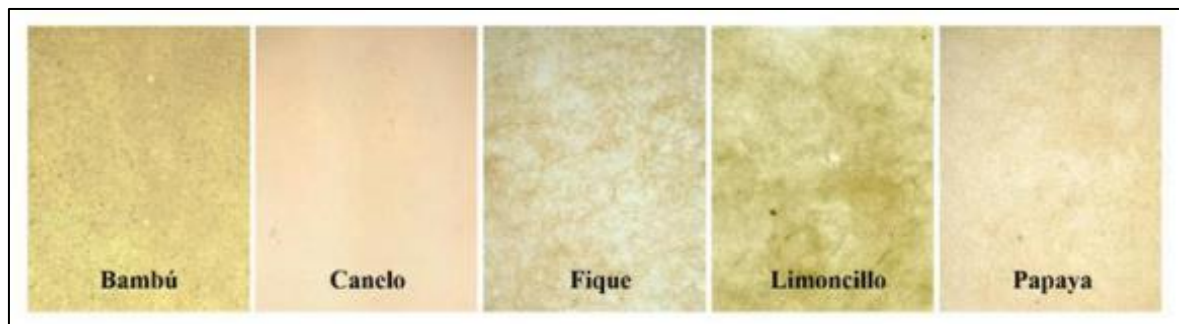
Comparación de textura entre papel artesanal a partir de afrecho de malta y papel industrial



Nota 56. La figura muestra la comparación entre el papel artesanal y papel fabricado industrialmente para evidenciar la diferencia de color.

Figura 30.

Comparación de colores de papeles artesanales según su materia prima



Nota 57. La figura muestra los colores que puede tener un papel artesanal dependiendo de la materia prima que sea utilizada. Tomada de: Benítez, J; Amu, M; Vallejos, M and Area, M. 2019. [60].

Se pudo evidenciar en el análisis del color que el papel artesanal comparado con el tradicional posee un color más oscuro; algo para tener en cuenta que influye en este indicador es el blanqueo dado que este como su nombre lo indica blanquea o aclara el papel; en este caso nuestro papel no tuvo blanqueos exhaustivos dado a que nuestra meta era un papel artesanal sin

tanta intervención química, usando este procedimiento cuando fue necesario, a diferencia de un papel industrial que debe tener un color claro específicamente blanco. En el procedimiento empleado en este trabajo se realizó con el fin de reducir cualquier impureza o problema que pudiera venir de la hidrólisis ácida suave, no con fin de obtener un color claro o cercano al papel elaborado industrialmente.

Por otro lado, comparando con los papeles artesanales que se encuentran en la Figura 30, tienen colores más claros que el papel artesanal realizado en este trabajo, pero la diferencia no es considerable en comparación con el papel industrial; el papel artesanal hecho con el afrecho de malta puede tener una similitud de color con los papeles que usan como materia prima el bambú y fique.

4.2.2 *Textura*

Se puede definir como la apariencia de una superficie o plano [61], además de la sensación que da al tacto.

Esta evaluación se hizo comparando el papel tradicional con el papel realizado en este trabajo, todo por medio de la observación y tacto; determinando si se encuentra liso, áspero, rugoso, duro o suave, frente al papel tradicional y también a que otro tipo de material se puede parecer. Adicionalmente hacer una comparación con algunos tipos de papel artesanal provenientes de otras materias primas.

Figura 31.

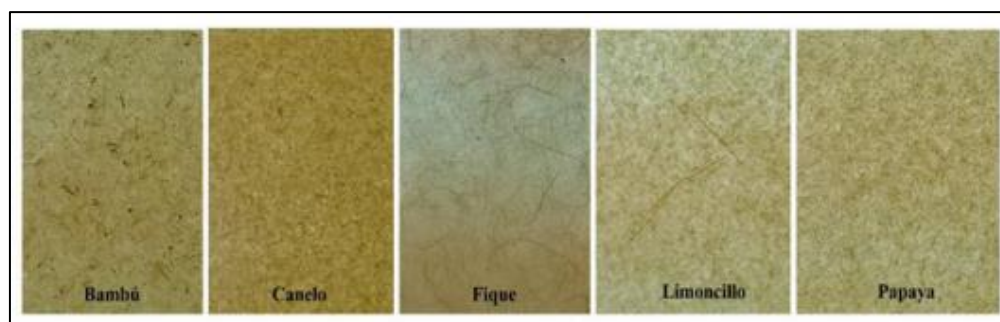
Comparación de textura entre papel artesanal a partir de afrecho de malta y papel industrial



Nota 58. La figura muestra la comparación entre el papel artesanal y papel fabricado industrialmente con el fin de mostrar la textura que puede tener.

Figura 32.

Comparación de texturas de papeles artesanales según su materia prima



Nota 59. La figura muestra las texturas que puede tener un papel artesanal dependiendo de la materia prima que sea utilizada. Tomada de: Benítez, J; Amu, M; Vallejos, M and Area, M. 2019. [60].

La Figura 31 muestra que el papel de este trabajo tiene un aspecto rugoso e incluso áspero frente a un papel producido industrialmente y tiene una cercanía a materiales como cartón paja e incluso al cartón que se encuentra en la canasta de huevos. Este resultado pudo ocurrir por motivos de la celulosa extraída, dado que no se realizó un pretratamiento antes de realizar el papel y puede que fuera necesario; el pretratamiento podría consistir en procesar la celulosa para disminuir los grumos ocasionados durante la extracción, esto podría generar una mejor textura. Otro factor el cual puede influir fue la forma del prensado, dado que no permitió la textura deseada y acercase a la textura lisa del papel industrial.

Comparando el papel con otros papeles artesanales (Figura 32) se observa que podría ser muy parecido a los que tuvieron como materia prima el bambú, papaya y canelo; siendo este último el más similar pero no tan rugoso y áspero.

4.2.3 *Espesor*

El espesor en el papel se puede tomar como la distancia perpendicular entre las caras (en milímetros) o conocida como distancia “z”. [62]

Para determinar esta propiedad física se pudo hacer de dos maneras, la primera se determinó por medio de la observación decidiendo si es delgado, grueso o muy grueso (de una forma subjetiva) en comparación del papel industrial; la segunda se puede determinar de una forma objetiva por medio de un calibrador digital el cual nos va a permitir tener una medida exacta y

evidenciar si su espesor es homogéneo en todo el papel, por esta razón se tomaran valores en diferentes puntos del papel y sacar un promedio entre los valores.

Figura 33.

Espesor del papel



Nota 60. La figura compara el espesor entre el papel artesanal y papel industrial por medio de la observación.

Tabla 28.

Medidas de espesor en diferentes puntos del papel

Punto en el papel	Grosor (mm)
1	2.25
2	1.41
3	1.27
4	1.78
5	1.81
6	1.50
7	2.66
8	2.00
<i>Promedio</i>	1.84

Nota 61. La tabla muestra la medida del espesor en diferentes puntos del papel y un promedio de 1,84 mm.

En primera instancia hablando de la evaluación por medio de la observación se puede evidenciar que el papel es grueso en comparación de un papel tradicional, esto sucede principalmente por el prensado ejecutado dado que realmente fue muy artesanal y no se tuvo un gran control sobre este, se aplicó hasta donde fue permitido aplicarlo y por eso no se logró llegar hasta como un papel

fabricado industrialmente; de igual manera se debe tener en cuenta que los papeles artesanales tienden a tener un espesor superior que al de un papel tradicional.

Ya entrando con la evaluación por medio de medición con un calibrador digital, observando las medidas por individual y se puede evidenciar que nuestro papel no se encuentra uniforme debido que dependiendo de donde se tomará la medida tenía un valor completamente diferente con variaciones desde 1,27mm a 2,66mm, lo que quiere decir que el prensado no fue homogéneo, porque no se utilizó la presión necesaria que se realiza en el proceso industrial. Observando su promedio se determinó que tiene un valor de 1,84mm que comparando con el valor entre 0,08mm a 0,11mm [63] de un papel industrial, es muy alto debido a que se tiene una diferencia entre 1,73mm a 1,76mm quiere decir que por medio de la medición se puede determinar que el papel artesanal es muy grueso en contraste con el industrial.

