



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE PAPEL ECOLÓGICO A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE
GANADO VACUNO EN LA PARROQUIA DURENO DEL CANTÓN
LAGO AGRIO”**

Trabajo de titulación
Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: LADY DANIELA MORA ROBLES

DIRECTOR: Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Lady Daniela Mora Robles

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

Yo, LADY DANIELA MORA ROBLES, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 02 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lady Daniela Mora Roles', with several horizontal lines drawn through it.

Lady Daniela Mora Roles
210092927-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO EN LA PARROQUIA DURENO DEL CANTÓN LAGO AGRIO**, realizado por la señorita: **LADY DANIELA MORA ROBLES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA	2021-09-02
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MARCO RAUL CHUIZA	2021-09-02
Ing. Marlene Jacqueline García Veloz, Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MARLENE JACQUELINE GARCIA VELOZ	2021-09-02

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado primero a Dios que ha permitido que llegue a culminar otra etapa de mi formación. A mis padres que han sido el pilar fundamental, porque creyeron en mi cuando iniciaba este camino con sus ejemplos de superación y entrega siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles que se presentaron en la carrera es lo que me hizo llegar hasta el final, esto va por ustedes. A mi hermana gracias por fomentar el deseo de superación y el anhelo de triunfar en lo que me proponga, a mis técnicas de laboratorio Carla Haro y Yolanda Buenaño ni mil palabras bastarían para agradecerles su apoyo, paciencia y predisposición para guiarme con sus aportes para el correcto desarrollo de este trabajo. A mis amigos con los que inicié y termino hoy este caminar por todos esos momentos compartidos. A mi familia y todas las personas que han sumado un granito de arena en esta meta.

Lady Daniela

AGRADECIMIENTO

A Dios, que ha permitido que llegue a culminar otra etapa de mi formación académica, cuando inicié me parecía que este día no iba a llegar. A mis padres Carlos - Paquita y mi hermana Yessi, mi agradecimiento de todo corazón por el apoyo incondicional, su amor, cariño y comprensión que siempre me brindaron, ustedes son las personas más importantes de mi vida; los quiero mucho.

A Carla Haro y Yolanda Buenaño por permitirme desarrollar mis ensayos para la obtención del papel en sus laboratorios, gracias por guiarme y brindarme su apoyo en todo momento aclarando mis dudas en el desarrollo y culminación de este proyecto.

Un agradecimiento profundo al Ing. Marco Chuiza e Ing. Marlene García por su apoyo y tiempo brindado, con su experiencia profesional han permitido encaminar en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

A mi querida ESPOCH que fue mi casa, en la que me formé académicamente; en especial, a la carrera de Ingeniería Química y personal docente por instruirme no solo con conocimientos sino también de experiencia y valores para ser un profesional con ética y responsabilidad comprometido con el desarrollo y progreso de la sociedad.

A mis amigos de infancia y a los que conocí a lo largo de la carrera, quienes compartieron esta experiencia.

Lady Daniela

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii	
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii	
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv	
ÍNDICE ABREVIATURAS.....	xv	
RESUMEN	xviii	
ABSTRACT.....	xix	
CAPÍTULO I		
1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	1
1.1	Identificación del problema	1
1.2	Justificación del proyecto.....	2
1.3	Línea base del proyecto.....	2
<i>1.3.1</i>	<i>Diagnóstico</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Propuesto de cambio.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3</i>	<i>Variables de logro.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.4</i>	<i>Beneficiarios directos e indirectos.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.4.1</i>	<i>Beneficiarios directos</i>	<i>3</i>
<i>1.3.4.2</i>	<i>Beneficiarios indirectos.....</i>	<i>3</i>
1.4	Objetivos	4
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivo específico</i>	<i>4</i>
1.5	Localización del proyecto.....	5
CAPÍTULO II		
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1	Ganadería.....	6
2.2	Estiércol.....	6
<i>2.2.1</i>	<i>Estiércol bovino</i>	<i>6</i>
2.3	Impactos ambientales del estiércol	7
<i>2.3.1</i>	<i>Suelo</i>	<i>7</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Agua.....</i>	<i>8</i>

2.3.3	<i>Aire</i>	8
2.4	Fibra	8
2.4.1	<i>Celulosa</i>	9
2.4.2	<i>Tipos de celulosa</i>	9
2.4.3	<i>Características biométricas de la celulosa</i>	9
2.4.4	<i>Lignina</i>	9
2.5	Papel	10
2.5.1	<i>Papel en Ecuador</i>	10
2.5.2	<i>Fuentes de la materia del papel</i>	10
2.5.3	<i>Proceso de obtención de pulpa de papel</i>	11
2.5.4	<i>Acondicionamiento de la materia prima</i>	11
2.5.5	<i>Pulpa mecánica</i>	11
2.5.6	<i>Pulpa termo mecánica</i>	12
2.5.7	<i>Prensado y secado</i>	12
2.5.8	<i>Control de calidad del papel</i>	12
2.6	Tipo de estudio	13
2.6.1	<i>Métodos</i>	13
2.6.1.1	<i>Método Deductivo</i>	13
2.6.1.2	<i>Método Experimental</i>	14
CAPÍTULO III		
3	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1	Técnicas	15
3.2	Procedimiento a escala de laboratorio e identificación de variables	15
3.2.1	<i>Recepción de la materia prima</i>	15
3.2.2	<i>Esterilizado</i>	16
3.2.3	<i>Secado de la materia prima</i>	16
3.2.4	<i>Despulpado con sosa cáustica</i>	20
3.2.5	<i>Licor negro</i>	21
3.2.6	<i>Blanqueo</i>	21
3.2.7	<i>Elaboración de la mezcla</i>	22

3.2.8	<i>Formulación de la hoja</i>	23
3.2.9	<i>Prensado y secado</i>	23
3.2.10	<i>Propiedades biométricas del papel</i>	24
3.3	Diagrama de flujo para la obtención de papel	28
3.4	Diseño de ingenieril del proceso	29
3.4.1	<i>Balances de masa y energía</i>	29
3.4.1.1	<i>Balance de masa</i>	29
3.4.1.2	<i>Balance de energía</i>	33
3.4.2	<i>Diseño de equipos</i>	40
3.4.3	<i>Estimación del presupuesto</i>	59
CAPÍTULO IV		
4	RESULTADOS	63
4.1	Caracterización de la materia prima	63
4.1.1	<i>Análisis bromatológicos</i>	63
4.1.2	<i>Análisis microbiológicos</i>	64
4.2	Rendimiento de la pulpa	64
4.3	Determinación de lignina y celulosa en la pulpa	65
4.4	Caracterización de la pulpa de papel	66
4.5	Microscopia electrónica de barrido SEM	68
4.6	Blancura del papel	69
4.7	Pruebas de tracción calidad del papel	71
4.8	Resultados del diseño	72
CONCLUSIONES		74
RECOMENDACIONES		75
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2.	Composición de algunos tipos de fibra	8
Tabla 2-2.	Tipos de celulosa	9
Tabla 1-3.	Análisis realizados en el proyecto.....	15
Tabla 2-3.	Datos Experimentales del proceso de secado.....	16
Tabla 3-3.	Condiciones de Trabajo	16
Tabla 4-3.	Datos adicionales del equipo	17
Tabla 5-3.	Datos para el cálculo del rendimiento de despulpado	20
Tabla 6-3.	Datos para el rendimiento de despulpado	20
Tabla 7-3.	Datos de la sosa residual.....	21
Tabla 8-3.	Datos del proceso de blanqueado de la pulpa	21
Tabla 9-3.	Datos para la consistencia de la pulpa	22
Tabla 10-3.	Datos del tiempo de formación de la hoja.....	23
Tabla 11-3.	Datos de la formación de la hoja	23
Tabla 12-3.	Datos biométricos del papel.....	24
Tabla 13-3.	Clasificación de las fibras según el coeficiente de flexibilidad.....	24
Tabla 14-3.	Clasificación de las fibras según el factor de Runkel.....	26
Tabla 15-3.	Hojas de papel	26
Tabla 16-3.	Dimensiones para el volumen de la mesa de lavado y selección.....	40
Tabla 17-3.	Datos para la capacidad de la mesa.....	41
Tabla 18-3.	Datos para calcular el volumen del tanque de esterilizado.....	42
Tabla 19-3.	Datos para la altura del tanque de esterilizado	43
Tabla 20-3.	Datos para calcular el volumen del tanque del despulpado.....	44
Tabla 21-3.	Datos para la altura del tanque de despulpado	45
Tabla 22-3.	Datos para calcular el volumen del tanque de blanqueado.....	46
Tabla 23-3.	Datos para la altura del tanque.....	47
Tabla 24-3.	Datos para el soporte	48
Tabla 25-3.	Flujos y temperaturas de proceso de secado	49
Tabla 26-3.	Dimensiones del equipo.....	49
Tabla 27-3.	Datos adicionales para la transferencia de calor	49
Tabla 28-3.	Datos para calcular el volumen del agitador.....	53
Tabla 29-3.	Datos para la altura del tanque.....	54
Tabla 30-3.	Semejanzas geométricas impulsor tipo hélice.....	55

Tabla 31-3.	Dimensiones de los bastidores	59
Tabla 32-3.	Dimensiones para la tina.....	59
Tabla 33-3.	Costo de insumos materia prima y reactivos producción semanal	60
Tabla 34-3.	Recursos humanos	60
Tabla 35-3.	Equipos y maquinarias.....	60
Tabla 36-3.	Insumos Eléctricos.....	60
Tabla 37-3.	Análisis de laboratorio	61
Tabla 38-3.	Presupuesto implementación del proyecto.....	61
Tabla 39-3.	Presupuesto de producción	61
Tabla 40-3.	Costo de producción por paquete (10hojas - A4).....	61
Tabla 1-4.	Análisis bromatológicos	63
Tabla 2-4.	Análisis microbiológicos	64
Tabla 3-4.	Resultados del rendimiento de la pulpa	64
Tabla 4-4.	Simbología de tratamientos de despulpado.....	65
Tabla 5-4.	Resultados del porcentaje de lignina y celulosa en la pulpa de estiércol.....	65
Tabla 6-4.	Wavernumber vs %T	67
Tabla 7-4.	Propiedades biométricas del papel de estiércol.....	68
Tabla 8-4.	Índice de calidad de la fibra del estiércol.....	68
Tabla 9-4.	Índice de Blancura	69
Tabla 10-4.	Resultados de la calidad del papel	71
Tabla 11-4.	Resumen del diseño	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Macro localización del proyecto.....	5
Figura 1-3.	Diagrama de proceso de la fabricación de papel.....	28
Figura 2-3.	Sistema de agitación del tipo hélice.....	55
Figura 1-4.	SEM del papel	68
Figura 2-4.	Gráfica CIE LAB muestra a ₁	70
Figura 3-4.	Gráfica CIE LAB muestra a ₂	71
Figura 4-4.	Gráfica CIE LAB muestra a ₃	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.	Curva de secado.....	17
Gráfico 2-3.	Curva de Humedad media & 1/W.....	19
Gráfico 3-3.	Número de Potencia N_p vs NRe	58
Gráfico 1-4.	Espectro IR de muestra tratada con NaOH al 10% m/m.....	66
Gráfico 2-4.	FTIR muestra-1 pulpa de estiércol.....	67
Gráfico 3-4.	Gráfica CIE LAB.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** Caracterización de la materia prima
- ANEXO B.** Análisis microbiológico
- ANEXO C.** Análisis bromatológico
- ANEXO D.** Elaboración del papel
- ANEXO E.** Tratamiento de la pulpa
- ANEXO F.** Formación del papel
- ANEXO G.** Papel
- ANEXO H.** Pruebas al papel
- ANEXO I.** Tablas termodinámicas agua saturada (temperaturas)
- ANEXO J.** Tablas termodinámicas de agua saturada (presiones)
- ANEXO K.** Norma Tappi T 205 sp-02 Formación de las hojas de papel
- ANEXO L.** Norma Tappi T 203 cm-09 Determinación de la celulosa
- ANEXO M.** NTE INEN1399:2013 Papeles Y Cartones. Determinación Del Espesor
- ANEXO N.** NTE INEN 1423:2013 Papeles Y Cartones. Determinación De La Blancura
- ANEXO O.** NTE INEN 1405:2013 Papeles Y Cartones. Determinación De La Resistencia A La Ruptura Por Tracción
- ANEXO P.** Resultados de la prueba de tracción del papel
- ANEXO Q.** Equipos
- ANEXO R.** Prensa

ÍNDICE ABREVIATURAS

W_a	Agua entrada
W_e	Agua evaporada
W_s	Agua salida
h_o	Altura de la mesa
h_T	Altura del tanque
W	Ancho de aspás
a	Ancho del bastidor
f	Ancho placa
A	Área de transferencia
A_T	Área total bajo la curva
ASPAPEL	Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón
$Ca(HSO_3)_2$	Bisulfito de calcio
Q_v	Calor de evaporación
Q_E	Calor necesario de elaboración del agua
Q_{sist}	Calor del sistema
Q_v	Calor latente
q	Calor que desprende el sistema
Q_R	Calor requerido
Q	Calor cedido
Q_s	Calor sensible
Q_{su}	Calor suministrado
Q_T	Calor total del proceso
C_p	Capacidad calorífica del Estiércol
k	Coefficiente de conducción
h	Coefficiente de convección
CF	Coefficiente de flexibilidad
P	Coefficiente de Petri
CR	Coefficiente de rigidez
U	Coefficiente global de transferencia de calor
CFN	Corporación Financiera Nacional
ρ	Densidad
\emptyset	Diámetro
D	Diámetro de la fibra
μ	Diámetro de lumen
D_a	Diámetro del impulsor
D_t	Diámetro del tanque
SO_2	Dióxido de azufre
CO_2	Dióxido de carbono
h_f	Entalpía de líquido saturado
h_v	Entalpía de evaporación
f	Espacio entre placa y estanque
ep	Espesor
A	Estiércol húmedo
B	Estiércol seco