4.2.4 *Transparencia*

Esta propiedad hace referencia a la cantidad de luz que incide sobre una superficie en un ángulo de 90° y es reflejada. [64]

Esta evaluación se realizó por medio de una luz, ubicada en la parte inferior del papel y así observar si el papel permite que pase la luz o no.

Figura 34.

Prueba de transparencia



Nota 62. La imagen muestra cómo se realizó la prueba para determinar la transparencia del papel.

Al realizar esta prueba se evidenció que se presenta transparencia en el papel elaborado, debido a que se observaba como la luz traspasaba entre orificios que tenía el papel; esto pudo suceder porque las fibras de celulosa no se unieron adecuadamente por el uso de un prensado sin

anteriormente extender el papel y generar una uniformidad, una forma para extender las fibras debidamente es por medio de una malla y así facilitar la uniformidad del papel. De igual manera, otro factor que pudo influenciar en el resultado del papel fue el secado, ya que utilización de la plancha pudo generar la separación de las fibras; y la razón es porque el afrecho no tiene fibras largas, ordenadas ni lineales, como sí se presentan en maderas de árboles, cañas o incluso el bambú.

Se debe resaltar que en los puntos donde no se observa orificios no se muestra una transparencia y puede que, si se mejora la manera de realizar el papel, sería un papel que no presentaría transparencia.

4.2.5 *Tinción*

La tinción consiste en como una superficie, en este caso el papel, adsorbe un colorante [65]

Esta prueba se ejecutó probado diferentes clases de elementos de tinción para determinar cuál se absorbe mejor en nuestro papel, utilizando esferos, micropuntas, resaltadores, marcadores convencionales y marcadores de vinilo, además de tener en cuenta si fue necesario repasar el elemento de tinción o no.

Figura 35.

Prueba manual de tinción



Nota 63. En la imagen se evidencia los diferentes elementos de tinción en el papel artesanal, el trazo verde corresponde a la micropunta, la línea roja pertenece al esfero, mientras que el trazo amarillo es el resaltador, así mismo la línea negra concierne a un marcador convencional y el último pertenece a un marcador de vinilo. Elaboración propia.

Se pudo observar en la Figura 35 los diferentes elementos de tinción en primera instancia el trazo verde como dice la nota corresponde a la micropunta, aunque es notorio, para realizar el trazo

se dificulta debido a que se debe repasar un poco para que marque. Continuando se observa el esfero (línea roja) es muy tenue lo que quiere decir que no es práctico para este papel porque a pesar de que se retocó muchas veces no se logró una tinción suficiente; el resaltador (trazo amarillo) se puede ver, pero puede que con otro color se observe un poco mejor; las dos últimas líneas (negra y morada) las que pertenecen a los marcadores son las que más se notan y no fueron necesarias de repasar continuamente para que se notaran.

Con lo observado se puede determinar que es necesario usar marcadores para que sean visibles sin esfuerzo, esto puede deberse al grosor del papel que necesita un elemento de tinción que genere suficiente tinta para que sea absorbida por el papel y así mismo se vea influenciado por la textura del papel dado a que es rugosa dificulta que sea fácil de realizar el trazo con elementos como el esfero o incluso la micropunta.

4.3 Propiedades mecánicas

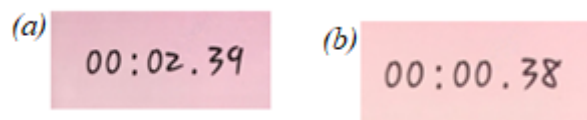
4.3.1 Resistencia al rasgado

La resistencia al rasgado hace referencia a la energía necesaria para generar un rasgado en el papel. [62]

Este método consiste en aplicar fuerza de forma perpendicular a la cara del papel para completar una ruptura en él, para determinar que tanto se demora en la ruptura mientras se produce el rasgado se toma tiempo por medio de cronometro y se compara con el tiempo que se obtiene de una hoja de papel convencional.

Figura 36.

Prueba manual resistencia al rasgado



Nota 64. La imagen (a) muestra el tiempo en el cual se demoró en rasgarse el papel artesanal, mientras que en la imagen (b) se observa el tiempo que demoro el papel convencional en rasgarse.

Realizando esta evaluación se obtuvo que el papel artesanal de este trabajo tuvo un tiempo antes de presentar rasgado de 2 segundos con 39 centésimas de segundo, mientras que el papel industrial presento un tiempo de 38 centésimas de segundo; esto quiere decir que la resistencia al rasgado que presenta el papel artesanal es superior que el papel artesanal y esto va de la mano con el espesor de este, dado que al tener un grosor mayor es más complicado el rasgado. Algo para tener en cuenta es que por su textura se pensaría que el rasgado demoraría un poco más pero aun así sigue siendo fácil de rasgar.

4.3.2 Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión hace referencia a la carga divergente aplicada al papel hasta lograr una ruptura. [62]

Para realizar esta prueba consistió en tomar el papel de ambos extremos con las manos y generar un esfuerzo de tensión para esperar que se generara una ruptura, igualmente probando, generando el esfuerzo de tensión por solo un lado del papel, para ver si se obtiene una ruptura. De igual manera se hace lo mismo con una hoja de papel industrial.

Realizando esta prueba se evidencio que el papel artesanal soporta la tensión, cuando se generó la tensión por ambos lados del papel dado que no presento ninguna ruptura, pero cuando se generaba la tensión solo de un lado del papel si genero una ruptura inmediata; esto pudo suceder debido a como se encuentra el papel dado que tiene orificios en ciertos lugares y si se genera más fuerza de un lado, en el sitio donde se presentan estos orificios es donde se presenta la ruptura del papel.

Contrastando con el papel industrial este por medio de esta prueba no presenta ninguna ruptura lo que quiere decir que supera al papel artesanal en esta evaluación y para que genere una ruptura no se puede hacer de forma manual sino posiblemente por medio de un equipo.

4.3.3 Resistencia al dobléz

La resistencia al dobléz tiene como objetivo determinar cuántos pliegues o dobleces puede soportar el papel bajo una tensión constante sin romperse. [62] Para realizar este método se tomó el papel y se empezaron a realizar pliegues hasta su ruptura o en dado caso hasta que se permitiera realizar pliegues.

Figura 37.

Prueba manual resistencia al doblar



Nota 65. En la figura (a) se muestra el primer doblar, la figura (b) muestra el segundo doblar y la figura (c) muestra cómo se presentó la ruptura del papel después de los dobleces.

Realizando esta prueba se evidenció que el papel artesanal soporta la tensión, cuando se generó la tensión por ambos lados del papel dado que no presentó ninguna ruptura, pero cuando se generaba la tensión solo de un lado del papel sí generó una ruptura inmediata; esto pudo suceder debido a cómo se encuentra el papel dado que tiene orificios en ciertos lugares y si se genera más fuerza de un lado, en el sitio donde se presentan estos orificios es donde se presenta la ruptura del papel.

Contrastando con el papel industrial este por medio de esta prueba no presenta ninguna ruptura lo que quiere decir que supera al papel artesanal en esta evaluación y para que genere una ruptura no se puede hacer de forma manual sino posiblemente por medio de un equipo.

Al realizar la evaluación se determinó que al hacer el segundo doblar se generó la ruptura del papel, quiere decir que no es un papel apto para hacer este tipo de resistencia; aunque pudo atribuirse al tamaño del papel que se usó para esta prueba dado que al ser tan pequeña puede que sea más sensible; de igual manera un problema puede ser por su textura acartonada y la irregularidad que se encuentra en el papel al momento de hablar de su espesor.

En conclusión, se determinó que el material obtenido debido a sus características de resistencia a la torsión y doblar puede ser utilizado para el proceso de embalaje, como cajas o base para la distribución de las cervezas, además gracias a su facilidad de moldeado se pueden producir portavasos o materiales que sirvan de publicidad para la empresa.

5 CONCLUSIONES

Por medio de investigación bibliografía se pudo conocer los diferentes métodos para obtener celulosa y así realizar nuestro papel; es por esto que a partir de la investigación se conoció de qué manera se puede caracterizar biomásas que contengan material lignocelulósico y se dio a conocer aspectos como fibra cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente acida y fibra acida, donde se podrían determinar porcentajes de hemicelulosa, lignina y celulosa de la materia prima que se estaría trabajando; al realizar este análisis con ayuda de un laboratorio se pudo descubrir que el afrecho de malta proveniente de una mezcla de malta 90% Pale Ale y 10% Caramel Múnich II, contenía un porcentaje 51,1% de hemicelulosa, el cual se encontraba muy cercano a bibliografía utilizada para contrastar estos porcentaje, mientras que la lignina y celulosa tuvieron porcentajes inferiores a los esperados, centrándonos principalmente en la celulosa que contenía en este afrecho solo 5,48%.

De igual manera se mostró que con ayuda de normas como la ASTM 871 se podría determinar cuanta humedad podría tener el afrecho de malta y al finalizar se obtuvo un promedio de 71,23% de humedad retirada de este, asimismo por medio de la norma ASTM E1755-01 se observó que el bagazo de malta tuvo un porcentaje de masa de ceniza del 3.17%.

Entrando nuevamente a los métodos para obtener celulosa y posteriormente papel se conocieron los dos más relevantes en este momento para la realización de papel tradicional, los cuales son el TMP y Kraft, pero dado que este proyecto se centra en obtener un papel artesanal se utilizó la técnica de pulpeo el cual consistió en un pretratamiento y posteriormente en la extracción de celulosa en donde su proceso principal para esta obtención es por medio de la extracción alcalina y fue aquí donde se realizó el diseño de experimento de este proyecto, donde se obtuvo un diseño factorial de 3^2 y se consideraron como variables manipulables la concentración de hidróxido de sodio (5%,10%,15%) y tiempo de residencia en la plancha de calentamiento (30min, 40min y 50min) y como variable de respuesta rendimiento de la celulosa; el ANOVA de este diseño de experimento fue realizado por el software STATGRAPHICS, con un nivel de significancia de 5% y arrojó que el que las condiciones en donde se obtienen mayor rendimiento de celulosa es con una concentración de hidróxido de sodio de 5% y un tiempo de residencia de la mezcla en la

plancha de calentamiento debe ser de 40 minutos. Asimismo, se determinó el porcentaje de rendimiento de celulosa que se obtuvo durante el proceso, el cual fue de 34.31%.

Con este diseño de experimento se pudo hacer el proceso continuo para la obtención de celulosa, el cual inicia con un pretratamiento físico, que consistía en la selección del afrecho de malta y el proceso de secado este último se dividía en tres pasos, primero necesitaba una temperatura de 110°C por una hora y posteriormente por 15 minutos alternando temperaturas de caliente a frío y finalmente tiene un secado durante 24 horas al aire libre (temperatura ambiente). Seguidamente se hacía un tratamiento químico, que iniciaba con una hidrólisis ácida suave utilizando una disolución de ácido sulfúrico al 0.4% y con un tiempo de residencia en la plancha de 40 minutos y dejado reposando por 20 minutos, continua de una cloración o blanqueo usando hipoclorito de sodio al 3.5%, temperatura de 30°C y llegando a un pH de 9.2, por último se realizó la extracción alcalina con una concentración de hidróxido de sodio al 5% y un tiempo de residencia en la plancha de 40 minutos.

Con la obtención de la celulosa, se pudo realizar papel el cual en su proceso de fabricación se realizó de forma artesanal con implementos que se utilizan en casa (para realizar el prensado y secado); posterior a su elaboración se realizaron pruebas físico-mecánicas con el fin de mostrar el comportamiento del papel ante ciertos parámetros que se pueden hacer sin necesidad de equipos especializados y comparando con papel industrial y otros papeles artesanales creados por medio de otra materia prima. Se pudo observar que en aspectos como en color, tinción, resistencia al rasgado tiene características favorables, pero cabe aclarar que no es un papel que se pueda usar para cualquier ocasión.

Por los argumentos anteriores se puede concluir que es posible la elaboración de papel artesanal utilizando bagazo o afrecho de malta, resultante de los procesos de elaboración de cerveza.

6 RECOMENDACIONES

- Para próximas investigaciones se sugiere realizar nuevamente la caracterización de fibras al afrecho de malta dado que los datos obtenidos por el laboratorio difieren en comparación a los datos teóricos, esto se podría solucionar si se realiza por propia autoría la determinación de celulosa, hemicelulosa y lignina en el laboratorio por medio de las normas AOAC 962.09, AOAC 2002.04 y AOAC 973.18.

- El afrecho de malta gracias a su contenido de fibra dietética, proteica, humedad y ceniza permite que sea un residuo versátil para la producción de productos alimenticios o de construcción, por tal motivo, se recomienda que futuras investigaciones tomen en cuenta estos componentes para encontrar nuevas aplicaciones de este residuo.

- Debido a la importancia de la temperatura como variable para el desarrollo del diseño de experimentos, se recomienda el uso de un reactor que impida la transferencia de calor de la cocción al ambiente, para así mejorar la elección de la ruta óptima del proceso.

- El desarrollo de un diseño de experimentos factorial utilizado en el trabajo no arroja los mejores rendimientos, debido a que no se tuvieron en cuenta los factores ruido o variables con altos costos o que presentan dificultad en su control como la temperatura en este caso la cual no se colocó dentro del sistema factorial debido a su dificultad de control en el sistema. Por esto se recomienda hacer uso del método Taguchi el cual contempla estas variables para propósitos experimentales.

- Se recomienda realizar la caracterización fisicoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción alcalina durante el diseño de experimentos es indispensable, ya que, esto genera un rendimiento de celulosa real en comparación al realizado en este trabajo, el cual se realizó suponiendo que la celulosa obtenida mantenía el 5.48% del porcentaje de la caracterización inicial.

- Se recomienda realizar un tratamiento de aguas a los licores obtenidos en las corrientes 7 y 19 los cuales contienen lignina, productos degradados de hemicelulosa y proteínas, así como los reactivos debido a que se obtiene máximo 2.2 L por corriente limitando los procedimientos de recuperación.

- En lugar de usar una pataconera para realizar el papel se sugiere utilizar una malla para hacer papel artesanal y de esta manera se tendría un mejor control al momento de obtener el papel y así podría mejorar la calidad de este.

- Se sugiere que, en investigaciones futuras, se realice la evaluación de las propiedades del papel por medio de las normas TAPPI.
- Conociendo que el material obtenido cuenta con buenas propiedades de resistencia se sugiere que se considere utilizarlo como materia prima para la elaboración de productos desechables como platos, vasos o cubiertos para contribuir con la disminución de los mismos elementos elaborados en materiales de origen petroquímico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cortes Triana, H. *et al*, .2020. "Estudio Descriptivo De Los Factores Determinantes Para La Permanencia De Las Micro Cervecerías En El Mercado De Cerveza Artesanal En Bogotá." UNIVERSIDAD EAN.
- [2] Redacción el tiempo, "Colombianos, entre los mayores consumidores de cerveza en Latinoamérica," *El Tiempo*, pp. 1, 2021. Available: <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/colombia-logro-el-mayor-consumo-de-cerveza-en-25-anos-630329#:~:text=En%20Colombia%20se%20consumen%20al,cerveza%20por%20persona%20seg%C3%BAAn%20estudio>.
- [3] G. Encarnacion Aguila and G. Kiss Köfalusi, "Los productos los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final," *Centro Nacional De Investigación Y Capacitación Ambiental*, 2006.
- [4] Anonymous (April 23,2009)."DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009." *Official Journal of the European Union*.
- [5] A. I. Lucas Herguedas, E. Rodriguez Garcia and P. Prieto Paniagua, "BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD," 2012.
- [6] B. Rosa *et al*, "Título: Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016,".
- [7] P. Jaramillo, "Cervezas artesanales, un mercado que emerge bien," Available: https://revistagestion.ec/sites/default/files/import/legacy_pdfs/269_005.pdf.
- [8] C. E. Duque, "Valorización de los residuos de la industria cervecera para utilización como biosorbente." 2018.
- [9] Torrente, S., .2019. "Aprovechamiento De Los Subproductos Generados En La Industria Cervecera " UNIVERSIDAD COMPLUTENSE.
- [10] L. Montenegro and L. Macabares, "Afrecho de cervecería como suplemento alimentario," Diciembre, 2020.