FR	Factor de Runkel
GEI	Gases de efecto invernadero
°C	Grados Celsius
°K	Grados Kelvin
NaOH	Hidróxido de sodio
G	Hoja húmeda de papel
H	Hoja de papel seca
X_c	Humedad crítica
X	Humedad en base seca
\bar{X}	Humedad media
kg	Kilogramo
g	Largo de aspa
b	Largo del bastidor
L	Longitud de la fibra
L_b	Longitud del brazo
CH₄	Metano
F	Mezcla homogénea
mL	Mililitro
S	Muestra seca
N_p	Número de ponencia
R_e	Número de Reynolds
FAO	Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura
Pm	Peso neto de la muestra
P_A	Potencia
PIB	Producto interno bruto
D	Pulpa blanqueada
E	Pulpa blanqueada lava para una hoja
C	Pulpa extraída
r	Radio
q_x	Rapidez de transferencia de calor
R₂	Resistencia de conducción
R₁	Resistencia de convección
SI	Sistema internacional
W_d	Solución de hipoclorito de sodio
MgSO₃	Sulfito de magnesio
SCA	Svenska Cellulosa Aktiebolaget
T₀	Temperatura ambiente
T_i	Temperatura de secado
Θ_a	Tiempo anticrítico
Θ	Tiempo de secado
Θ_p	Tiempo poscrítico
Θ_T	Tiempo total de secado
UFC	Unidades formadoras de colonias
Δ X	Variación de la humedad
ΔE	Variación de reflectancia
ΔT	Variación del tiempo
ΔΘ	Variación del tiempo de secado

W	Velocidad de secado
V_R	Volumen del recipiente
V_T	Volumen del tanque

RESUMEN

El objetivo fue diseñar un proceso industrial para la obtención de papel ecológico utilizando como materia prima el estiércol de ganado vacuno en la parroquia Dureno del cantón Lago Agrio, para lo cual se obtuvo el papel a nivel de laboratorio que permitió la manipulación de las variables de proceso; el proceso de fabricación de papel inicia con la esterilización del estiércol con 4 horas de cocción a 150°C e ingresa a una estufa de secado por 7;23 horas de secado a 105°C, en el despulpado las concentraciones de hidróxido de sodios variaron entre el 10, 15 y 20% en relación al flujo de entrada de 0.258kg de estiércol y se trabajó a 150°C con variación de tiempo de exposición de 3h, 4h, y 5h; la pulpa extraída es blanqueada con hipoclorito de sodio al 10% en una relación 2:1 con respecto al volumen del agua empleada a una temperatura de 65°C por 45 minutos, una vez formada la hoja de papel se prensa para eliminar el exceso de agua a 441kPa en dos secciones la primera por 5 minutos y la segunda de 2 minutos y se deja secar por 72 horas a temperatura ambiente en ausencia de luz, las láminas tienen las características de espesor 0.11mm, anchura 15.00mm, longitud de rotura 180mm, carga máxima 89.27mm, resistencia a la ruptura 5.95kN/m, alargamiento a la rotura 3.32%. El tratamiento óptimo es el a₁ con un rendimiento del 69.82% esto por tener menor concentración de hidróxido y el tiempo de exposición mínimo.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <ESTIÉRCOL>, <ESTERILIZADO>, <LIGNINA>, <CELULOSA>, <DESPULPADO>, <BLANQUEADO>, <PAPEL>, <PRUEBAS DE TRACCIÓN>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.05.04 10:07:18
-05'00'



1091-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this research is to design an industrial process for obtaining ecological paper using cattle manure as a raw material in Durenó Parish in Lago Agrio Canton. For this, the paper was obtained at the laboratory level that allowed the manipulation of the process variables. The papermaking process begins with the sterilization of manure with 4 hours of cooking at 150 °C, in pulping, sodium hydroxide concentrations varied between 10, 15 and 20% in relation to the input flow 0.258kg of manure and worked at 150 ° C with a variation of exposure time of 3h, 4h, and 5h; the extracted pulp is bleached with 10% sodium hypochlorite in a 2:1 ratio with respect to the volume of water used at a temperature of 65°C for 45 minutes, once the sheet of paper is formed it is pressed to remove excess water at 441kPa, in two sections the first for 5 minutes and the second of 2 minutes and allowed to dry for 72 hours at room temperature in the absence of light. The sheets have the characteristics of thickness 0.11mm, width 15.00mm, break length 180mm, maximum load 89.27mm, breaking resistance 5.95kN/m, breaking strength 5.95kN / m, elongation at break 3.32%. The optimal treatment is a1 with a yield of 69.82% this for having lower concentration of hydroxide and the minimum exposure time.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <MANURE>, <STERILIZED>, <LIGNIN>, <CELLULOSE>, <SPULPED>, <BLACHED>, <TRACTION TESTS>,

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Diversos datos revelan que el sector ganadero es uno de los más grandes y es el encargado de la producción de proteína y la seguridad alimentaria a nivel mundial y consume según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2010) “anualmente 6000 millones de toneladas de alimento fibroso donde el 52% de la ingesta total son especies rumiantes”. El estiércol que se genera es abundante mismo que origina metano, lo que está causando impactos negativos al medio ambiente por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que se liberan directamente a la atmósfera donde el ganado vacuno es el mayor emisor con alrededor del 62% de todas las emisiones.

Actualmente, en la Parroquia Dureno del cantón Lago Agrio no se da una utilidad al estiércol ni como biogás o compost y debido a la falta de conocimiento de las herramientas tecnológicas los índices de contaminación son altos no solo contaminan el aire por la emisiones de gases contaminantes, también causan la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y la eutrofización de los cuerpos hídricos ocasionado por las excretas del ganado, un vacuno joven excreta unas alrededor de 48kg al día donde el cerca del 40 a 60% es fibra y se volatiliza 50% dañando el ambiente y afecta también la salud de las personas de la parroquia. Aunque las enfermedades humanas provocadas por el estiércol no son muy frecuentes la más común es *Escherichia coli* que causa diarrea y gases abdominales, estos problemas se generan porque en dicha parroquia no existe una disposición adecuada para el manejo del estiércol.

Por otro lado, la industria papelera ha tenido un incremento progresivo. Según la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (ASPAPPEL, 2020) “la producción de papel crece el 4.5% en 2019 y el 1.9% en el primer cuatrimestre de 2020, en España este sector tiene una aportación global a la economía de 4.5% del producto interno bruto (PIB)”. Lo que implica una mayor demanda de fibra vegetal para satisfacer dicha demanda, cada año se talan miles de árboles nativos para el cultivo de coníferas de donde se obtiene las fibras vírgenes.

En base al contexto de esta problemática y teniendo en cuenta que se desea dar una utilidad al estiércol que es un subproducto rico en fibras vegetales hasta mejor que la que proviene de los

árboles, porque el animal suaviza la fibra a través del tracto digestivo y facilita su uso. Se propone realizar un “Diseño de un proceso industrial para la obtención de papel ecológico a partir del estiércol de ganado vacuno en la parroquia Dureno del cantón Lago Agrio”

1.2 Justificación del proyecto

Frente a los problemas existentes de contaminación y al no existir una disposición adecuada para el manejo del estiércol de ganado vacuno en el sector y a fin de contribuir a la gestión adecuada de los residuos se plantea una alternativa tecnológica, innovadora y ecológica de utilizar el estiércol como una fuente de fibra para la elaboración de papel. Además, trae consigo beneficios de menorar la captación de agua y el consumo energético en las primeras etapas de la fabricación de papel.

El desarrollo de esta investigación tiene por objetivo concientizar y motivar los ganaderos de la parroquia Dureno del cantón Lago Agrio a concientizar un correcto manejo de los residuos finalmente se puede decir que este proyecto es viable y factible porque en nuestro sector se cuenta con ganado vacuno que proveería de la materia prima para elaborar el papel y se estaría a la vez contribuyendo al bienestar del medio ambiente ya que no se talarán los árboles para obtener pulpa y se reducirán las emisiones de gases a causa del estiércol debido a la recolección inmediata del mismo.

1.3 Línea base del proyecto

1.3.1 Diagnóstico

La actividad ganadera es la clave para la seguridad alimentaria mundial pero también son los mayores productores de GEI, las emisiones de metano de la fermentación entérica es el 30% de las emisiones mundiales, la gestión del estiércol de metano es el 5.7% y de dióxido de nitrógeno 4.3%. los pastizales y prados permanentes para la manutención cubren alrededor de 3300 millones de hectáreas, un cuarto del área terrestre y el 68% del área agrícola mundial (FAO, 2018).

La producción de estiércol no tratado es muy alta por lo que la gestión de los desechos es un tema de interés que busca transformar los productos de desechos en ganancias tanto ambientales como económicas; para ello, es necesario tener un conocimiento y una comprensión claros de cómo manejar los desechos del ganado; por otra parte, la producción de papel necesita celulosa es su materia prima de la cual 88% es de madera de coníferas que puede ser aportada por el estiércol.

1.3.2 Propuesto de cambio

Por tal motivo se presenta una alternativa que es amigable con el ecosistema como es el **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO EN LA PARROQUIA DURENO DEL CANTÓN LAGO AGRIO.**

Aprovechando los residuos de la actividad ganadera, en la obtención de papel se le da un valor agregado a este, además de evitar la saturación de nutrientes en el suelo y agua, la disminución de emisión de GEI y las industrias papeleras no dependerán de las coníferas para tener fibra virgen.

1.3.3 Variables de logro

A través de la revisión bibliográfica poder identificar la metodología más adecuada para la obtención de papel con las características idóneas para obtener un producto de buena calidad, además en el desarrollo se pueden generar nuevas hipótesis para mejorar el proceso de obtención a futuro.

1.3.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.3.4.1 Beneficiarios directos

Con el presente proyecto se otorgará múltiples beneficios a los ganaderos del sector; debido a que, el estiércol es un subproducto animal que carece de valor económico y no se le da ninguna utilidad, además de ser considerado un agente contaminante de los cuerpos hídricos, suelo y aire por la emisión de gases de efecto invernadero.

1.3.4.2 Beneficiarios indirectos

El sector educativo y laboral de la parroquia Dureno se proveerán de productos ecológicos de calidad elaborados a base de papel ecológico a partir del estiércol. El medio ambiente es otro de los beneficiarios ya que se va a recolectar el estiércol para la elaboración de papel la fibra obtenida que será de una fuente no maderable que contribuirá a disminuir la tala indiscriminada de árboles, y la disminución de metano a la atmosfera aplicando el concepto de reciclaje.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar un proceso industrial para la obtención de papel ecológico utilizando como materia prima el estiércol de ganado vacuno en la parroquia Dureno del cantón Lago Agrio.

1.4.2 Objetivo específico

- Caracterizar la materia prima.
- Obtener el papel ecológico a nivel de laboratorio a partir del estiércol de ganado vacuno.
- Identificar las variables de diseño y las operaciones adecuadas para la obtención del papel.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el Diseño del proceso industrial de obtención de papel.
- Validar el proceso de fabricación de papel a través de la caracterización del producto final según la normativa vigente.

1.5 Localización del proyecto

La parroquia Dureno es una de las parroquias rurales del cantón Lago Agrio, está ubicada al sureste del cantón en la vía E10 a 30 minutos de la cabecera cantonal, limita al norte con Pacayacu, General Farfán y Colombia al sur con el Eno y Shushufindi, al este con Pacayacu y al oeste con el Eno y Nueva Loja. Tiene alrededor de 3000 habitantes y una superficie de 24 774 97ha. La base de la actividad económica está en la producción agropecuaria e industria petrolera.

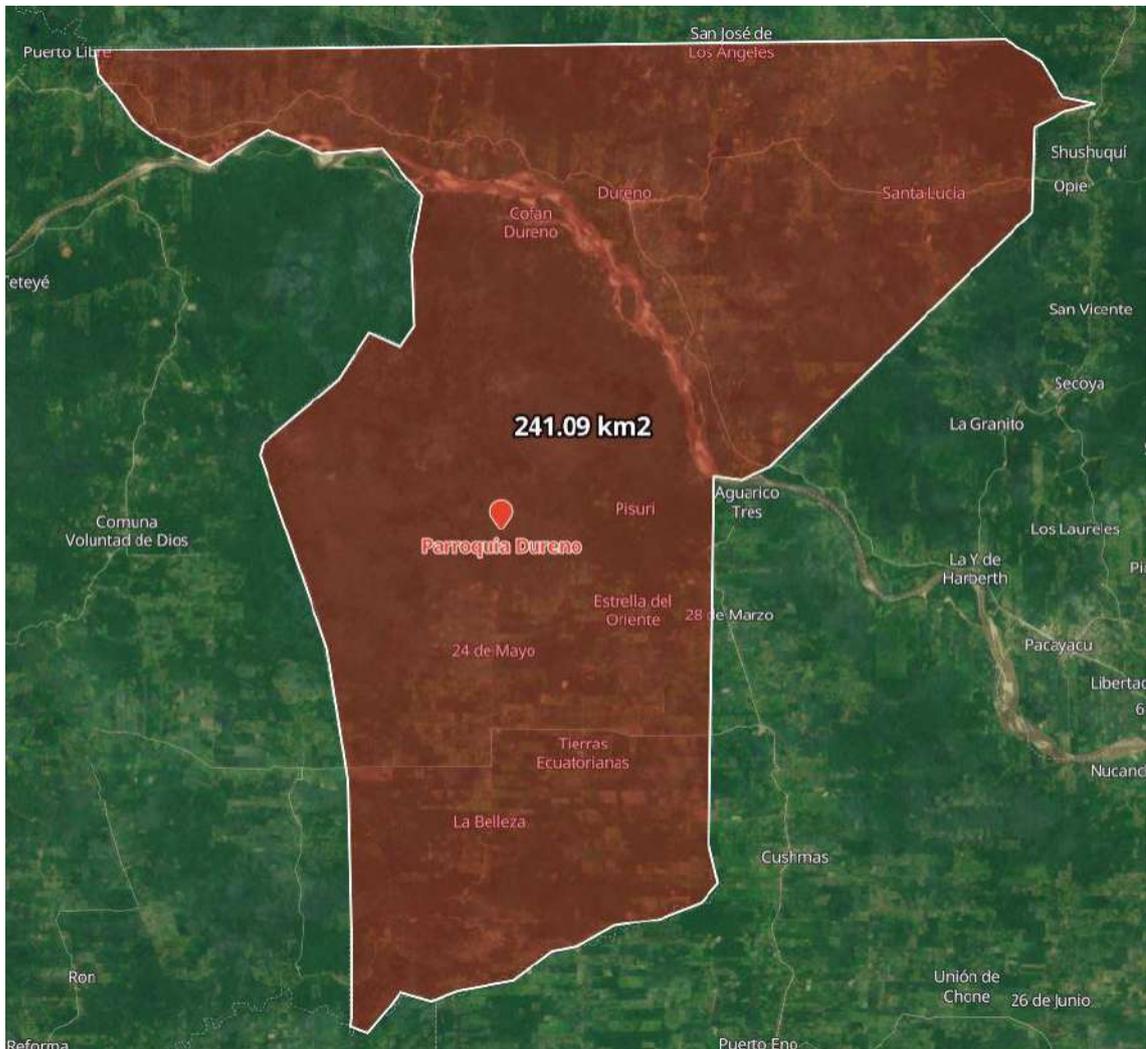


Figura 1-1. Macro localización del proyecto

Fuente: Google Maps

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Ganadería

La ganadería es un factor clave para el desarrollo sostenible en la agricultura. A demás contribuye a la seguridad alimentaria, la nutrición, el alivio de la pobreza y el crecimiento económico, en los últimos años la producción de derivados ganaderos se ha incrementado progresivamente por la demanda que ejerce el crecimiento poblacional lo que representa un impacto ambiental negativo al suelo, los recursos hídricos, le erosión de la tierra, el aire, la flora y la fauna. (FAO, 2021)

Los rumiantes son fuentes importantes de carne y leche. Su producción está asociada con la excreción de estiércol. Se calcula que diariamente se producen más de 3.900.000 millones de toneladas métricas de estiércol a partir de rumiantes en todo el mundo. El almacenamiento y la propagación de estos desechos en la tierra plantean riesgos para la salud y problemas ambientales. (Nasiru et al. 2013)

2.2 Estiércol

El estiércol es un originario de la fermentación anaeróbica del alimento presente en el tracto digestivo de los rumiantes. Tanto el estiércol como los purines son una mezcla de las heces de los animales con los orines y la cama (Iglesias, 1995).