- [11] Y. Alexandra *et al*, "APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE USE OF AGRO-INDUSTRIAL WASTE IN IMPROVING THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT," *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 14, (1), 2018.
- [12] L. Fernanda, H. Cuero and D. P. Bernal Suárez, "Procesamiento de cerveza: tratamiento de aguas residuales Beer processing: wastewater treatment," 2020.
- [13] J. Martínez, "Área de consolidación Gestión de la Producción de Agroalimentos Producción de Harina de Bagazo a partir de un residuo de la industria cervecera," 2020.
- [14] Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C., (January 2006). "Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications." *Journal of Cereal Science*,
- [15] S. Castillo and N. Lozano, "EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE GULUPA COMO INGREDIENTE ADJUNTO, PARA LA PRODUCCIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL TIPO ALE," 2020.
- [16] Vallecilla Morales, F., ("Febrero 2, "2015). "Experiencias en el uso de residuos de la industria de cerveza en Colombia y Ecuador." *Engormix - Ganadería*. Available: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/experiencias-uso-residuos-industria-t31927.htm>.
- [17] M. Anibal Fernandez, "TRANSFORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE AGROINDUSTRIA DE CULTIVOS TEMPLADOS, SUBTROPICALES Y TROPICALES EN CARNE Y LECHE BOVINA INTA -EEA Bordenave" Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria Centro Regional Buenos Aires Sur Estación Experimental Agropecuaria Bordenave, pp. 1-192, 2014.
- [18] Rivadeneira Rosales, M. P., .2020. "Propuesta de reutilización de los residuos del proceso de producción de cerveza artesanal para incremento de la productividad de la empresa Holy Krank." Universidad Tecnológica Indoamérica.

- [19] Xiros, C. *et al*, (2008). "Evaluation of *Fusarium oxysporum* as an enzyme factory for the hydrolysis of brewer's spent grain with improved biodegradability for ethanol production." *Industrial Crops and Products*. Available: <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.004>. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.02.004.
- [20] Meneses, N. G. T. *et al*, (Apr 19, 2013). "Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains." *Separation and Purification Technology*. Available: <https://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.015>. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.02.015.
- [21] Mello, L. R. P. F. and S. Mali, (Apr 2014). "Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch." *Industrial Crops and Products*. Available: <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.015>. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.015.
- [22] Borel, L. D. M. S. *et al*, (Oct 01, 2018). "Pyrolysis of brewer's spent grain: Kinetic study and products identification." *Industrial Crops and Products*. Available: <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.051>. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.05.051.
- [23] Mendes, J. F. *et al*, (Oct 15, 2020). "Development, physical-chemical properties, and photodegradation of pectin film reinforced with malt bagasse fibers by continuous casting." *Journal of Applied Polymer Science*. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.49178>. DOI: 10.1002/app.49178.
- [24] C. Camacho and C. Grande, "BAGAZO DE MALTA (BSG): BIORRESIDUO CON POTENCIAL APLICACIÓN A NIVEL FUNCIONAL, MATERIAL Y ENERGÉTICO BREWERS' SPENT GRAIN (BSG): BIORESIDUAL WITH POTENTIAL APPLICATION AT FUNCTIONAL, MATERIAL, AND ENERGETIC LEVEL," *Prospectiva*, vol. 19, (1), 2021. . DOI: 10.15665/rp.v19i1.2472.
- [25] ANDI (Diciembre 6.). Available: <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/3294-sector-papelero-en-colombia-crece-y-se-d>.
- [26] C. Geoffrey M. and H. Robert E., *La Celula*. (Séptima ed.) MARBÁN, 2018.
- [27] Hernandez Lara, J. P. and C. I. Chiluita Benitez, .2009. "ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA GUADUA (*Guadua Angustifolia* K)." Escuela Politécnica Nacional.

- [28] F. Artilles Santana, "PLANT CELL WALL IN BIOFUEL PRODUCTION," pp. 34, 2016.
- [29] Cueva Leon, J. D., "Fabricación de pasta de celulosa Aspectos técnicos y contaminación ambiental" *Universidad Nacional Del Callao Facultad De Ingenieria Industrial Y De Sistemas Escuela Profesional De Ingenieria Industrial*.
- [30] Rolón, J. *et al*, ("2016). "ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE PULPA DE CELULOSA: MÉTODOS KRAFT Y MECÁNICO." *Energía*. Available: http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2016/trabajos/D008_COINI2016.pdf.
- [31] P. Bajpai, "Basic overview of pulp and paper manufacturing process," in *Green Chemistry and Sustainability in Pulp and Paper Industry* Anonymous 2015, Available: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-18744-0_2. DOI: 10.1007/978-3-319-18744-0_2.
- [32] Cazaurang-Martinez, M. N., S. R. Peraza-Sanchez and C. A. Cruz-Ramos, 1990). "Dissolving-grade pulps from hennequen fiber." *Cellulose Chemistry and Technology*.
- [33] Alejandra López Martínez, M. *et al*, 2014). "OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)." Available: <https://atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/4.-DIVERSIFICACION.pdf>.
- [34] U. Libro *et al*, "Fibre methods compared_ES," 2014.
- [35] M. Gallardi, "El Valor de los alimentos," 2007.
- [36] Anonymous "El análisis de la fibra en el pienso animal Fibra cruda, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) -los estándares y las opciones de automatización eBook," 2018.
- [37] ASTM E 871 - 82, 2006). "Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels 1."
- [38] Alvarez, L. *et al*, ("Abril 4, "2021). "Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el código alimentario argentino (CAA)." *Red De Seguridad Alimentaria Del CONICET*. Available: <file:///C:/Users/maria/OneDrive/Documentos/D%20C3%A9cimo%20Semestre/Tesis/Informe-Final-CONAL-Magyp-Final-8b-publicar-AC.pdf>.
- [39] ASTM E1755 - 01, 2007). "Test Method for Ash in Biomass.". DOI: 10.1520/e1755-01r07.

- [40] Johnson,P., J. Paliwal and S. Cenkowski, (-12-012010)."Issues with utilisation of brewers' spent grain." *Stewart Postharvest Review*. Available: <https://access.portico.org/Portico/auView?auId=ark:%2F27927%2Fphx64r6dc4c>. DOI: 10.2212/spr.2010.4.2.
- [41] Jurado Poveda,S. D., .2018."UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS Tesis Presentada Como Requisito Para Optar Por El Título De Ingeniero Agroindustrial." Universidad Técnica del Norte.
- [42] *ARTILAB artículos para laboratorio* (Junio 7,). . Available: <https://artilab.com.co/>.
- [43] *Tubo Refrigerante o Tubo Condensador* (Junio 7,). . Available: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/tubo-refrigerante.html>.
- [44] *Laboratorio de ciencias* (Junio 7,). . Available: https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/equipamiento_de_laboratorio.html.
- [45] *Reles euqipos de laboratorio*(Junio 7,). . Available: <https://reles.com.pe/>.
- [46] *BINDER FP 53 FICHA TÉCNICA*(Junio 7,). . Available: <https://www.binder-world.com/es/productos/camaras-de-calor-y-de-secado/serie-fp-classicline/fp-53#2>.
- [47] *Kit Medidor de Ph De Mesa PH700: FICHA TÉCNICA*(Junio 7,). . Available: <https://www.industriasasociadas.com/producto/kit-medidor-de-ph-de-mesa-ph700/>.
- [48] *HANNA instruments*(Junio 7,). . Available: <https://www.hannacolombia.com/>.
- [49] *¿QUÉ ES EL ÁCIDO SULFÚRICO? PROPIEDADES, BENEFICIOS Y PRECAUCIONES*(Junio 7,). . Available: <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-es-el-acido-sulfurico-propiedades-beneficios-y-precauciones/>.
- [50] *Hidróxido de Sodio, sus usos y aplicaciones industriales*(Junio 7,). . Available: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/hidroxido-de-sodio/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1%20es%20la%20finalidad%20del,papel%20o%20aluminio,%20por%20ejemplo>.
- [51] *Hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio (Calcium Hypochlorite/Sodium Hypochlorite)*(Junio 7,). . Available: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.html.
- [52] Anonymous, "Prácticas análisis químico de los alimentos 1 Planta Piloto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos PRÁCTICA 4: ANÁLISIS DE PROTEÍNAS 1.