Por lo general, los usos que se le dan es aportar como materia orgánica al suelo (no se recolecta) pero en exceso pierde los pastizales, la producción de compost y en pocas cantidades para la obtención de biogás; pero en África occidental se utiliza el estiércol de elefante para la elaboración de papel.

2.2.1 *Estiércol bovino*

Los rumiantes que excretan en mayor proporción son los bovinos las deyecciones tienen alto contenido de bases nitrogenadas y bacterias metanogénicas que se dan por la fermentación entérica que sufre el alimento en el tracto digestivo del animal, uno de los subproductos de esta fermentación anaeróbica es metano CH₄. El ganado vacuno es el mayor emisor de GEI con

alrededor de 5,0 gigatoneladas de dióxido de carbono CO₂-eq, que representan el 62% de todas las emisiones (FAO, 2010).

El ganado bovino es el rumiante más extendido en el planeta, tiene cuatro estómagos, que se ingesta de hierba y que en tracto digestivo se produce algunos gases, pero en mayor proporción metano que emite a través de eructos y excrementos. Una vez en el suelo el gas se volatiliza y llega a la atmósfera, el metano es el segundo gas más abundante de efecto invernadero y trastoca el clima del planeta (Cordero, 2013).

2.3 Impactos ambientales del estiércol

La actividad agropecuaria en los últimos años ha generado un incremento en la producción de desechos lo que es preocupante, el manejo de las excretas del ganado incluido los rumiantes no se han tratado con la importancia que merecen por lo general el estiércol está en contacto directo con el suelo y no se utiliza ningún tratamiento para evitar la volatilización del amoniaco y pérdida de otros nutrientes. Por lo tanto, al llegar la temporada de lluvias, parte de los nutrientes contenidos en el estiércol terminan en cuerpos de aguas superficiales o subterráneos (Cordero, 2013).

La mala gestión del estiércol contribuye a la contaminación y eutrofización de las aguas superficiales, subterráneas y del ecosistema marino costero. Contribuye a la contaminación del aire a través de emisiones de olores, amoniaco, metano y óxido nitroso, y también contribuye a la contaminación del suelo por la acumulación de metales pesados. Estos efectos de contaminación y eutrofización conducen posteriormente a la pérdida de la salud humana, la biodiversidad, el cambio climático, la acidificación y la degradación de los ecosistemas (Menzi et al. 2013).

2.3.1 Suelo

El estiércol de los rumiantes comúnmente no es recolectado ni tratado solo queda esparcido en el suelo, los agricultores lo aplican en ocasiones como fertilizante orgánico, sin embargo la sobreproducción y no gestionada del estiércol ha dado lugar a la aplicación inapropiada e indiscriminada, lo que ha provocado la sobre fertilización, la toxicidad del suelo, la dispersión de patógenos que dañan otros cultivos es decir el estiércol acumulado sobrepasa la capacidad de absorción del suelo de nitrógeno N, azufre P y potasio K (Nasiru et al. 2013). El suelo termina con una sobrecarga de nutrientes y se da la infiltración y lixiviación que contaminan los riachuelos y acuíferos de agua.

2.3.2 Agua

La agricultura y ganadería son las actividades más demandantes en el consumo de agua y producción de desechos, las fuentes de agua son contaminadas por las excretas por escurrimientos e infiltraciones, la gran cantidad de N que contiene el estiércol está asociado con lixiviados de nitratos y nitritos en aguas subterráneas mientras que el exceso de fósforo se considera un contaminante no tan nocivo de aguas superficiales pero el exceso de nutrientes en el suelo estimulan el proceso de eutrofización afecta la calidad de las aguas los organismos acuáticos crecen en abundancia y disminuyen la cantidad de oxígeno disuelto (Pinos et al. 2012).

2.3.3 Aire

Las excretas dejan de descargar a la atmósfera gases de efecto invernadero cuando estas se secan por completo además de los gases incluye polvo, olores producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El pastoreo nómada vuelve al suelo árido porque se remueve la vegetación y se levanta grandes cantidades de polvo, el olor del estiércol es perjudicial para la salud porque emana gases de efecto invernadero (GEI) con olores inaceptables (Pinos et al. 2012).

2.4 Fibra

La utilización de las fibras es inherente a la humanidad desde los orígenes de las civilizaciones egipcias utilizaron hojas de papiro como papel. La fibra es un polisacárido estructural presentes en las paredes celulares de las plantas su composición química de las fibras varía según su origen, pero en una estadística estándar se tiene que él entre un 40 y 50% es celulosa, la hemicelulosa corresponde entre el 20 y 30% y la lignina del 10 y 30% (Páez, 2007).

Tabla 1-2. Composición de algunos tipos de fibra

Tipo de fibra	% Celulosa	% Hemicelulosa	% Lignina
Pajas	35.75	32	18.75
Caña	43.5	29	27.5
Pastos	30	28	21.45
Tallos	44.75	20	22.8
Hojas (abacá)	64.8	16	9.90
Granos	85	3	--
Madera (coníferas)	45	14	26

Fuente: (Sánchez, 2009)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

2.4.1 Celulosa

La celulosa es parte de los polisacáridos uno de los abundantes en el reino vegetal constituye en 50% del peso de la madera de los árboles es la unión de varias moléculas de glucosa conocidos como D-glucosa con enlaces β (1-4) la unión de estas moléculas oscila de entre 300 y 15000 unidades a diferencia de los otros azúcares no se cristalizan por no ser dulce además de ser insoluble en agua (Castellano et al. 2015).

2.4.2 Tipos de celulosa

Tabla 2-2. Tipos de celulosa

Clasificación de la celulosa	
Alfa celulosa	Es la fracción insoluble en soluciones de hidróxido de sodio al 17.5%. Es considerada como una celulosa pura que no se degrada por procesos de blanqueo o cocción. La alfa celulosa tiene relación con las propiedades químicas del papel. Presenta el mayor grado de polimerización de 200 a 3000 o más.
Beta celulosa	Es una de las fracciones solubles en álcali que se precipita una vez acidificado el filtrado, es una celulosa degradada. Presenta un grado de polimerización de 15 a 200.
Gama Celulosa	Es una de las fracciones solubles que queda en la solución después de eliminar la beta celulosa y consiste principalmente en hemicelulosa. Presenta un grado de polimerización menor a 15.

Fuente: (Torres, 2019)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

2.4.3 Características biométricas de la celulosa

Las propiedades biométricas permiten determinar la calidad de la fibra para la producción de papel analizando los parámetros de longitud, diámetro de fibra, flexibilidad (Salva, 2009).

- Longitud. - Es el largo de fibra, es un parámetro determinante de la calidad del papel afecta la formación y uniformidad de la hoja además de la rigidez, resistencia.
- Diámetro. - Se ve en el grosor de la pared y rugosidad son parámetros que se ven la flexibilidad de la hoja.
- Flexibilidad. - Tiene una alta complejidad de medida por lo que no es muy estudiada por lo que le asocian con el índice de flexibilidad de la fibra relaciona entre el diámetro de lumen y el diámetro de la fibra.

2.4.4 Lignina

Es uno de los polímeros más abundantes en el reino vegetal después de la celulosa o la hemicelulosa, es de estructura compleja tridimensional formada por azúcares, hidrógenos,

oxígeno, carbón, aromáticos lo que brinda resistencia y rigidez a las plantas. Las papeleras eliminan la mayor parte posible para liberar la celulosa de las plantas, por ser inestable y oxidarse fácilmente lo que amarillenta y fragiliza el papel aparte que absorbe más luz y vuelve opaca a la celulosa (De Lera Santín, 2011)

2.5 Papel

La historia del origen del papel es tan antigua como los inicios de la humanidad tiene sus inicios en China después se lo conoce en Japón de ahí es introducido a Egipto en el año 800 es fácil asociar a los egipcios con el papiro de sus pergaminos después llega a Europa gracias a los árabes un poco más avanzado se cultivaba cáñamo y lino para fabricar el papel.

El papel es la unión de fibras vegetales compactadas de manera uniforme así se elaboran las hojas para obtenerlas hay que realizar diversos tratamientos a la materia prima hasta tener fibras de buena calidad en este proceso se necesitan recursos hídricos y energéticos.

2.5.1 *Papel en Ecuador*

La demanda de la pulpa o pasta para la elaboración de papel incrementa cada día, Estados Unidos es el país que tiene la más grande industria papelera es el mayor productor a nivel mundial, después está China, en Sudamérica Brasil es el principal productor del sector. Colombia, Chile y Perú no se quedan atrás a diferencia de lo que sucede en el Ecuador donde la producción nacional no cubre la demanda la mayor parte de la pasta para elaborar los productos de papel es importada de los países vecinos.

Las empresas dedicadas a la producción de papel y productos de papel según la Corporación Financiera Nacional (CFN) hasta el 2016 se tenía registradas 105 empresas generadores de cientos de empleos están asentadas la mayor parte en las provincias de Guayas y Pichincha (GDGE-SUBG. de ANÁLISIS E INFORMACIÓN, 2017).

El sector papelerero en el Ecuador en el 2015 aportó el 3% del PIB, pero en el 2016 decreció a 0.58% una variación negativa de 2.42 y en el 2018 el aporte fue de 0.6% al PIB ubicándose en el puesto 34 de 47 industrias a nivel nacional, con un aporte de \$595,8 millones corresponden al aporte de los productos manufacturados (Sánchez et al. 2019).

2.5.2 *Fuentes de la materia del papel*

La celulosa es la base para la producción de papel el auge del consumo demanda alta producción, la materia prima se puede obtener de diversas fuentes bosques de coníferas, fibra reciclada,

residuos orgánicos todos los vegetales son la fuente principal porque el 90% de la estructura de su pared celular es celulosa.

La principal fuente de fibra para la fabricación del papel es la madera blanda de coníferas y de las fuentes secundarias son la paja de trigo, el centeno y el arroz; cañas, como el bagazo; los tallos leñosos del bambú y cáñamo, y las fibras de semillas, hojas y cortezas, como las del algodón, el abacá y el henequén o sisal. (Teschke & Demers; 2000)

2.5.3 Proceso de obtención de pulpa de papel

Inicia con el cultivo de coníferas para explotación forestal como fuente de celulosa, la madera es transportada en camiones a la fábrica en trozos de troncos en bruto o astillas e inicia las primeras etapas de acondicionamiento.

La fabricación de papel se divide en dos etapas primero es la obtención de la pulpa y después la elaboración de papel, los procesos para obtener la pasta o pulpa de papel se realiza por digestión para deslignificar las astillas o troncos y tener una celulosa de alta calidad se dividen en métodos mecánicos químicos.

2.5.4 Acondicionamiento de la materia prima

Una vez recolectada la materia prima en bruto empieza la primera etapa de limpieza consiste en remover la cascara o corteza de los troncos debido a que fibra ahí es casi además de impurezas polvo, tierra resultada de la extracción esto consiste en una serie de procesos se inicia con el descortezado, lavado, astillado hasta dar la forma adecuada a los troncos para ser transformados en pasta.

2.5.5 Pulpa mecánica

El proceso se realiza por separación física se separa la lignina de la madera por trituración consiste en molerlos en una piedra de moler giratoria, pero esto debilita la fibra, además de que no se elimina la lignina por completo. Se añade agua para facilitar el proceso y también refrigerar la muela recalentada por la intensa fricción de los troncos presionados contra ella.

La pasta atraviesa unas finas cribas, lo que permite sólo el paso de las fibras, depurándose además de todo material extraño, como, por ejemplo, arena o polvo. Tiene un rendimiento del 90 - 98% con esta pasta se elabora papel de baja calidad por su color amarillento por los residuos de lignina, según la Svenska Cellulosa Aktiebolaget (SCA, 2010).

2.5.6 *Pulpa termo mecánica*

Para la deslignificación se emplean sustancias químicas, pero se pierde hemicelulosa además de la lignina lo que afecta al rendimiento siendo del 40 al 60% la ventaja está en la calidad de la pulpa obtenida presentan mayor blancura y resistencia que la pulpa mecánica. Estos métodos pueden ser ácidos o alcalinos se aplican de acuerdo con los fines del producto.

- Método Kraft. – es un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio NaOH y sulfuro de sodio Na₂S es el más utilizado se aplica a amplios tipos de madera se trabaja a una temperatura de 150 a 170°C con una exposición de 3 a 5h, el rendimiento de la pasta oscila entre 40 al 55% además que debe ser el producto blanqueado. Tiene dos tiempos de cocción, intensa para la obtención de papel claros de buena calidad y resistentitas usados para sobre y papel de hilar y la menos intensa para papeles un poco oscuros resistentes para ser usados embalajes, empaques y sacos (De Lera Santín, 2011).
- Método con sulfito. – es un tratamiento ácido los troncos o astillas son expuestos a bisulfito de calcio Ca(HSO₃)₂ o sulfito de magnesio MgSO₃ y un excedente de dióxido de azufre SO₂ a una temperatura de 140 a 175°C por un tiempo de 5 a 12h, el tiempo de cocción depende del producto que se requiere para papeles higiénicos, o de cocina. Papeles blancos de poca resistencia se tratan con una cocción intensa, mientras con una cocción menos intensa el papel obtenido es de calidad media de buena resistencia como son los papeles para empaques y mezclando con otras pulpas se puede fabricar papel para escritura. (De Lera Santín, 2011).
- Método con sosa. – es uno de los métodos más antiguos utilizados en la industria papelera ideal para celulosa obtenida de pajas o herbáceas fáciles de eliminar las materias lignocelulosas de la fibra se trata con hidróxido de sodio (NaOH) a una temperatura de 140 a 175 expuesto de entre 2 a 5h de cocción.