- DETERMINACIÓN DE LA PROTEÍNA BRUTA POR EL MÉTODO DE KJELDAHL. 1.1. FUNDAMENTO," . Available: https://ppcta.unizar.es/sites/ppcta.unizar.es/files/users/ARCHIVOS/Videos_y_otros/Documentos/PRACTICAS_ANALISIS/practica_4_determinacion_de_proteinas.pdf
- [53] Methacanon,P. *et al*, 2010)."Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles." *Carbohydrate Polymers*. Available: <https://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.036>. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.06.036.
- [54] Statgraphics Thecnologies inc, "STATGRAPHICS centurion 19," vol. 19.3.03, "Marzo 17, ", 2022.
- [55] J. M. Domenech Roldan, "Diagrama de Pareto,"
- [56] Delgado Espinosa,C. E. and D. A. Uribe Torres, .2017."Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo" Facultad De Ingeniería Química E Industrias Alimentarias Escuela De Ingeniería Química Tesis "Determinación De La Concentración De Soda Cáustica, Tiempo De Cocción Y Tamaño De Partícula, En La Obtención De Pulpa Para La Fabricación De Papel a Partir De Las Hojas De Caña De Azúcar" Para Obtener El Título De: Ingeniero Químico Presentada Por." Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo".
- [57] Mantilla Torres,J. M., .2012."Hidrólisis Ácida Del Bagazo De Caña De Azucar Y Paja De Trigo Con Una Posterior Fermentación Alcohólica Para Obtención De Etanol." Universidad Central del Ecuador.
- [55] Ortiz Rivera,L. A., .2009."Tratamiento Por Acidificación Controlada Del Licor Negro." Universidad Tecnológica de Pereira.
- [59] Real Academia Española, "Color" 2021.
- [60] Benitez,J. *et al*, 2019)."Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas Manufacture of handmade paper from non-conventional fibers of five colombian species." Available: https://www.researchgate.net/publication/333455269_Calidad_de_papel_artesanal_a_partir_de_fibras_no_convencionales_de_cinco_especies_colombianas_Manufacture_of_handmade_paper_from_non-conventional_fibers_of_five_colombian_species.
- [61] Anonymous "LA TEXTURA. LAS TEXTURAS Y SU CLASIFICACIÓN," .

- [62] M. Hernández, "ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PAPEL ARTESANAL DE LA CORONA DEL FRUTO DE DOS VARIEDADES DE PIÑA Ananas comosus (L.) Merr " *Boletim Da Sociedade Brasileira De Matemática*, vol. 1, (2), pp. 55-63, 2008.
- [63] *Papel*. "Especificaciones del papel". . Available: https://support.epson-europe.com/onlineguides/es/sprx420/ref_g/spec_4.htm.
- [64] Autodesk, "Acerca de la transparencia y translucidez," 2019.
- [65] E. Santambrosio and Ortega, Maria and Garibaldi, Pablo, "Trabajo práctico n° 4 "Tinción y observación de microorganismos." 2009.

ANEXOS

ANEXO 1.

NORMA MÉTODO FIBRA CRUDA AOAC 962.09

4.6.01

AOAC Official Method 962.09
Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food
Ceramic Fiber Filter Method
First Action 1962
Final Action 1971
Revised First Action 1982
AOCS-AOAC Method

A. Principle

Crude fiber is loss on ignition of dried residue remaining after digestion of sample with 1.25% (w/v) H_2SO_4 and 1.25% (w/v) NaOH solutions under specific conditions. Method is applicable to materials from which the fat can be and is extracted to obtain a workable residue, including grains, meals, flours, feeds, fibrous materials, and pet foods.

B. Reagents

(a) *Sulfuric acid solution*.—0.128 ± 0.003M. 1.25 g H_2SO_4 /100 mL. Concentration must be checked by titration.

(b) *Sodium hydroxide solution*.—1.25 g NaOH/100 mL, 0.313 ± 0.005M, free, or nearly so, from Na_2CO_3 . Concentration must be checked by titration.

(c) *Prepared ceramic fiber*.—Place 60 g ceramic fiber (Cerafiber, 8 lb/cu ft, E.J. Bartell Co., 700 Powell Ave, SW, Renton, WA 98055, USA) in blender, add 800 mL H_2O , and blend 1 min at low speed.

Determine blank by treating ca 2 g (dry weight) of prepared ceramic fiber with acid and alkali as in determination. Correct crude fiber results for any blank, which should be negligible (ca 2 mg).

(d) *Alcohol*.—95% or reagent alcohol, methanol, or isopropanol.

(e) *Antifoam*.—Dow Corning Corp. Antifoam A compound diluted 1 + 4 with mineral spirits or petroleum ether, or H_2O -diluted Antifoam B Emulsion (1 + 4). Do not use Antifoam Spray.

(f) *Bumping chips or granules*.—Broken Alundum crucibles or equivalent granules (RR Alundum 90 mesh, Norton Co., 1 New Bond St, Worcester, MA 01606, USA) are satisfactory.

C. Apparatus

(a) *Digestion apparatus*.—With condenser to fit 600 mL beaker, and hot plate adjustable to temperature that will bring 200 mL H_2O at 25°C to rolling boil in 15 ± 2 min. (Available from Labconco Corp., 8811 Prospect Ave, Kansas City, MO 64132, USA.)

(b) *Ashting dishes*.—Silica, Vitresil 70 × 16 mm; or porcelain, Coors Ceramics Co., 600 9th St, Golden, CO 80401, USA, No. 60230, or equivalent.

(c) *Desiccator*.—With efficient desiccant such as 4–8 mesh Drierite ($CaCl_2$ is not satisfactory).

(d) *Filtering device*.—With No. 200 Type 304 or 316 stainless steel screen (W.S. Tyler, Inc., 8570 Tyler Blvd, Mentor, OH 44060, USA), easily washed free of digested residue. Either Oklahoma State filter screen (see Figure 962.09A; available from Labconco Corp.) or modified California plastic Büchner (see Figure 962.09B; consists of 2 piece polypropylene plastic funnel manufactured by Nalge Co., 75 Panorama Creek Dr, PO Box 20365, Rochester, NY 14602, USA, Cat. No. 4280-0700, 70 mm [without No. 200 screen], or equivalent [also available from Labconco Corp.]. Seal screen to filtering surface of funnel, using small-tip soldering iron.

(e) *Suction filter*.—To accommodate filtering devices. Attach suction flask to trap in line with aspirator or other source of vacuum with valve to break vacuum.

(f) *Liquid preheater*.—For preheating H_2O , 1.25% H_2SO_4 , B(a), and 1.25% NaOH, B(b), solutions to bp of H_2O . Convenient system, shown in Figure 962.09C, consists of sheet Cu tank with 3 coils of $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) od Cu tubing, 12.5 ft (3.8 m) long. Solder inlets and outlets where tubing passes through tank walls. Connect to reflux condenser and fill with H_2O . Keep H_2O boiling with two 750 watt thermostatically controlled hot plates. Use Tygon for inlet leads to reservoirs of H_2O , acid, and alkali; use gum rubber tubing for outlets. Capacity of preheater is adequate for 60 analyses in 8 h.

D. Preparation of Test Sample

Reduce test sample (riffle is suitable) to 100 g. Place test portion in sealed container for H_2O determination and immediately determine H_2O . Grind remainder to uniform fineness. (Weber mill with screen 0.033–0.040 in. [No. 18 or 20], Micro mill [Hosokawa Micron Powder Systems, Inc., 10 Chatham Rd, Summit, NJ 07901, USA] with screen $\frac{3}{8}$ – $\frac{1}{2}$ in. [No. 18–No. 12], or Wiley mill with 1 mm [No. 18] screen give comparable fineness.) Since most materials lose moisture during grinding, determine H_2O on ground test sample at same time sample is taken for crude fiber determination.