2.5.7 *Prensado y secado*

Ahora se va a drenar toda el agua para ello se prensa sea con rodillos de forma artesanal se puede utilizar una prensa manual o dos superficies planas el papel queda como sándwich y se lo pone peso encima esto ayuda a expulsar la mayor cantidad de agua quedando con un 40% de sequedad y pasa finalmente al secado para eliminar la humedad del papel por evaporación igual con rodillos para homogenizar la deshidratación del papel (SCA, 2010).

2.5.8 *Control de calidad del papel*

- **Gramaje:** es el peso en gramos del papel por metro cuadrado, es una propiedad de referencia para las demás tanto físicas como ópticas.

- **Calibre:** Se mide con un micrómetro y es la distancia perpendicular entre dos superficies paralelas, planas y circulares. Esta propiedad afecta a casi todas las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel.
- **Resistencia al rasgado:** es el índice de resistencia interna que posee el papel antes de rasgarse, es la energía necesaria que se le aplica a la probeta de papel a una longitud determinada hasta que se da la ruptura.
- **Contenido de humedad:** determina la deshidratación del papel la humedad de equilibrio que tiene la pulpa papel o cartón.
- **Resistencia a la tensión:** Es un componente de las resistencias más complejas de explosión, doblez y rasgado. Esta propiedad se da en Newtons por metro o kilo newtons por metro en el Sistema internacional (SI) y es proporcional al gramaje del papel.
- **Resistencia a la explosión:** está relacionada con la longitud de la fibra y si se plastifica la cual se define como la presión hidrostática requerida para romper el papel cuando se le deforma en una esfera y a una velocidad controlada de carga.

Dentro de las propiedades optimas del papel están entre las más importantes blancura, brillantez y opacidad, y que todas ellas se refieren a la habilidad de la pulpa a reflejar o absorber la luz, sus formas corresponden a la absorción de la luz visible por la lignina (Rubio, 2018).

2.6 Tipo de estudio

El presente proyecto es de tipo técnico se ha efectuado en base a revisión bibliográfica para obtener la metodología y los parámetros adecuados para la obtención del papel, la recolección de datos, la selección de variables aplicando los fundamentos de operaciones unitarias, también métodos de investigación: método inductivo, deductivo y experimental.

2.6.1 Métodos

Todo proceso de titulación inicia con una revisión bibliográfica para conocer los fundamentos teóricos para luego ejecutar la parte experimental que permite manejar las variables del proceso los métodos implementados fueron tres: deductivo, inductivo y experimental con la ayuda de sus principios se ha garantizado el cumplimiento de los objetivos planteados.

2.6.1.1 Método Deductivo

Se inicio con una investigación bibliográfica permite tener deducciones lógicas desde conceptos generales para aplicarlos de forma industrial en la obtención del papel teniendo en cuenta que se necesiten conocimientos de ingeniería de plantas, operaciones unitarias, transferencia de calor, cálculos básicos entre otros para llegar a un correcto diseño de la planta.

2.6.1.2 Método Experimental

Finalmente, en la investigación se aplicó el método experimental implica la combinación del deductivo e inductivo descritos anteriormente, en donde se llegó a obtener el papel a nivel de laboratorio manipulando las variables de esterilización, temperatura de ebullición, pH del licor, condiciones del blanqueo de la pulpa, formulación, secado y prensado son variables que se llevan a cabo en condiciones estrictamente controlada con el fin de obtener un producto de calidad.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Técnicas

Tabla 1-3. Análisis realizados en el proyecto

Análisis	Parámetros	Referencia
Análisis microbiológico de la materia prima y la pulpa tratada.	Aerobios mesófilos: ISO 4833-2:2013 Mohos y levaduras: APHA 2001 <i>Staphylococcus aureus</i> : NB 32004:2004. Coliformes totales: 9222-B <i>Escherichia Coli</i> : 9222-D	Laboratorio de Análisis Bioquímico y Bacteriológico
Análisis bromatológicos.	pH: 4500 H-B Humedad: INEN 1235 Cenizas: INEN 401 Fibra: método de WEENDE	Laboratorio de Bromatología
Determinación de la consistencia de pulpa.	TAPPI 240 om-93	Laboratorio de Bromatología
Determinación de la lignina (pulpa)	TAPPI 2006 A	Laboratorio de Bromatología
Determinación de la celulosa (pulpa)	TAPPI 203 cm-09	Laboratorio de Bromatología
Espectroscopía de transición infrarrojo (pulpa)	FTIR	Laboratorio de Análisis Instrumental
Blancura de la lámina (papel)	Spectrophotometer	Laboratorio de Investigación
Ensayos de tracción papel para control de calidad del papel	INEN 1405:2013 Espesor Anchura Longitud inicial Carga máxima Resistencia a la ruptura Alargamiento a la ruptura	Laboratorio LenMav
Microscopía electrónica de barrido-SEM papel	Longitud de la fibra Diámetro de la fibra	Laboratorio de metalografía

Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.2 Procedimiento a escala de laboratorio e identificación de variables

3.2.1 Recepción de la materia prima.

Se recolecto la materia prima directamente de los campos por el método de cuarteo como un proceso de selección, ingresa a la mesa de acero inoxidable 0.75kg de estiércol donde se escogen impurezas y después la materia prima pasa a un tanque de lavado con 2500mL de agua el peso de la masa del estiércol al finalizar el lavado es de 0.675kg.

3.2.2 Esterilizado

Como el estiércol es un subproducto animal por lo que tiene una alta carga bacteriana y para eliminar cualquier microorganismo se esteriliza de entre 2 a 4 horas a 150°C este proceso también ayuda a suavizar las fibras ingresa al tanque de esterilización 0.675kg de estiércol y se añade 1000ml de agua por cada 100g de estiércol, al finalizar esta etapa y filtrar la masa del estiércol es de 0.594kg.

3.2.3 Secado de la materia prima

El estiércol esterilizado ingresa a la estufa de secado para deshidratar la fibra, las condiciones de trabajo son la temperatura de secado de 105°C y el tiempo de secado de 7 horas.

Tabla 2-3. Datos Experimentales del proceso de secado

Tiempo (min)	Peso de la muestra (kg)	Humedad en base seca X	Humedad media \bar{X}	Variación del tiempo (h) ΔT	Variación de la humedad ΔX	Velocidad de secado W	1/W
0	0,594						
30	0,499	0,190	0,185	0,500	-0,107	0,28	3,57
60	0,423	0,180	0,152	0,500	-0,547	1,41	0,71
90	0,376	0,125	0,109	0,500	-0,320	0,83	1,20
120	0,344	0,093	0,089	0,500	-0,078	0,20	5,00
150	0,317	0,085	0,074	0,500	-0,214	0,55	1,82
180	0,298	0,064	0,058	0,500	-0,108	0,27	3,70
210	0,283	0,053	0,043	0,500	-0,202	0,52	1,92
240	0,274	0,033	0,031	0,500	-0,028	0,07	14,29
270	0,266	0,030	0,025	0,500	-0,109	0,28	3,57
300	0,261	0,019	0,015	0,500	-0,075	0,19	5,26
330	0,258	0,012	0,006	0,500	-0,116	0,30	3,33
360	0,258	0,000	0,000	0,500	-0,004	0,01	100,00
390	0,258	0,000	0,000	0,500	-0,004	0,01	100,00
420	0,258	0,000	0,000	0,500	-0,004	0,01	100,00

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 3-3. Condiciones de Trabajo

Temperatura ambiente T_0 (°C)	Temperatura de secado T_i (°C)
25	105

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 4-3. Datos adicionales del equipo

Dimensiones de la bandeja <i>m</i>		Dimensiones internas del equipo <i>m</i>	
Longitud	0.5	Longitud	0.55
Ancho	0.4	Altura	0.75
Área	0.2	Ancho	0.44
Espesor	0.002	Área	1.9

Realizado por: Mora, Lady. 2021

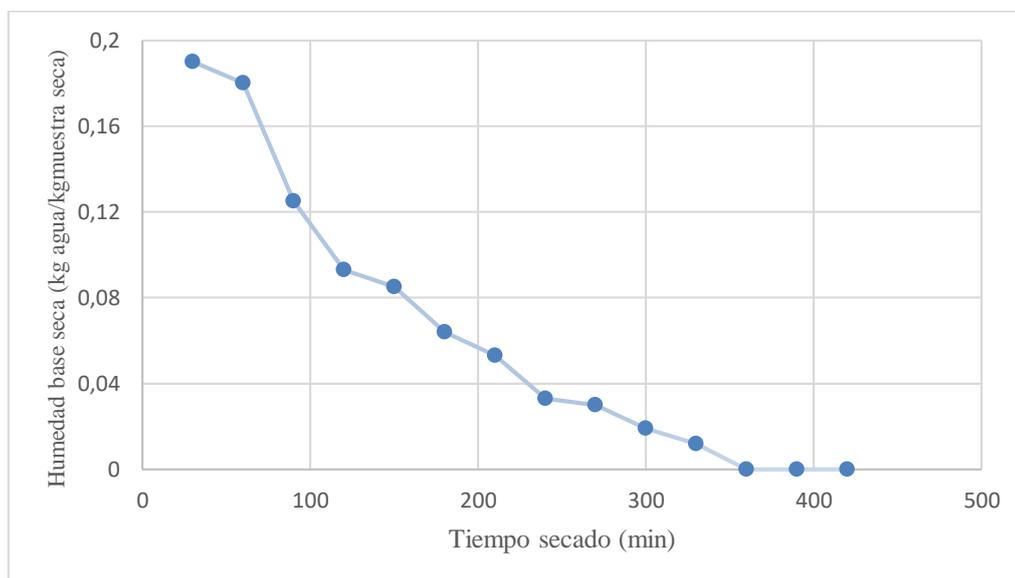


Gráfico 1-3. Curva de secado

Realizado por: Mora, Lady. 2021

- **Humedad base seca (X).** – es la cantidad de agua que contiene la muestra por unidad de peso seco (Brito, 2001), se puede calcular en base húmeda o seca mediante la ecuación.

$$X = \frac{P_H - P_S}{P_S}$$

Donde:

X: Humedad base seca ($\frac{\text{kg agua}}{\text{kg muestra seca}}$)

P_H: Peso del sólido humedo

P_S: Peso del sólido seco

$$X = \frac{0.594 - 0.499}{0.499}$$

$$X = 0.190 \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg muestra seca}}$$

- **Velocidad de secado (W_c).** – es la deshidratación de la muestra por unidad de tiempo donde un periodo decrece y otro se mantiene constante se calcula con la siguiente ecuación.

$$W_c = \frac{S}{A} * \frac{X_i - X_c}{\Delta\Theta}$$

Donde:

W_c : Velocidad de secado (kg/m^2h)

S : Muestra seca (kg)

A : Área expuesta al secado (m^2)

$\Delta\Theta$: Variación del tiempo de secado (h)

X_i : Humedad base seca ($\frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ muestra seca}}$)

X_c : Humedad crítica ($\frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ muestra seca}}$)

Sabiendo que S y A son constantes en el periodo de secado.

$$W_c = \frac{0.258}{0.2} * \frac{0.190 - 0.0471}{0.5}$$

$$W_c = 0.36 \text{ (kg/m}^2\text{h)}$$

- **Duración de secado.** – el tiempo de secado se evalúa con la velocidad de secado para un tiempo anticrítico y poscrítico con la siguiente ecuación.

$$\Theta = \frac{S}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{W_c}$$

Donde:

Θ : Tiempo de secado h

S : Muestra seca (kg)

A : Área expuesta al secado (m^2)

W_c : Velocidad de secado ($\frac{kg}{m^2h}$)

dX : Variación de humedad

Tiempo anacrítico. – para calcular se integra la ecuación anterior entre las humedades.

$$\Theta_a = S * \frac{X_i - X_c}{AW_c}$$

$$\Theta_a = 0.258 * \frac{0.190 - 0.0471}{0.2 * 0.36}$$

$$\Theta_a = 0.51h$$

Tiempo poscrítico. – cómo se desconoce la relación de X vs W se resuelve por el método gráfico la integral con ayuda del diagrama de X & 1/W en base a los datos de la tabla 7:3.

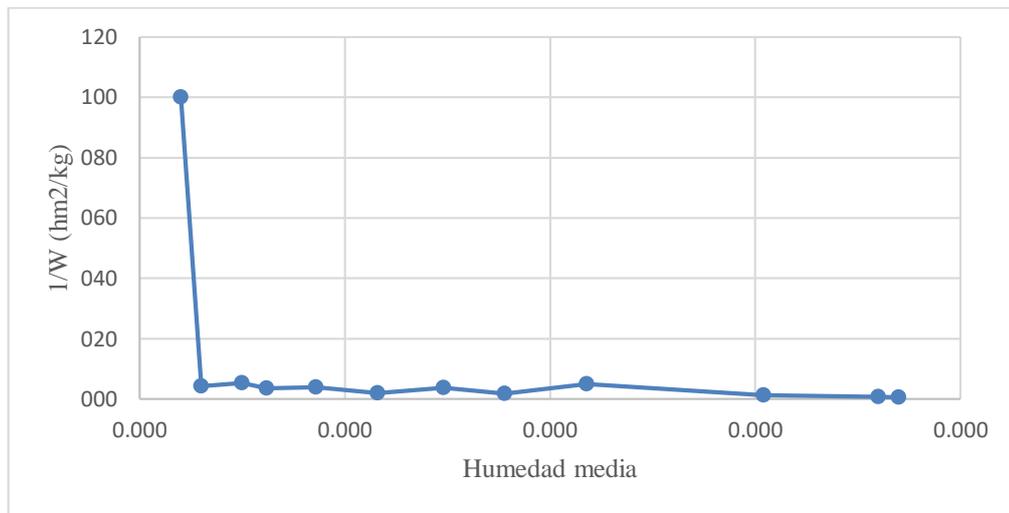


Gráfico 2-3. Curva de Humedad media & 1/W

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Con el método gráfico se calcula el área bajo la curva para darle un valor numérico a la integral.