E. Determination

Extract 2 g ground test portion (W_1) with ether or petroleum ether (initial boiling temperature, 35°–38°C; dry-flask end point, 52°–60°C; ≥95% distilling <54°C, and ≤60% distilling <40°C; specific gravity at 60°F, 0.630–0.660; evaporation residue ≤0.002% by weight). If fat is <1%, extraction may be omitted. Pretreat materials that contain >1% carbonate with 100 mL cold (<15°C) HCl to prevent partial neutralization of acid during sulfuric acid extraction. After 5 min filter and wash residues with cold water to remove HCl. Transfer to 600 mL beaker, avoiding fiber contamination from paper or brush. Add ca 1.5–2.0 g dry weight of prepared ceramic fiber, 200 mL boiling 1.25% H_2SO_4 , B(a), and one drop diluted antifoam. (Excess antifoam may give high results; use only if necessary to control foaming.) Bumping chips or granules may also be added. Determine blank by treating ca 2 g (dry weight) of

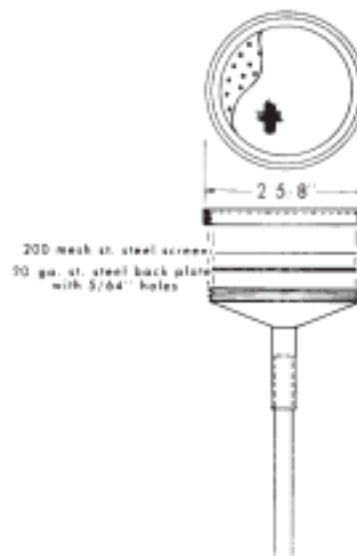


Figure 962.09A—Oklahoma State filter screen.



Figure 962.09B—Modified California State Büchner funnel, 2-piece polypropylene plastic, covered with 200-mesh screen, A, heat-sealed to edge of filtering surface.

prepared ceramic fiber with acid and alkali as in determination. If extremely fine materials are being analyzed and filters are to be precoated with a filter mat, prepare two beakers of ceramic fiber mixture for each sample as follows: Add 1.5 g dry weight of prepared ceramic fiber to each 100 mL beaker, then add 60–75 mL 1.25% (w/v) sulfuric acid, B(a), to each beaker and allow to soak until precoat step. Place beaker

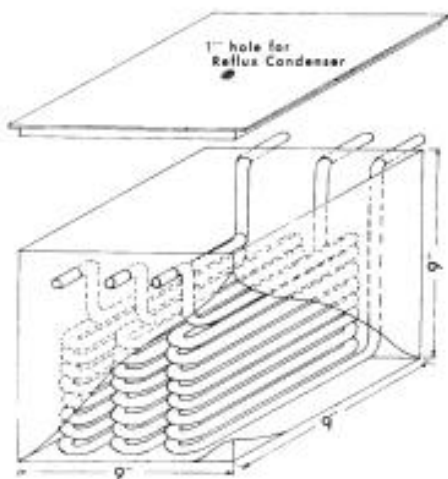


Figure 962.09C—Continuous heater for distilled water, 1.25% alkali, and 1.25% acid.

where B_2 and B_3 are average weights of all blanks after oven drying and ashing, respectively.

$$C \times \left[\frac{100 - \text{percent moisture desired}}{100 - \text{percent moisture in ground test sample}} \right]$$

Crude fiber on desired moisture basis
(or desired dry matter basis), % =

Report results to 0.1%.

References: *JAOC* 42, 222(1959); 43, 335(1960); 44, 567(1961); 45, 578(1962); 65, 265(1982).

Revised: March 1998

on digestion apparatus with preadjusted hot plate and boil exactly 30 min, rotating beaker periodically to keep solids from adhering to sides. Remove beaker, and filter as in (a) or (b).

(a) *Using Oklahoma filter screen.*—(1) Extremely fine materials only. Skip to step (2) if no filter precoating is necessary. Precoat the filter screen as follows: Attach Oklahoma filter screen to vacuum flask. Turn on suction. Mix well the 60–75 mL 1.25% sulfuric acid, B(a), and 1.5 g ceramic fiber mixture previously prepared. Insert the screen into beaker keeping face of screen just under the surface of liquid until all liquid is removed. Without breaking suction, proceed to step (2).

(2) Turn on suction and insert screen (precoated with ceramic fiber if extremely fine materials are being analyzed) into beaker, keeping face of screen just under surface of liquid until all liquid is removed. Without breaking suction or raising filter, add 50–75 mL boiling H_2O . (Work rapidly to keep mat from becoming dry.) Remove filter from beaker and drain all H_2O from line by raising above trap level. Return mat and residue to beaker by breaking suction and blowing back. Add 200 mL boiling 1.25% NaOH, B(b), and boil exactly 30 min. Remove beaker.

(3) Extremely fine materials only. Skip to step (4) if no filter precoating is necessary. Precoat the filter screen using the second beaker of ceramic mixture as described in E(a)(1).

(4) Filter as in E(a)(2). Without breaking suction, wash with 25 mL boiling 1.25% H_2SO_4 , B(a), and three 50 mL portions boiling H_2O . Drain free of excess H_2O by raising filter. Lower filter into beaker and wash with 25 mL alcohol. Drain line, break suction, and remove mat by blowing back through filter screen into ashing dish. Proceed as in E(c).

(b) *Using California Büchner.*—(1) Extremely fine materials only. Skip to step (2) if no filter precoating is necessary. Precoat the filter screen as follows: Attach California Büchner to vacuum flask. Funnel must be level. Do not turn on vacuum. (Note: California Büchner may be held level above vacuum flask if vacuum cannot be turned off.) Mix well the 60–75 mL 1.25% sulfuric acid and 1.5 g ceramic fiber mixture previously prepared. Pour ceramic fiber/acid slurry into California Büchner. Allow to settle 5–10 s. Turn on minimum vacuum, just sufficient to form ceramic fiber “pad.”

(2) Transfer contents of beaker to a level Büchner under no vacuum (precoated with ceramic fiber if extremely fine materials are being analyzed). Let residues and ceramic fiber settle for 5–10 s and then apply vacuum. Rinse beaker with 50–75 mL boiling H_2O , and wash through Büchner. Repeat with three 50 mL portions H_2O , and suck dry. Remove mat and residue by snapping bottom of Büchner against white top while covering stem with thumb or forefinger and replace in beaker. Add 200 mL boiling 1.25% NaOH, B(b), and boil exactly 30 min. Remove beaker.

(3) Extremely fine materials only. Skip to step (4) if no filter precoating is necessary. Precoat the filter screen using the second beaker of ceramic mixture as described in E(b)(1).

(4) Filter as in E(b)(2). Wash with 25 mL boiling 1.25% H_2SO_4 , B(a), three 50 mL portions H_2O , and 25 mL alcohol. Remove mat and residue; transfer to ashing dish.

(c) *Treatment of residue.*—Dry mat and residue 2 h at $130^\circ \pm 2^\circ C$. Cool in desiccator and weigh (W_2). Ignite 30 min at $600^\circ \pm 15^\circ C$. Cool in desiccator and reweigh (W_3).

$$\begin{aligned} & \text{Crude fiber in ground test portion, \%} = C \\ & = (\text{loss in weight on ignition} - \text{loss in weight of ceramic fiber blank}) \\ & \quad \times 100 / \text{weight test portion} \\ & = [(W_2 - W_3) + (B_2 - B_3)] / W_1 \times 100 \end{aligned}$$

ANEXO 2.