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10}$$

Donde:

A_T : Área total bajo la curva m^2

A_{1-10} : Áreas fragmentadas bajo la curva m^2

$$A_T = 0.48 + 0.26 + 0.73 + 0.45 + 0.47 + 0.41 + 0.76 + 1.32 + 0.26 + 0.07$$

$$A_T = 5.21m^2$$

Entonces el tiempo poscrítico es:

$$\Theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{W_c}$$

$$\Theta_p = \frac{0.258}{0.2} * (5.21)$$

$$\Theta_p = 6.72h$$

La duración del secado es la suma del tiempo anticrítico y poscrítico.

$$\Theta_T = \Theta_a + \Theta_p$$

Donde:

Θ_T : Tiempo total de secado h

$$\Theta_T = 0.51 + 6.72$$

$$\Theta_T = 7.23h$$

3.2.4 Despulpado con sosa cáustica

El flujo de entrada al tanque de despulpado es de 0.258 kg de estiércol para la deslignificación de la fibra con 1000mL de agua por cada 100 g de estiércol alimentados la sustancia que se utiliza es el NaOH al 10%, el proceso se dio a 150°C por 4 horas terminada la cocción se deja en reposo por 24 horas para poder retirar el licor negro y lavar la pulpa.

Tabla 5-3. Datos para el cálculo del rendimiento de despulpado

Agua		Estiércol		NaOH		Tiempo (h)	Temperatura (°C)
%	Kg	%	Kg	%	Kg		
98.32	3.57	7.08	0.258	10	0.03	3	150

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 6-3. Datos para el rendimiento de despulpado

Tiempo de cocción (h)	Cantidad de NaOH (kg)	Estiércol (kg)	Pulpa (kg)
3	0.03	0.258	0.2011
	0.04	0.258	0.1842
	0.05	0.258	0.1714
4	0.03	0.258	0.1964
	0.04	0.258	0.1793

	0.05	0.258	0.1704
5	0.03	0.258	0.1927
	0.04	0.258	0.1755
	0.05	0.258	0.1626

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.2.5 Licor negro

Pasado el tiempo de reposo se filtra la pulpa para separar el licor negro que tiene residuos de lignocelulosa se mide el pH y el volumen de licor obtenido, el pH es de 12.79 esto por los residuos de sosa caustica y un volumen de 1.148L. Como medio filtrante se utilizó una tela de lienzo la pulpa celulósica que está en la tela tiene un peso de 0.137kg que ingresa a un segundo tanque de lavado con 10L de agua se lava hasta tener un pH de 7 al salir la pulpa celulósica lavada tiene un peso de 0.131kg.

Tabla 7-3. Datos de la sosa residual

Tiempo de cocción (h)	Agua (L)	Licor negro (L)
3	2.3	0.957
4	2.80	1.250
5	3.75	2.320

Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.2.6 Blanqueo

Ingresa 0.131kg de pulpa celulósica a un proceso de blanqueado, es un requisito esencial para obtener celulosa de calidad y con alta blancura es un tratamiento químico donde la pulpa se trata con hipoclorito de sodio al 10% en una relación 2:1 respecto al volumen de agua utilizada, se trabaja a 65°C por 45min, la pulpa blanqueada se lava en un tanque con 9L de agua la masa de la pulpa lavada es de 0.127kg

En esta etapa se vuelve a realizar un análisis microbiológico para determinar si con todos los procesos anteriores se logró eliminar por completo la carga bacteriana de la pulpa.

Tabla 8-3. Datos del proceso de blanqueado de la pulpa

Agua (L)	Hipoclorito de sodio (L)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
0.3	0.15	0.75	65

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.2.7 Elaboración de la mezcla

Se elabora una mezcla de pulpa hidratada para la formación de la hoja de papel con la ayuda de un digestor con una velocidad de 135 rpm hasta que se dispersen las fibras, pero no más de las 50000 revoluciones con este proceso la mezcla homogénea debe alcanzar una consistencia de 0.36% rango permitido según la norma Tappi T205 sp-02.

Para la mezcla se utiliza 0.127kg de pulpa blanqueada y 1000ml de agua por cada 35 gramos de pulpa el volumen de la mezcla es de 3.63L. Para formar una lámina de papel 21x27.9 cm se requiere la cantidad de 0.3L logrando por tanto se obtiene de 12 a 15 hojas de papel.

La consistencia de la pulpa no es más que el peso en gramos de la fibra en 100 gramos de solución para esta prueba se siguió la norma Tappi 240 om-93, se homogeniza la muestra para medir 100 gramos de la solución fibrosa después filtrar y secar y por diferencia de masas calcular el porcentaje de consistencia.

Tabla 9-3. Datos para la consistencia de la pulpa

Pulpa hidratada (mL) Pm	Peso papel filtro (g) F	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Peso del papel + pulpa seca (g) P
100	1.3197	90	0.75	1.6853

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$\%C = \frac{P - F}{Pm} * 100$$

Donde:

%C: Porcentaje de consistencia (%)

P: Peso del papel + pulpa seca (g)

F: Peso papel filtro (g)

Pm: Peso neto de la muestra (mL)

∴ 100 mL ≈ 100 g

$$\%C = \frac{(1.6853 - 1.3197)g}{100g} * 100$$

$$\%C = 0.3656$$

3.2.8 Formulación de la hoja

Para la formación de la hoja se ayuda de un bastidor formado por de dos listones de madera para la hoja A4 el bastidor debe ser de 25cm de ancho y 33.7cm de largo, está compuesto de una malla o colador donde se va a depositar la mezcla y otro marco de la misma medida, con bastidor con estas medidas la hoja será de 21 x 29.7 cm.

Antes de empezar con la formación de las hojas, con agua se frota suavemente la superficie de la tela para eliminar las fibras adheridas luego en un recipiente con agua se sumerge un 75% del bastidor y se añade la mezcla que se hizo con la pulpa en el bastidor manteniéndolo horizontal con subes movimientos de hacia la derecha, izquierda, adelante y atrás para que se entrecrucen las fibras finalmente se levanta el bastidor sin inclinarlo y deja drenar el agua por 5 segundos.

Tabla 10-3. Datos del tiempo de formación de la hoja

Tiempo de formación de la hoja (s)	Tiempo promedio de formación (s)
501	453.83
486	
452	
409	
385	
490	

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 11-3. Datos de la formación de la hoja

Mezcla de la pulpa (L)	Consistencia (%)	Viscosidad (Pa*s)	Tiempo formar la hoja (s)	Densidad (kg/m ³)
1.5	0.3656	0.25	453.83	1025.9

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.2.9 Prensado y secado

Una vez formada la hoja de papel se retira el marco superior y se pone sobre la hoja una tela de lienzo o lino que sea más grande que el bastidor y se da la vuelta sobre una superficie plana se con la malla sobre la tela con ayuda de una esponja se retira la mayor parte de agua después se levanta el bastidor desde una esquina para despegar la hoja y se tapa la hoja de papel con otro pedazo de tela y se vuelve a formar otra hoja así continuamente hasta tener unas 10 hojas para luego prensarlas.

Las hojas todavía contienen agua por lo que se las prensa a 345kPa dos veces una por 5min y la segunda por 2 min para retirar todo el exceso de agua de forma uniforme. Después de prensar las hojas se llevan al secado para deshidratar uniforme la hoja de papel el tiempo de secado es de 72 horas a 25°C en un lugar oscuro, al término del proceso se retira las telas y se obtienen las láminas de papel.

3.2.10 Propiedades biométricas del papel

Tabla 12-3. Datos biométricos del papel

Longitud de la fibra (L)	803 μm
Diámetro de la fibra (D)	11.74 μm
Diámetro de lumen (u)	7.9 μm
Espesor (ep)	1.92 μm

Realizado por: Mora, Lady. 2021

- Coeficiente de Petri (P). - también conocido como índice de esbeltez se calcula con el cociente de la longitud de la fibra con el diámetro de la fibra que indica si las fibras son plastificantes y su superficie de contacto.

$$P = \frac{L}{D}$$

Donde:

P : Coeficiente de Petri

L : Longitud de la fibra

D : diámetro de la fibra

$$P = \frac{803}{11.74}$$

$$P = 68.39$$

- Coeficiente de flexibilidad (CF). - indica la proporcionalidad entre el diámetro de la fibra respecto al diámetro de lumen, según este coeficiente se sabe si las fibras tienen alta probabilidad de compactación o si colapsan.

Tabla 13-3. Clasificación de las fibras según el coeficiente de flexibilidad

Parámetro de clasificación	Categorías	Características papeleras

Coeficiente de flexibilidad (CF)	Grupo I: Mayores a 75 µm	Las fibras se plastifican y posee una buena superficie de contacto es decir tienen buena adherencia de fibra a fibra
	Grupo II: Entre 75-50 µm	Las fibras se plastifican indiferentemente, guardan una excelente superficie de contacto y buena adherencia de fibra a fibra.
	Grupo IV: Entre 50-30 µm	Las fibras no se plastifican presentan una superficie de contacto reducida lo que indica poca adherencia de fibra a fibra.

Fuente: (Salva, 2009)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$CF = \frac{u}{D}$$

Donde:

CF: Coeficiente de flexibilidad

u: Diámetro de lumen

D: Diámetro de la fibra

$$CF = \frac{7.9}{11.74}$$

$$CF = 0.67$$

- Coeficiente de rigidez (CR). –indica la proporcionalidad entre el espesor de la pared y el diámetro de la fibra para analizar fibras papeleras se toma en cuata dos veces el espesor, con este coeficiente se sabe que tan gruesa es la pared dando así el grado de aplastamiento para la unión de las fibras y por ende la resistencia que va a tener la hoja de papel.

$$CR = \frac{2 * ep}{D}$$

Donde:

CR: Coeficiente de rigidez

ep: Espesor

D: Diámetro de la fibra

$$CR = \frac{2 * 1.92}{11.74}$$

$$CR = 0.33$$

- Factor de Runkel (FR). – indica el espesor de la pared de las fibras y su proporcionalidad con el diámetro de lumen de la fibra esto contribuye para identificar si las fibras son adecuadas para pulpas de papel.

Tabla 14-3. Clasificación de las fibras según el factor de Runkel

Parámetro de clasificación	Categorías	Características papeleras
Factor de Runkel (FR)	Grupo I: Menores a 0.25 µm	Excelente para papel, con paredes delgadas y lumen amplio.
	Grupo II: De 0.25 a 0.5 µm	Muy bueno para papel, madera liviana con paredes delgadas y lumen relativamente amplio.
	Grupo III: De 0.50 a 1.00 µm	Bueno para papel, madera pesada paredes gruesas lumen angosto.
	Grupo IV: De 1 a 2 µm	Regular para el papel madera pesada fibras gruesas lumen muy angosto.

Fuente: (Salva, 2009)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$FR = \frac{2 * ep}{u}$$

Donde:

FR: Factor de Runkel

ep: Espesor

u: Diámetro de lumen

$$FR = \frac{2 * 1.92}{7.9}$$

$$FR = 0.48$$

Tabla 15-3. Hojas de papel

Muestra	Formación de papel		Blancura		Peso de la lámina (g)	Peso Promedio (g)
	Si	No	SI	No		
a	X			X	2.896	2.727
					2.542	
					2.743	
b	X			X	4.039	3.377
					2.917	
					3.174	
c	X		X		3.010	3.014
					3.602	

						2.431	
--	--	--	--	--	--	-------	--

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.3 Diagrama de flujo para la obtención de papel



Figura 1-3. Diagrama de proceso de la fabricación de papel

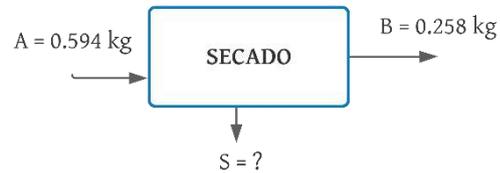
Realizado por: Mora, Lady. 2021

3.4 Diseño de ingenieril del proceso

3.4.1 Balances de masa y energía

3.4.1.1 Balance de masa

- Secado



Donde:

$A = \text{Estiércol húmedo (kg)}$

$B = \text{Estiércol seco (kg)}$

$S = \text{Agua evaporada (kg)}$

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

$$A = B + S$$

$$0.594 = 0.258 + S$$

$$\mathbf{S = 0.336 \text{ kg}}$$

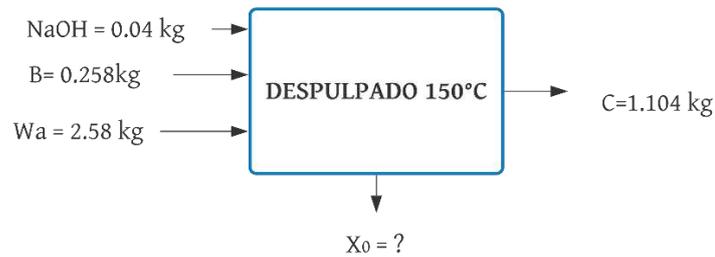
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

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

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{0.258}{0.594} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \mathbf{43.43}$$

- **Despulpado**



Donde:

$NaOH$ (kg)

B = Estiércol seco (kg)

C = Pulpa extraída (kg)

W_a = Agua entrada (kg)

X_0 = Agua evaporada (kg)

Entrada = Salida

$$NaOH + B + W_a = C + X_0$$

$$0.04 + 0.258 + 2.58 = 1.405 + X_0$$

$$X_0 = 1.473 \text{ kg}$$

El agua que se evaporó en el proceso es de 1.473kg, ahora se calcula en rendimiento del proceso de despulpado.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

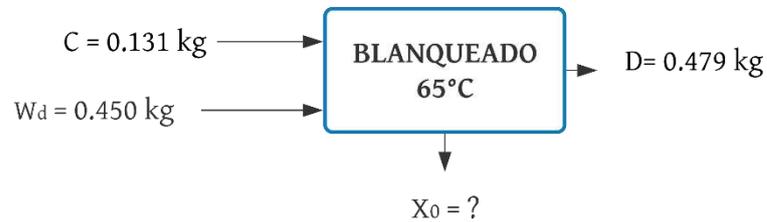
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{C}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1.405}{2.798} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 50.21$$

El rendimiento del despulpado es del 50.21% lo que indica que está dentro del rango que indican los procesos tratados a la sosa. Una vez termina la cocción se deja reposar por 24 horas para filtrar el licor negro y lavar la pulpa de estos procesos se tiene 0.131kg de pulpa celulósica.

- **Blanqueado**



Donde:

$C = \text{Pulpa celulósica (kg)}$

$W_d = \text{Solución de hipoclorito de sodio (kg)}$

$D = \text{Pulpa blanqueada (kg)}$

$X_0 = \text{Agua evaporada (kg)}$

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

$$C + W_d = D + X_0$$

$$0.131 + 0.450 = 0.479 + X_0$$

$$\mathbf{X_0 = 0.102kg}$$

El rendimiento de la pulpa blanqueada se realiza con los datos de la pulpa una vez lavada y filtrada que es de 0.127kg.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{0.127}{0.131} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 96.9$$

- **Elaboración de la mezcla**



Donde:

$E = \text{pulpa blanqueada lavada para una hoja}(kg)$

$F = \text{Mezcla homogénea}(kg)$

- **Formulación de las hojas**

Las cantidades con las que se va a trabajar es para elaborar una hoja de papel en un tiempo de 10 a 15 minutos.