FICHA TÉCNICA CARACTERIZACIÓN BAGAZO DE MALTA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		INFORMACIÓN DE RECEPCIÓN	
LUGAR DE RECOGIDA: (Λ)	PLANTA PRODUCCIÓN	I.D. MUESTRA:	22-4576
FECHA FABRICACIÓN (Λ)	29/03/2022	ODS:	22-2901
FECHA VENCIMIENTO (Λ)	31/03/2022	FECHA DE MUESTREO: (Λ)	29/03/2022
LOTE (Λ)	1	FECHA DE RECEPCIÓN:	30/03/2022
ESTADO: (Λ)	PROCESADO	MUESTRA T (º C): (Λ)	74
TIPO DE EMPAQUE: (Λ)	BOLSA ESTÉRIL	RESPONSABLE MUESTREO:	CLIENTE
TIPO DE MUESTRA: (Λ)	MATERIAS PRIMAS	RECEPCIÓN T (º C):	18
PRODUCTO: (Λ)	BAGAZO DE MALTA PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA CERVECERA	CANTIDAD (g/mL):	500g
RESPONSABLE PROCESO CLIENTE: (Λ)	N.E	OBSERVACIONES: (Λ)	MUESTRA TOMADA POR EL CLIENTE

FECHA DE ANÁLISIS (dd/mm/yyyy)	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	INCERTIDUMBRE	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	NO SE COMPARA CONTRA NINGUNA NORMA	CONFORMIDAD
12/04/2022	Fibra Cruda / Crude Fiber	12,9	g/100g	0,942	0,500	Digestión Química-Gravimétrico	AOAC 962.09	N.E	NO APLICA
12/04/2022	Fibra Detergente Neutro(Hemicelulosa, Celulosa y Lignina) / Neutral Detergent Fiber	63,6	%	4,66	0,500	Reflujo Cerrado	AOAC 2002.04	N.E	NO APLICA
12/04/2022	Fibra en Detergente ácido (Celulosa y Lignina) / Detergent Fiber	12,8	%	0,940	0,500	Gravimetría	AOAC 973.18	N.E	NO APLICA
12/04/2022	Fibra Ácida (Lignina)	7,32	%	0,550	0,500	Sulfuric Acid Lignin	AOAC 973.18	N.E	NO APLICA

ANEXO 3.

ANOVA CON FACTORES SIGNIFICATIVOS Y NO SIGNIFICATIVOS

BLOQUE	Tiempo residencia en plancha	Concentración hidróxido de sodio	Peso seco de celulosa
	min	% p/v	g
Entero	N Numérico	N Numérico	N Numérico
1	40.0	15.0	1.01
1	50.0	10.0	0.69
1	30.0	10.0	1.13
1	50.0	15.0	0.38
1	30.0	5.0	1.18
1	50.0	5.0	1.25
1	40.0	10.0	1.37
2	40.0	15.0	1.12
2	40.0	10.0	1.29
2	50.0	10.0	0.55
2	50.0	15.0	0.32
2	30.0	5.0	1.19
2	50.0	5.0	1.31
2	40.0	5.0	1.45
2	30.0	10.0	1.15
2	30.0	15.0	0.87

Asistente de Diseño de Experimentos

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Destino	Impacto	Sensibilidad
Peso seco de celulosa	g	Media	Maximizar		3.0	Medio

Nombre	Bajo	Alto
Peso seco de celulosa	0.0	12.0

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto
A:Tiempo residencia en plancha	min	Continuo	Controlable	30.0	50.0
B:Concentración hidróxido de sodio	% p/v	Continuo	Controlable	5.0	15.0

Nombre	Niveles
A:Tiempo residencia en plancha	
B:Concentración hidróxido de sodio	

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of Factores	Diseño Tipo	Puntos Centrales Por Bloque	Punto Central Colocación	Diseño es Aleatorizado
Proceso	Factorial multinivel	0	Aleatorio	Sí

Tipo of Factores	Número de Replicaciones	Total Ejecuciones	Total Bloques	Error D.F.
Proceso	1	18	2	11

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

Factores	Modelo	Coeficientes	Efectos excluidos
Proceso	cuadrático	7	

Paso 8: Analizar los resultados del experimento

Modelo	Peso seco de celulosa
Transformación	ninguno
Modelo d.f.	5
P-valor	0.0000
Error d.f.	11
Std. error	0.105748
R-cuadrado	94.09
Adj. R-cuadrado	90.87

Paso 9: Optimizar las respuestas

Valores de respuesta y Óptimo

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95.0% Limite
Peso seco de celulosa	si	1.56056	1.43789

Respuesta	Superior 95.0% Limite	Deseabilidad
Peso seco de celulosa	1.68323	0.130046

Factores establecidos y Óptimo

Factor	Establecimiento
Tiempo residencia en plancha	40.0
Concentración hidróxido de sodio	5.0

Tabla ANOVA

Origen	D.F.
Bloques	1
Modelo	5
Error total	11
Falta de ajuste	11
Error puro	0
Total (corr.)	17

Efectos estimados para Peso seco de celulosa (g)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	1.28056	0.0557342	
A:Tiempo residencia en plancha	-0.321667	0.0610538	1.0
B:Concentración hidróxido de sodio	-0.541667	0.0610538	1.0
AA	-0.751667	0.105748	1.0
AB	-0.3175	0.0747753	1.0
BB	0.0183333	0.105748	1.0
bloque	-0.0166667	0.0498502	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

Análisis de Varianza para Peso seco de celulosa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo residencia en plancha	0.310408	1	0.310408	27.76	0.0003
B:Concentración hidróxido de sodio	0.880208	1	0.880208	78.71	0.0000
AA	0.565003	1	0.565003	50.52	0.0000
AB	0.201612	1	0.201612	18.03	0.0014
BB	0.000336111	1	0.000336111	0.03	0.8655
bloques	0.00125	1	0.00125	0.11	0.7444
Error total	0.12301	11	0.0111827		
Total (corr.)	2.08183	17			

R-cuadrada = 94.0913 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 90.8683 por ciento
PRESS = 0.317811
R-cuadrado (predicho) = 84.7341 por ciento
Error estándar del est. = 0.105748
Error absoluto medio = 0.0685031
Estadístico Durbin-Watson = 2.0896 (P=0.4248)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.105808

Valor óptimo

Predicción	Inferior 95.0% Limite	Superior 95.0% Limite
1.56056	1.43789	1.68323

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo residencia en plancha	30.0	50.0	39.9726
Concentración hidróxido de sodio	5.0	15.0	5.0

ANEXO 4.

ANOVA CON FACTORES ÚNICAMENTE SIGNIFICATIVOS

BLOQUE	Tiempo residencia	Concentración	Peso seco de
	min	% p/v	g
Entero	Númérico	Númérico	Númérico
1	40.0	15.0	1.01
1	40.0	5.0	1.48
1	50.0	10.0	0.69
1	30.0	10.0	1.13
1	30.0	15.0	0.91
1	50.0	15.0	0.38
1	30.0	5.0	1.18
1	40.0	10.0	1.37
1	50.0	5.0	1.25
2	40.0	5.0	1.45
2	30.0	15.0	0.87
2	30.0	10.0	1.15
2	50.0	15.0	0.32
2	50.0	10.0	0.55
2	30.0	5.0	1.19
2	40.0	15.0	1.12
2	40.0	10.0	1.29
2	50.0	5.0	1.31

Asistente de Diseño de Experimentos

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Destino	Impacto	Sensibilidad
Peso seco de celulosa	g	Media	Maximizar		3.0	Medio

Nombre	Bajo	Alto
Peso seco de celulosa	0.0	12.0

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto
A:Tiempo residencia en plancha	min	Continuo	Controlable	30.0	50.0
B:Concentración hidróxido de sodio	% p/v	Continuo	Controlable	5.0	15.0

Nombre	Niveles
A:Tiempo residencia en plancha	
B:Concentración hidróxido de sodio	

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of Factores	Diseño Tipo	Puntos Centrales Por Bloque	Punto Central Colocación	Diseño es Aleatorizado
Proceso	Factorial multinivel	0	Aleatorio	Sí

Tipo of Factores	Número de Replicaciones	Total Ejecuciones	Total Bloques	Error D.F.
Proceso	1	18	2	11

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

Factores	Modelo	Coefficientes	Efectos excluidos
Proceso	cuadrático	6	BB

Paso 8: Analizar los resultados del experimento

Modelo	Peso seco de celulosa
Transformación	ninguno
Modelo d.f.	5
P-valor	0.0000
Error d.f.	11
Std. Error	0.105748
R-cuadrado	94.09
Adj. R-cuadrado	90.87

Paso 9: Optimizar las respuestas

Valores de respuesta y Óptimo

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95.0% Limite
Peso seco de celulosa	si	1.56056	1.43789

Respuesta	Superior 95.0% Limite	Deseabilidad
Peso seco de celulosa	1.68323	0.130046

Factores establecidos y Óptimo

Factor	Establecimiento
Tiempo residencia en plancha	40.0
Concentración hidróxido de sodio	5.0

Tabla ANOVA

Origen	D.F.
Bloques	1
Modelo	4
Error total	12
Falta de ajuste	12
Error puro	0
Total (corr.)	17

Efectos estimados para Pulpa seca de celulosa (g)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	1.28667	0.0413901	
A:Tiempo residencia en plancha	-0.321667	0.0585344	1.0
B:Concentración hidróxido de sodio	-0.541667	0.0585344	1.0
AA	-0.751667	0.101385	1.0
AB	-0.3175	0.0716897	1.0
bloque	-0.0166667	0.0477931	1.0

Errores estándar basados en el error total con 12 g.l.