Donde:

$F = \text{Mezcla homogénea}(kg)$

$G = \text{hoja humeda de papel}(kg)$

$W_{ss} = \text{Agua salida}(kg)$

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

$$M = P + W_{ss}$$

$$3.63 = 2.376 + W_{ss}$$

$$\mathbf{W_{ss} = 1.254 kg}$$

- **Secado**



Donde:

$G = \text{hoja humeda de papel}(kg)$

$H: \text{hoja de papel seca}(kg)$

$W_s = \text{Agua salida}(kg)$

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

$$G = H + W_s$$

$$0.198 = 0.00784 + W_s$$

$$\mathbf{W_s = 0.1902kg}$$

3.4.1.2 *Balace de energía*

- **Estufa de secado**

Para el balance de energía del secador las condiciones de trabajo son los datos de la tabla 3-3: la temperatura ambiente es de 25°C y la de salida de 105°C.

Calor sensible (Q_s)

Es aquel que recibe o elimina un cuerpo para el aumento o disminución de la temperatura sin afectar su estructura para los efectos de cálculo se necesitan datos adicionales de las tablas de las propiedades termodinámica de agua saturada conocidas como separatas (Cengel, 2012) del anexo I se tomaron los valores de entalpía.

$$h_{f25^{\circ}C} = 104.83 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{f105^{\circ}C} = 440.28 \frac{kJ}{kg}$$

El calor sensible se calcula por la diferencia de entalpías:

$$Q_s = h_{f105^\circ C} - h_{f25^\circ C}$$

Donde:

Q_s : Calor sensible $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$h_{f105^\circ C}$: Entalpía de líquido saturado a 105°C

$h_{f25^\circ C}$: Entalpía de líquido saturado a 25°C

$$Q_s = 440.28 - 104.83$$

$$Q_s = 335.45 \frac{kJ}{kg}$$

Calor latente del agua (Q_v)

Es la cantidad de energía necesaria para que la sustancia cambie de fase existen dos tipos calor latente de fusión y de evaporación, en este caso el calor latente de evaporación del agua es la entalpía de evaporación a 1 atmósfera de las tablas termodinámicas del Anexo J.

$$(Q_v) = h_{v105.325KPa}$$

$$h_{v105.325K} = 2256.5 \frac{kJ}{kg}$$

Donde:

Q_v : Calor latente $\frac{kJ}{kg}$

$h_{v105.325K}$: Entalpía de evaporación 1atm = 105.325KPa

Calor suministrado (Q_{su}) para llegar de 25 °C a 105°C

$$Q_{su} = Q_s + Q_v$$

Donde:

Q_{su} : Calor suministrado $\frac{kJ}{kg}$

Q_s : Calor sensible $\frac{kJ}{kg}$

Q_v : Calor latente $\frac{kJ}{kg}$

$$Q_{su} = 335.45 + 2256.5$$

$$Q_{su} = 2591.95 \frac{kJ}{kg}$$

Capacidad calorífica del Estiércol (C_p)

Es la capacidad térmica de la materia, se considera como la energía en forma de calor requerida para ganar o perder un grado de temperatura por unidad de masa (Zegarra, 2014), se calcula con la siguiente ecuación.

$$C_p = \frac{Q}{m * \Delta T}$$

Donde:

C_p : Capacidad calorífica del estiércol $\frac{kJ}{kg}$

Q : Calor cedido o absorbido $\frac{kJ}{kg}$

m : Masa de estiércol kg

ΔT : Varición de la temperatura $^{\circ}K$

$$C_p = \frac{335.45}{0.258 * (378 - 298)}$$

$$C_p = 16.25 \frac{kJ}{kg}$$

Calor requerido para secar la muestra (Q_R)

$$Q_R = C_p * m * \Delta T$$

Donde:

C_p : Capacidad calorífica del estiércol $\frac{kJ}{kg}$

Q_R : Calor requerido $\frac{kJ}{kg}$

m : Masa de estiércol kg

ΔT : Varición de la temperatura $^{\circ}K$

$\square m = 50kg$

$$Q_R = 16.25 * 50 * (378 - 298)$$

$$Q_R = 65000 \frac{kJ}{kg}$$

Calor necesario para evaporar el agua (Q_E) primero se calcula la corriente de agua

$$V = m * x_1 - m * x_2$$

Donde:

V : Corriente de agua evaporada $\frac{kg}{h}$

m : Masa de estiércol $\square m = 50kg$

x_1 : Humedad absoluta de entrada

x_2 : Humedad absoluta de salida

Los valores de x_1 y x_2 están en la tabla 17-3:

$$V = 50 * 0.190 - 50 * 0.012$$

$$V = 8.9kg \text{ agua}$$

Calor necesario para evaporar el agua (Q_E)

$$Q_E = V * Q_v$$

Donde:

Q_E : Calor necesario para evaporar el agua $\frac{kJ}{kg}$

V : Corriente de agua evaporada $\frac{kg}{h}$

Q_v : Calor latente $\frac{kJ}{kg}$

$$Q_E = 8.9 * 2256.5$$

$$Q_E = 20082.85 \frac{kJ}{kg}$$

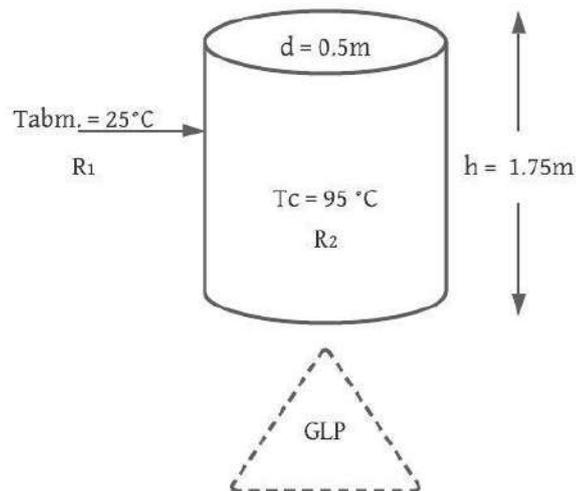
Calor total del proceso (Q_T)

$$Q_T = Q_E + Q_{sist}$$

$$Q_T = 20082.85 + 67591.95$$

$$Q_T = 87674.8 \frac{kJ}{kg}$$

- Recipiente de cocción



Cálculo del calor desprendido.

$$q = U * A * \Delta T$$

Donde:

$q = \text{Calor que desprende el sistema (KJ/h)}$

$U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor } \left(\frac{W}{K} m^2\right)$

$A = \text{Área de transferencia (m}^2\text{)}$

$\Delta T = \text{Varición de la temperatura (}^\circ\text{K)}$

Con los datos de altura y diámetro del gráfico se calcula el área de transferencia de calor las unidades están en metros (m).

$$A_{lateral} = 2 * \pi * \frac{\theta}{2} * h$$

$$A_{lateral} = 2 * \pi * \frac{0.5}{2} * 1.75$$

$$A_{lateral} = 2.75 m^2$$

Coeficiente global de transferencia de calor (U)

$$U = \frac{1}{\sum A * R} = \frac{1}{A * R_1 + A * R_2}$$

Donde:

$R_1 = \text{Resistencia de convección } \left(\frac{K}{W}\right)$

$R_2 = \text{Resistencia de conducción } \left(\frac{K}{W}\right)$

Resistencia por convección:

$$R_1 = \frac{1}{h * A}$$

Donde:

$h = \text{Coeficiente de convección aire } \left(10 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)$

$A = \text{Área de transferencia (m}^2\text{)}$

$$R_1 = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 2.75 m^2}$$

$$R_1 = 0.0364 \left(\frac{K}{W} \right)$$

Resistencia por conducción:

$$R_2 = \frac{e}{k * A}$$

Donde:

$e = \text{Espesor del recipiente (} 5.44 \times 10^{-3} \text{m)}$

$k = \text{Coeficiente de conducción (} 47 \frac{W}{m^2 \cdot K} \text{)}$

$A = \text{Área de transferencia (m}^2\text{)}$

$$R_2 = \frac{(5.44 \times 10^{-3} m)}{(47 \frac{W}{m^2 \cdot K}) * 2.75 m^2}$$

$$R_2 = 4.20 \times 10^{-5} \left(\frac{K}{W} \right)$$

Coeficiente global de transferencia:

$$U = \frac{1}{\sum R * A} = \frac{1}{(0.0364 + 4.20 \times 10^{-5}) \frac{K}{W} * 2.75 m^2} = 9.97 \frac{W}{K m^2}$$

Calor perdido del sistema:

$$q = U * A * \Delta T$$

$$q = \left(9.97 \frac{W}{K m^2} \right) * (2.75 m^2) * (368 - 298^\circ K)$$

$$q = 1907.68 W$$

3.4.2 Diseño de equipos

Para el diseño de los equipos se estableció una escala de 75:1 respecto al proceso a escala del laboratorio que se realizó para obtener los datos, la finalidad es llevar a una escala industrial abarcando un mayor volumen.

En la industria papelera los equipos deben construirse de acero inoxidable prevalece la calidad del producto además de ser un material resistente a la corrosión y a la exposición térmica las aleaciones de acero que se recomiendan es **AISI 405** y **ASTM A240**: tienen buena ductilidad y un grado soldable excelente que se puede exponer a movimientos o golpes además de tener buena resistencia a temperaturas bajo de los 1200°F y mayor resistencia a la corrosión.

Antes de iniciar con los cálculos para los diseños se debe tomar el coeficiente de seguridad debido a que la ingeniería no es una ciencia exacta y poder tener datos más precisos. El facto de seguridad se determina por una serie de incertidumbres como son: cargas a considerar, propiedades mecánicas de los materiales, dimensiones de los elementos estructurales, precisión de los cálculos, esfuerzos admisibles, métodos probabilísticos y diseños por estado límite (Salazar, 2007)

- Diseño de la mesa de contención para el lavado y selección de la materia prima

En esta mesa se va a ubicar la materia recolectada con el muestreo de cuarteo in situ para la selección y lavado del estiércol.

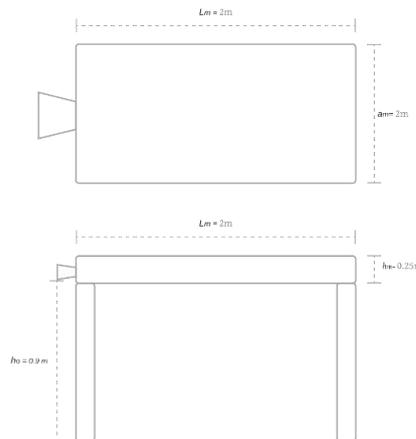


Tabla 16-3. Dimensiones para el volumen de la mesa de lavado y selección.

Especificaciones de la mesa	Dimensión (m)
Altura (h_o)	0.9
Longitud (L_m)	2
Ancho (a_m)	1
Altura de la caja (h_m)	0.25

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$V_m = L_m * a_m * h_m$$

$$V_m = 2 * 1 * 0.25$$

$$V_m = 0.5m^3$$

Tabla 17-3. Datos para la capacidad de la mesa

Especificaciones	Dimensión (kg/m^3)
Densidad del estiércol fresco ρ_{est}	725.748

Fuente: (FEADER, 2010)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$\rho_{estiércol} = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho_{estiércol} * V_m$$

$$m = 725.748 * 0.5 \left(\frac{kg}{m^3} * m^3 \right)$$

$$m = 362.874 kg$$

- Diseño de recipientes para la cocción

Para el diseño de este equipo se los parámetros establecidos en Chemical Engineering Design de (Towler & Sinnott; 2012) donde indica que para cilindro hueco de 1 metro de diámetro se necesita 5 milímetros de espesor para garantizar la impermeabilidad a la corrosión de 2mm. Para los flujos de alimentación se aplica la escala 75:1 para determinar el volumen a través de la densidad.

Para los tanques se trabaja con un volumen teórico que es el estimado en base a los datos experimentales y el tiempo establecido para evitar desbordamientos en el caso que el proceso deje de ser continuo se aplica un factor de seguridad del 20%, mientras para la altura del tanque el factor es del 10% y el diámetro de los tanques se calculan aplicando la siguiente ecuación (Heredia, 2016).

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8V}{\pi}}$$

Tanque de esterilizado

Volumen del tanque:

Tabla 18-3. Datos para calcular el volumen del tanque de esterilizado

Masas entrada	Cantidad (kg)	Densidad ρ (kg/m ³)
Estiércol m_e	50.60	725.748
Agua m_{Agua}	506.25	1000

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$\rho = \frac{m}{v} \left(\frac{kg}{m^3} * kg \right)$$

Volumen del Estiércol:

$$V_e = \frac{m_e}{\rho_{estiércol}}$$

$$V_e = \frac{50.60}{725.748}$$

$$V_e = \mathbf{0.070 m^3}$$

Volumen del Agua:

$$V_{Agua} = \frac{m_{Agua}}{\rho_{agua}}$$

$$V_{Agua} = \frac{506.25}{1000}$$

$$V_{Agua} = \mathbf{0.5063 m^3}$$

Volumen del recipiente:

$$V_R = V_e + V_{Agua} \quad (m^3)$$

$$V_R = 0.070 + 0.5063$$

$$V_R = \mathbf{0.5763 m^3}$$

Aplicando el factor de seguridad de 20%.

$$V_T = V_R + V_R * (0.2)$$

$$V_T = 0.5763 + 0.5763 * 0.2$$

$$V_T = 0.70 \text{ m}^3$$

Determinación del diámetro del tanque:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8V}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8 * 0.70}{\pi}}$$

$$\phi = 1.21 \text{ m}$$

Altura del tanque de esterilizado

Tabla 19-3. Datos para la altura del tanque de esterilizado

Especificaciones	Dimensiones (SI)
Radio r	0.60 m
Volumen total V_T	0.70 m ³

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$h = \frac{V_T}{\pi * r^2} \text{ (m)}$$

$$h = \frac{0.70}{\pi * 0.60^2}$$

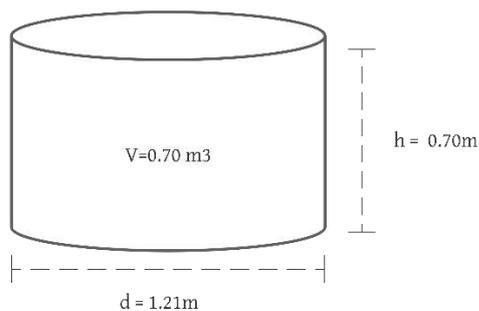
$$h = 0.62 \text{ m}$$

Aplicando el factor de seguridad de 10%.

$$h_T = h + h * 0.1$$

$$h_T = 0.62 + 0.62 * 0.1$$

$$h_T = 0.67 \approx 0.70 \text{ m}$$



Tanque del despulpado

Volumen del tanque:

Tabla 20-3. Datos para calcular el volumen del tanque del despulpado

Masas entrada	Dimensión (kg)	Densidad ρ (kg/m ³)
Estiércol m_e	19.35	725.748
NaOH m_{NaOH}	3	2130
Agua m_{Agua}	193.5	1000

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$\rho = \frac{m}{v} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \text{kg} \right)$$

Volumen del Estiércol:

$$V_e = \frac{m_e}{\rho_{estiércol}}$$

$$V_e = \frac{19.35}{725.748}$$

$$V_e = 0.027\text{m}^3$$

Volumen del NaOH:

$$V_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{\rho_{NaOH}}$$

$$V_{NaOH} = \frac{3}{2130}$$

$$V_{NaOH} = 0.0014\text{m}^3$$

Volumen del Agua:

$$V_{\text{Agua}} = \frac{m_{\text{Agua}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{Agua}} = \frac{193.5}{1000}$$

$$V_{\text{Agua}} = 0.1935 \text{ m}^3$$

Volumen del recipiente:

$$V_R = V_e + V_{\text{NaOH}} + V_{\text{Agua}} \quad (\text{m}^3)$$

$$V_R = 0.030 + 0.0014 + 0.1935$$

$$V_R = 0.2219 \text{ m}^3$$

Aplicando el factor de seguridad de 20%.

$$V_T = V_R + V_R * (0.2)$$

$$V_T = 0.2539 + 0.2539 * 0.2$$

$$V_T = 0.2663 \text{ m}^3$$

Determinación del diámetro del tanque:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8Vm^3}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8 * 0.30}{\pi}}$$

$$\phi = 0.87 \text{ m}$$

Altura del tanque de despulpado

Tabla 21-3. Datos para la altura del tanque de despulpado

Especificaciones	Dimensiones (SI)
Radio r	0.44 m
Volumen total V_T	0.30 m ³

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$h = \frac{V_T}{\pi * r^2} (m)$$

$$h = \frac{0.30}{\pi * 0.44^2}$$

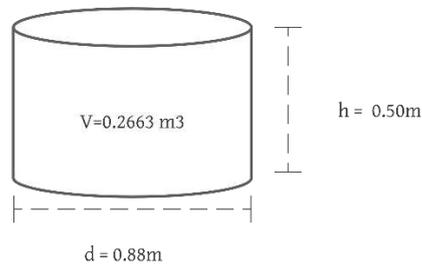
$$h = 0.49 \approx 0.50m$$

Aplicando el factor de seguridad de 10%.

$$h_T = h + h * 0.1$$

$$h_T = 0.44 + 0.44 * 0.1$$

$$h_T = 0.48 \approx 0.5 m$$



Tanque del blanqueado

Volumen del tanque:

Tabla 22-3. Datos para calcular el volumen del tanque de blanqueado

Flujos de entrada	Cantidad
Masa Pulpa lavada (despulpado)	46.88 kg
Densidad de la pulpa	$1053.7 \frac{kg}{m^3}$
Volumen de Hipoclorito (10%)	$0.0094m^3$
Volumen de Agua	$0.0225m^3$

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Volumen del Agua:

$$V_{pulpa} = \frac{m_{pulpa}}{\rho_{pulpa}} m^3$$

$$V_{pulpa} = \frac{9.83}{1053.7}$$

$$V_{pulpa} = 0.0093 \text{ m}^3$$

Volumen del recipiente:

$$V_R = V_{pulpa} + V_{cloro} + V_{Agua} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_R = 0.0095 + 0.0092 + 0.0225$$

$$V_R = 0.0412 \text{ m}^3$$

Aplicando el factor de seguridad de 20%.

$$V_T = V_R + V_R * (0.2)$$

$$V_T = 0.0412 + 0.0412 * 0.2$$

$$V_T = 0.050 \text{ m}^3$$

Determinación del diámetro del tanque:

$$\sqrt[3]{\frac{8V}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8 * 0.050}{\pi}}$$

$$\phi = 0.50 \text{ m}$$

Altura del tanque de despulpado

Tabla 23-3. Datos para la altura del tanque

Especificaciones	Valor
Radio r m	0.25
Volumen total V_T m ³	0.050

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$h = \frac{V_T}{\pi * r^2} \text{ (m)}$$

$$h = \frac{0.050}{\pi * 0.25^2}$$

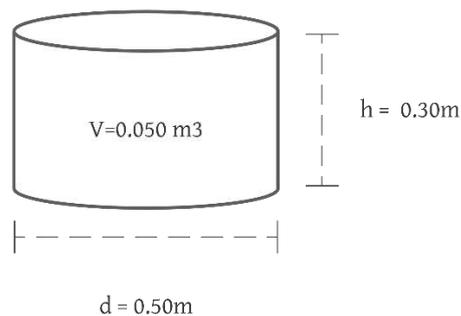
$$h = 0.255m$$

Aplicando el factor de seguridad de 10%.

$$h_T = h + h * 0.1$$

$$h_T = 0.255 + 0.255 * 0.1$$

$$h_T = 0.30m$$



- Diseño para el trípode

Dimensiones del trípode para tanques con radio de 0.25-0.75m.

Tabla 24-3. Datos para el soporte

Especificaciones	Dimensiones m
Altura del soporte (V)	0.48
Longitud de laca de apoyo (C)	0.55
Longitud media (E)	0.24
Distancia de separación (J)	0.190
Diámetro soporte (t _i)	6mm

Fuente: (Towler & Sinnott 2012)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

- Secador

Para los cálculos del diseño se van a tomar los datos del balance de masa y las temperaturas de trabajo y datos adicionales que se necesitan.

Tabla 25-3. Flujos y temperaturas de proceso de secado

Estiércol húmedo (m_e) kg	44.55
Estiércol seco (m_s) kg	19.35
Temperatura inicial (T_0) °K	298
Temperatura de secado (T_i) °K	378

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 26-3. Dimensiones del equipo

Internas		Externas	
Longitud l_i (m)	0.55	Longitud l_e (m)	0.65
Altura h_i (m)	0.75	Altura h_e (m)	0.93
Ancho a_i (m)	0.44	Ancho a_e (m)	0.53
Área A_i (m^2)	1.9	Área A_e (m^2)	2.7

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 27-3. Datos adicionales para la transferencia de calor

Coefficiente de transferencia de calor acero (α_1) W/Km^2	16.3
Coefficiente de transferencia de calor lana de vidrio (α_2) W/Km^2	0.039
Coefficiente de transferencia de calor vapor de agua (h_1) W/Km^2	2850
Espesor del acero (e_a) m	0.002
Espesor lana de vidrio (e_l) m	0.04

Fuente: (Geankoplis, 1998)

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Se determina el volumen interno de la estufa utilizando un factor de seguridad del 25%.

$$V = h_i * a_i * l_i$$

$$V = 0.55 * 0.44 * 0.75$$

$$V = 0.1815 \text{ m}^3$$

Aplicando el factor de seguridad.

$$V_s = 0.1815 + 0.1815 * 0.25$$

$$V_s = 0.230 \text{ m}^3$$

Calor requerido para secar la muestra (Q_R)

$$Q_R = C_p * m * \Delta T$$

Donde:

C_p : Capacidad calorífica del estiércol $\frac{kJ}{kg}$

Q_R : Calor requerido $\frac{kJ}{kg}$

m : Masa de estiércol kg

ΔT : Varición de la temperatura $^{\circ}K$

$$Q_R = 16.25 * 19.35 * (378 - 298)$$

$$Q_R = 31443.75 \text{ kJ}$$

Calor de evaporación del agua (Q_u)

$$Q_u = W_e * Q_v$$

Donde:

W_e : Cantidad de agua evaporada kg

Q_v : Calor de evaporación del agua 2256.5 kJ/kg

$$Q_u = 2256.5 * 38.54$$

$$Q_u = 86965.51 \text{ kJ/kg}$$

Calor del sistema (Q_{sist})

$$Q_{sist} = Q_R * Q_U$$

$$Q_{sist} = 31443.75 + 86965.51$$

$$Q_{sist} = 118409.26 \text{ kJ/kg}$$

Cantidad de energía eléctrica consumida el calor (E).

$$E = 118404.26 \text{ kJ} * \frac{0.000278 \frac{kW}{h}}{1 \text{ kJ}}$$

$$E = 32.89 \frac{kW}{h}$$

Potencia eléctrica necesario para el secado (P).

$$P = 32.89 \frac{kW}{h} * 7.23h$$

$$P = 232.79kW$$

Rapidez de transferencia de calor (q_x)

$$q_x = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

Donde:

ΔT : Variación de la temperatura

$\sum R$: Sumatoria de las resistencias (K/W)

Las resistencias térmicas se determinan según la transferencia de calor que reciben puede ser por convección o por conducción (Geankoplis, 1998).

Resistencia térmica vapor de agua.

$$R_1 = \frac{1}{h_1 * A_i}$$

$$R_1 = \frac{1}{2850 * 1.9}$$

$$R_1 = 1.85x10^{-4} \frac{K}{W}$$

Resistencia térmica del acero.

$$R_2 = \frac{\Delta x}{\alpha_1 * A_e}$$

$$R_2 = \frac{0.002}{16.3 * 2.7}$$

$$R_2 = 4.54x10^{-5} \frac{K}{W}$$

Resistencia térmica del aislante lana de vidrio.

$$R_3 = \frac{\Delta x}{\alpha_2 * A_e}$$

$$R_3 = \frac{0.04}{0.038 * 2.7}$$

$$R_3 = 0.38 \text{ K/W}$$

Rapidez de transferencia de calor sin aislante térmico.

$$q_s = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2}$$

$$q_s = \frac{378 - 298}{1.85x10^{-4} + 4.54x10^{-5}}$$

$$q_s = 347222.22 \text{ W}$$

Rapidez de transferencia de calor con aislante térmico.

$$q_a = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$q_a = \frac{378 - 298}{1.85x10^{-4} + 4.54x10^{-5} + 0.38}$$

$$q_a = 210.40 \text{ W}$$

Rapidez de transferencia de calor del proceso

$$q_x = q_s - q_a$$

$$q_x = 347222.22 - 210.40$$

$$q_x = 347011.84 \text{ W}$$

- **Diseño del Agitador**

El agitador ayuda a que la mezcla homogénea tenga una consistencia de 0.36%. de la pulpa blanqueada.

Volumen del tanque del agitador.

Tabla 28-3. Datos para calcular el volumen del agitador

Flujos de entrada	Cantidad
Masa Pulpa blanqueada	9.525 kg
Densidad de la pulpa	$1025.9 \frac{kg}{m^3}$
Volumen de Agua	$0.2740 m^3$

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Volumen del Agua:

$$V_{pulpa} = \frac{m_{pulpa}}{\rho_{pulpa}} m^3$$

$$V_{pulpa} = \frac{9.525}{1025.9}$$

$$V_{pulpa} = \mathbf{0.0093 m^3}$$

Volumen del recipiente:

$$V_A = V_{pulpa} + V_{Agua} \quad (m^3)$$

$$V_A = 0.0093 + 0.2740$$

$$V_R = \mathbf{0.2833 m^3}$$

Aplicando el factor de seguridad de 20%.

$$V_T = V_R + V_R * (0.2)$$

$$V_T = 0.2833 + 0.2833 * 0.2$$

$$V_T = \mathbf{0.35 m^3}$$

Determinación del diámetro del tanque:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8V}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{8 * 0.35}{\pi}}$$

$$\phi = 0.96 \text{ m}$$

Altura del tanque del agitador

Tabla 29-3. Datos para la altura del tanque

Especificaciones	Dimensiones (SI)
Radio r	0.48 m
Volumen total V_T	0.96 m ³

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$h = \frac{V_T}{\pi * r^2} \text{ (m)}$$

$$h = \frac{0.35}{\pi * 0.48^2}$$

$$h = 0.49\text{m}$$

Aplicando el factor de seguridad de 15%.

$$h_T = h + h * 0.15$$

$$h_T = 0.49 + 0.49 * 0.15$$

$$h_T = 0.56\text{m}$$

Sistema de agitación:

Para homogenizar la mezcla se utiliza impulsores o agitadores hay de diferentes tipos y según el flujo de trabajo se escogen, como la mezcla de la pulpa es un fluido de baja viscosidad se optó por un agitador tipo hélice trabaja con flujo axial a velocidad media – alta en régimen turbulento. El impulso se construirá de acero inoxidable AISI 316 a una velocidad de 135rpm.

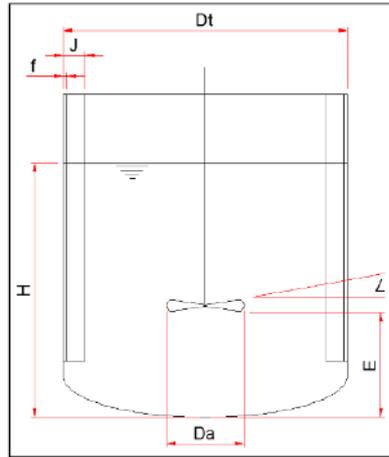


Figura 2-3. Sistema de agitación del tipo hélice

Fuente: (Castillo, 2013)

Tabla 30-3. Semejanzas geométricas impulsor tipo hélice

$\frac{D_a}{D_t} = 0.66$	$\frac{E}{D_t} = 0.33$	$\frac{J}{D_t} = 0.1$	$\frac{f}{J} = 0.02$	$\leq 25^\circ$	$\frac{W}{D_a} = 0.2$	$\frac{g}{D_a} = 0.25$
--------------------------	------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------	-----------------------	------------------------

Fuente: (Castillo, 2013)

Donde:

D_a : Diámetro del impulsor (m)

D_t : Diámetro del tanque (m)

E : Altura del impulsor respecto al fondo del tanque (m)

J : Ancho placa

f : Espacio entre placa y estanco

g : Largo de aspa

W : Ancho de aspa

Diámetro del impulsor:

$$D_a = 0.66 * D_t$$

$$D_a = 0.66 * 0.96$$

$$D_a = 0.64m$$

Altura del impulsor respecto al fondo del tanque:

$$E = 0.33 * D_t$$

$$E = 0.33 * 0.96$$

$$\mathbf{E = 0.32m}$$

Longitud del brazo:

$$L_b = h_T - E$$

$$L_b = 0.56 - 0.32$$

$$\mathbf{L_b = 0.24m}$$

Largo de las aspas:

$$g = 0.25 * D_a$$

$$g = 0.25 * 0.64$$

$$\mathbf{g = 0.16m}$$

Ancho de las aspas:

$$W = 0.2 * D_a$$

$$W = 0.2 * 0.64$$

$$\mathbf{W = 0.12m}$$

Dimensiones de las placas deflectoras.