Análisis de Varianza para Pulpa seca de celulosa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo residencia en plancha	0.310408	1	0.310408	30.20	0.0001
B:Concentración hidróxido de sodio	0.880208	1	0.880208	85.63	0.0000
AA	0.565003	1	0.565003	54.97	0.0000
AB	0.201612	1	0.201612	19.61	0.0008
bloques	0.00125	1	0.00125	0.12	0.7333
Error total	0.123346	12	0.0102788		
Total (corr.)	2.08183	17			

R-cuadrada = **94.0751** por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = **91.6064** por ciento
PRESS = 0.268205
R-cuadrado (predicho) = 87.1168 por ciento
Error estándar del est. = **0.101385**
Error absoluto medio = **0.0678241**
Estadístico Durbin-Watson = 1.89522 (P=0.2955)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0264641

ANEXO 5.

FICHA TÉCNICA POTENCIÓMETRO



INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S.
INSTRUMENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA
www.industriasasociadas.com

Medidor Económico de pH/ Conductividad para Laboratorio Serie 700



APERA
INSTRUMENTS

Medición de pH y Conductividad

- Equipado con electrodo combinado de pH de larga duración 3 en 1 y electrodo combinado de conductividad, midiendo temperatura simultáneamente
- Reconoce automáticamente 5 tipos de soluciones estándar de pH y 8 tipos de soluciones estándar de conductividad
- Incluye un sostenedor portátil de electrodo y soluciones estándar premezcladas

Desempeño Confiable

- Electrodo durables de pH y conductividad de alta calidad, que proveen alta precisión en un amplio rango de medición
- Avanzada tecnología de procesamiento digital que mejora el tiempo de respuesta y la precisión de las mediciones
- Resistencia a salpicaduras y polvo IP54

Funciones Inteligentes

- Modo de calibración automática multi-punto con reconocimiento automático de amortiguadores, guía de calibración y verificación automática
- Compensación automática de temperatura
- 50 grupos de almacenamiento de datos
- Modos de medición Máx./Mín, mostrando alternativamente mediciones para máximos y mínimos



INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S.
 INSTRUMENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA
www.industriasasociadas.com

APERA
 INSTRUMENTS



Parámetro	Especificaciones técnicas		Modelo	
pH	Rango de medición	pH 0 a 14.00	PH700	
	Resolución	0.1/0.01 pH		
	Precisión	±0.01 pH ±1 dígito		
	Estabilidad	±0.01 pH ±1 dígito/3 Hrs		
	Calibración	1 a 3 puntos de calibración automática		
	Compensación de temp.	0 a 100°C (32 a 212°F) Automática o Manual		
mV	Rango de medición	±999 mV	PH700	
	Resolución	1 mV		
	Precisión	±0.1% F.S. ±1 dígito		
Conductividad	Rango de medición	Conductividad	0.01 a 1999 µS/cm	EC700
		Resolución	0.01/0.1 µS/cm	
	Precisión	±1% F.S. ±1 dígito		
	Compensación de temp.	0 a 50°C (32 a 122°F) Automática o Manual		
	Temperatura base	25°C (77°F)		
	Coefficiente de temperatura	0.00 a 9.99%/°C, por defecto 2.00%/°C		
	Constante del electrodo	0.1 / 1 / 10		
	Calibración	1 a 4 puntos de calibración automática		
Temperatura	Rango de medición	0 a 100.0°C (32.0 a 212°F)	PH700 EC700	
	Resolución	0.1°C, 0.1/1°F		
	Precisión	±0.5°C ±1 dígito		
Otros	Almacenamiento de datos	50 grupos	PH700 EC700	
	Contenido	Manual, medidor, cables, temperatura, y método de compensación de temp.		
	Fuente de energía	DCW/300mA		
	Calificación IP	Resistente a salpicaduras y polvo IP54		
	Dimensiones y peso	240-225-100 mm / 1kg		

ANEXO 6.

FICHA TÉCNICA HORNO BINDER FP 53

Hoja de especificaciones Modelo FP 53



Modelo FP 53 | Cámaras de calor y de secado con convección forzada y funciones de programa

Las cámaras de prueba de materiales de la serie FP de BINDER garantizan tiempos de secado cortos y un calentamiento especialmente rápido, incluso cuando las cámaras están cargadas completamente.

VENTAJAS

- Temperatura homogénea gracias a la cámara de precalentamiento APT.line™
- Condiciones estables de prueba en el espacio útil, independientemente del tamaño y la cantidad de la muestra
- Su excepcional aislamiento térmico permite reducir los costes operativos
- Amplias opciones de programación



Modelo 53

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

- Rango de temperatura: desde 5 °C por encima de la temperatura ambiente hasta 300 °C
- Tecnología de cámara de precalentamiento APT.line™
- Velocidad del ventilador ajustable
- Rejilla de aire regulable
- Controlador con programación de períodos y en tiempo real
- 2 rejillas cromadas
- Dispositivo de seguridad de temperatura con ajuste independiente de clase 2 (DIN 12880) y alarma óptica
- Interfaz de ordenador: RS 422

INFORMACIÓN DE PEDIDOS

Volumen interior [L]	Tensión nominal	Modelo	Variante del modelo	N.º de art.
53	230 V 1~ 50/60 Hz	Estándar	FP53-230V	9010-0153
	120 V 1~ 60 Hz	Estándar	FP53UL-120V	9010-0175

DATOS TÉCNICOS

Descripción	FP053-230V ¹	FP053UL-120V ¹
Número de artículo	9010-0153	9010-0175
Datos técnicos temperatura		
Rango de temperatura +5 °C por encima de la temperatura ambiente hasta [°C]	300	300
Desviación de temperatura ambiente a 150 °C [x K]	2	2
Fluctuación de la temperatura a 150 °C [x K]	0,3	0,3
Tiempo de calentamiento a 150 °C [min]	24	24
Tiempo de recuperación tras 30 s con la puerta abierta a 150 °C [min]	5	5
Datos de intercambio de aire		
Tasa de intercambio de aire a 150 °C [x/h]	64	64
Datos eléctricos		
Tensión nominal [V]	230	120
Frecuencia de red [Hz]	50/60	60
Potencia nominal [kW]	1,2	1,2
Fusible del equipo [A]	10	16
Fase (tensión nominal)	1~	1~
Dimensiones		
Volumen interior [L]	53	53
Peso neto del equipo (vacío) [kg]	44	44
Carga total máxima [kg]	40	40
Carga máxima por bandeja [kg]	15	15
Distancia a la pared trasera [mm]	160	160
Distancia a la pared lateral [mm]	100	100
Dimensiones interiores		
Anchura [mm]	400	400
Altura [mm]	400	400
Fondo [mm]	340	340
Dimensiones exteriores sin componentes y conexiones		
Anchura neto [mm]	635	635
Altura neto [mm]	620	620
Fondo neto [mm]	575	575
Datos de relevancia medioambiental		
Consumo energético a 150 °C [Wh/h]	300	300
Estructuras		
Cantidad de bandejas (est./máx.)	2/5	2/5

¹ Todos los datos técnicos son válidos exclusivamente para equipos sin carga con equipamiento estándar a una temperatura ambiente de 22 ± 3 °C y una fluctuación de la tensión de red del $\pm 10\%$. Los datos de temperatura se han calculado según el estándar de fábrica BINDER y de conformidad con la norma DIN 12880:2007, basándose en las distancias recomendadas a la pared del 10% de la altura, la anchura y el fondo de la cámara interior. Todos los datos corresponden a los valores medios de equipos de serie. Los datos técnicos hacen referencia al 100% de las revoluciones del ventilador. Nos reservamos el derecho a realizar modificaciones técnicas.