Distancia entre placa y estanque:

$$J = 0.1 * D_t$$

$$J = 0.1 * 0.96$$

$$\mathbf{J = 0.09m}$$

Ancho de la placa:

$$f = 0.02 * J$$

$$f = 0.02 * 0.09$$

$$f = \mathbf{0.0018m}$$

Número de Reynolds (Re):

Es un numero adimensional que relaciona la fuerza de inercia con la fuerza viscosa del fluido hay tres casos régimen laminar, transitorio y turbulento (Castillo, 2013), su ecuación es:

$$N_{Re} = \frac{N * D_a^2 * \rho}{\mu}$$

Donde:

N: Velocidad de rotación (rpm)

D_a: Diámetro del impulsor (m)

ρ: Densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$)

μ: Viscosidad (Pa * s)

$$N_{Re} = \frac{135 * 0.52^2 * 1025.9}{0.25}$$

$$N_{Re} = \mathbf{149797.81}$$

Fluido de régimen turbulento

Número de potencia (Np):

Es directamente proporcional entre la fuerza de rozamiento que actúa en el impulsor y la fuerza de inercia para tanque con placas deflectoras el Np esta correlacionado con el N_{Re} según (Castillo, 2013) y su ecuación es:

$$Np = \frac{P}{N^3 * D_a^5 * \rho}$$

Donde:

N : Velocidad de rotación (rpm)

D_a : Diámetro del impulsor (m)

ρ : Densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$)

P : Potencia del impulsor (watts)

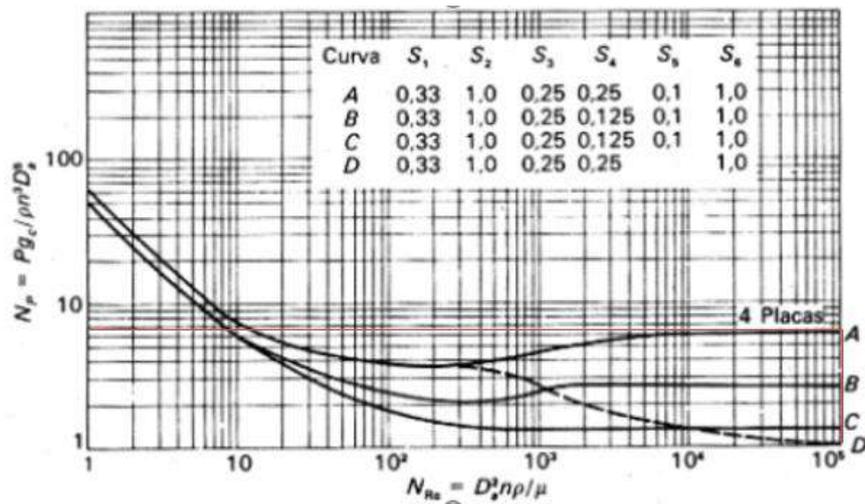


Gráfico 3-3. Número de Potencia N_p vs N_{Re}

Fuente: (Castillo, 2013)

$$N_p = \frac{P}{N^3 * D_a^5 * \rho} = 5.9$$

$$P = N_p(N^3 * D_a^5 * \rho)$$

$$P_A = 5.9 * (2.25^3 * 0.52^5 * 1025.9)$$

$$P = 2621.33 \text{ W}$$

$$P_A = 2621.33 \text{ W} * \frac{1 \text{ Hp}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P_A = 3.52 \text{ Hp}$$

- **Diseño de los bastidores**

Los bastidores se forman en un marco rectangular de madera o metal y dos tipos de mallas para denar el agua de forma homogénea para cada formato de hoja están establecidas las medidas del bastidor.

Tabla 31-3. Dimensiones de los bastidores

Formato hoja	Ancho del bastidor (cm) a	Largo de bastidor (cm) L
A4	25	33.7
21x29.7 cm		
A5	18.85	25
14.85x21 cm		

Realizado por: Mora, Lady. 2021

- **Tina de la mezcla**

Es el recipiente donde se van a sumergir los bastidores para recoger la pulpa y formar la hoja de papel.

Tabla 32-3. Dimensiones para la tina

Especificaciones de la tina	Dimensión (m)
Altura de las bases (h_o)	0.75
Longitud (L_t)	2
Ancho (a_t)	1
Volumen total (V_T) m ³	1.52

Fuente: Laboratorio de Bromatología

Realizado por: Mora, Lady. 2021

$$V_T = Lm * am * h$$

$$h = \frac{V_T}{Lm * am}$$

$$h = \frac{1.52}{2 * 1}$$

$$h = 0.76m$$

3.4.3 Estimación del presupuesto

Para la implementación del proceso industrial para la obtención del papel se estableció los costos de reactivos, equipos y maquinarias, recursos humanos, análisis de laboratorio.

Tabla 33-3. Costo de insumos materia prima y reactivos producción semanal

Materia	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Total \$
Estiércol	50	kg	---	---
Hidróxido de sodio	5	kg	4	20
Agua	800	Gal	0.02	12
Hipoclorito de sodio	80	L	0.45	36
TOTAL				68

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 34-3. Recursos humanos

Personal	Cantidad	Total \$
Operario	1	400
Técnico laboratorio de calidad	1	650
Administrador	1	600
TOTAL		1650

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 35-3. Equipos y maquinarias

Equipos	Precio \$
Mesa de selección y lavado	130
Secador	850
Quemador a gas	150
Tanque de esterilizado	480
Tanque de despulpado	587
Tanque de blanqueo	530
Agitador	912
Bastidores	50
Tina de mezcla	150
Prensa	1200
TOTAL	5039

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 36-3. Insumos Eléctricos

Insumos	Precio
Electricidad	530
Cable 06	8.80
Cable 12	10
Instalación eléctrica	157
TOTAL	705.8

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 37-3. Análisis de laboratorio

Análisis	Cantidad	Precio \$
Análisis microbiológico de la materia prima y la pulpa tratada.	2	17
Análisis bromatológicos.	2	22.5
Determinación de la consistencia de pulpa.	2	5
Determinación de la lignina (pulpa)	2	12.5
Determinación de la celulosa (pulpa)	2	12.5
Espectroscopia de transición infrarrojo (pulpa)	2	20
Blancura de la lámina (papel)	2	25
Ensayos de tracción papel	2	15
Microscopia electrónica de barrido-SEM papel	2	30
Calidad del papel	2	10
TOTAL		166.5

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 38-3. Presupuesto implementación del proyecto

Rubros	Valor \$
Insumos	68
Recursos humanos	1650
Recursos materiales	5039
Análisis de laboratorio	705.8
Insumos eléctricos	166.5
TOTAL	7729.3

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 39-3. Presupuesto de producción

ITEM	COSTOS
Recursos Humanos	1650
Insumos materia prima	273
Análisis de laboratorio	166.5
Subtotal	2089.5
Improvistos 10%	208.95
Total	2298.45

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 40-3. Costo de producción por paquete (10hojas - A4)

ITEM	COSTOS
Recursos Humanos	1.3
Insumos materia prima	0.20
Análisis de laboratorio	0.13
Subtotal	1.63
Improvistos 10%	0.163
Total	1.79

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Se determina que el valor unitario por cada paquete de 10 hojas de papel tiene un costo de producción de \$ 1.79 mismo que está a la venta a un precio de \$ 2.00 considerando que este tipo de papel artesanal en el mercado se encuentra entre los \$2.00 y \$3.00 si se produce los 200 kg de estiércol mensual se tienen 1200 paquetes teniendo como valor de venta de \$ 24000.00.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Caracterización de la materia prima

4.1.1 Análisis bromatológicos

Tabla 1-4. Análisis bromatológicos

Muestra de estiércol de ganado vacuno			
Parámetros	UOnidad	Método de análisis	Muestra fresca
pH	-	4500-H-B	7.34
Humedad	%	INEN 1235	85.4
Cenizas	%	INEN 401	2.5
Fibra bruta	%	Método WEENDE	67

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Los resultados obtenidos para el análisis bromatológico de la tabla 1-4: el potencial de hidrógeno es de 7.34 en la muestra fresca dato que se encuentra dentro del rango establecido por (Jiménez et al. 2004) que va de 6.5 y 7.5 esto de acuerdo con la fermentación entérica que se da en el tracto digestivo del animal.

La humedad es un parámetro que indica si el crecimiento bacteriano es favorable, la muestra de estiércol fresco es de 85.4 % representa la cantidad de agua por cada kg de materia seca es un dato cercano al rango establecido de 90 - 96.54% como en el Capítulo II se indica que el estiércol este compuesto de una mezcla de las heces de los animales con los orines y la cama. Mientras el porcentaje de cenizas en el estiércol fresco es de 2.5% es un indicador que aumenta en materia seca un 14% da a conocer el contenido de materia sólida.

La fibra en estiércol fresco representa un 67% según (Pedraza, 1986) la producción de estiércol está correlacionado con el peso corporal del animal de 640 kg de peso produce 50 kg de estiércol por día donde el porcentaje de fibra está entre 40 - 65 % lo que la muestra estudiada sobrepasa el rango esto se debe a los forrajes de alimentación las pajas, tallos, pastos y granos tienen alto su contenido fibroso, como la digestión no procesa toda la fibra de la cual se obtiene el 96% celulosa y formar el papel.

4.1.2 Análisis microbiológicos

Tabla 2-4. Análisis microbiológicos

Muestra de estiércol de ganado vacuno				
Parámetros	Unidad	Método de análisis	Muestra fresca	Muestra tratada
<i>Aerobios mesófilos</i>	UFC/g	ISO 4833-2:2013	2.04X10 ⁸	0.00
<i>Mohos y levaduras</i>	UFC/g	APHA 2001	1.8X10 ³	0.00
<i>Staphylococos aureus</i>	UFC/g	NB: 32004:2004	---	---
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/g	9222-B	5.8 x 10 ⁷	0.00
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/g	9222-D	2.4X10 ⁷	0.00

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Como indicadores microbiológicos se analizaron aerobios mesófilos según la tabla 2-4: se tiene un valor de 2.04x10⁸ unidades formadoras de colonias por cada gramo (UFC/g) en mohos y levaduras 1.8X10³ UFC/g, para *Staphylococos áureos* dio negativo en coliformes totales 5.8 x 10⁷ UFC/g y *escherichia coli* 2.4X10⁷ UFC/g todos estos parámetros permiten determinar la carga bacteriana para poder adecuar un tratamiento para eliminar todas las bacterias lo que se logra con tratamiento de esterilización a más de 150 °C por 3 horas en la primera etapa, en la digestión de la lignina o despulpado se trató con sosa cáustica a una temperatura de 150 °C durante 4 horas, el tratamiento final antes de volver a realizar los análisis microbiológico es el blanqueado con hipoclorito de sodio al 10% a 65 °C el tiempo de exposición de 45 min además en cada proceso se realizaban lavados. Los resultados del segundo análisis de la muestra tratada para todos los indicadores arrojaron negativo, se logró eliminar la carga bacteriana del estiércol, cabe indicar que los tratamientos que se aplicaron son los mismos que se le realiza a la celulosa de madera, la pulpa obtenida es inocua para elaborar el papel.

4.2 Rendimiento de la pulpa

Tabla 3-4. Resultados del rendimiento de la pulpa

Muestra	% Rendimiento
a ₁	69.82
a ₂	61.81
a ₃	55.65
b ₁	68.19
b ₂	60.16
b ₃	55.32
c ₁	66.90
c ₂	58.89
c ₃	52.79

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 4-4. Simbología de tratamientos de despulpado

Código alfabético	Tiempo de cocción (h)	Código numérico	Concentración de NaOH %
a	3	1	10
b	4	2	15
c	5	3	20

Realizado por: Mora, Lady. 2021

El tiempo de cocción y la concentración de hidróxido de sodio influyen directamente en el rendimiento de la pulpa. Según Torres (2019) si la concentración de hidróxido aumenta existe mayor absorción en el material fibroso y el rendimiento disminuye, así como un exceso en el tiempo de cocción va a degradar la celulosa ocasionando pérdidas. Los resultados de la tabla 3-4: permiten deducir para tener un alto rendimiento, la concentración de NaOH es baja con un tiempo de cocción mínimo caso contrario el rendimiento disminuye.

4.3 Determinación de lignina y celulosa en la pulpa

Tabla 5-4. Resultados del porcentaje de lignina y celulosa en la pulpa de estiércol

Muestra	% Lignina	% Celulosa
a ₁	5.55	72.96
a ₂	5.07	75.23
a ₃	4.89	81.35
b ₁	5.19	73.58
b ₂	3.87	85.15
b ₃	4.09	81.61
c ₁	3.57	83.42
c ₂	2.52	85.09
c ₃	1.98	87.85

Realizado por: Mora, Lady. 2021

El porcentaje de lignina presente en la pulpa disminuye al aumentar la concentración de NaOH y el tiempo de cocción, dando un alto porcentaje de celulosa, pero en estas condiciones la celulosa pierde sus propiedades de adherencia al degradarse con facilidad, con estos datos se deduce que el mejor tratamiento es el a₁ que trabaja en condiciones mínimas, como (Sánchez, 2009) manifiesta que los pastos y pajas tienen bajo contenido de lignina la impregnación del NaOH es inmediata y la eliminación de esta es más fácil dando como resultado que el rendimiento de la pulpa no se vea afectado.

4.4 Caracterización de la pulpa de papel

La Espectroscopia de transmisión de infrarrojo permite observar la estructura química de la celulosa mediante de los grupos funcionales que hacen parte de un compuesto a través de vibración de la longitud de onda, los estudios realizados por (Romero Viloria et al. 2014) presentan el IR de la celulosa virgen en los espectros IR del gráfico 1-4: destacan secciones significativas principales de absorción, la primera está entre 3.000 y 2300 cm^{-1} son longitudes altas y la segunda pico está dentro del rango de 1.650 y 450 cm^{-1} . También se aprecian picos en el rango de $3.650 - 3.400\text{ cm}^{-1}$ que indica el grupo OH de los puentes de hidrógeno intermoleculares y el pico que esta entre $3.000 - 2.850\text{ cm}^{-1}$ está asociado con el estiramiento de los grupos CH presentes en la celulosa. Mientras el pico de absorción entre $1.066 - 1.050\text{ cm}^{-1}$ se atribuye a las vibraciones de los grupos C-O-C que constituye a la celulosa.

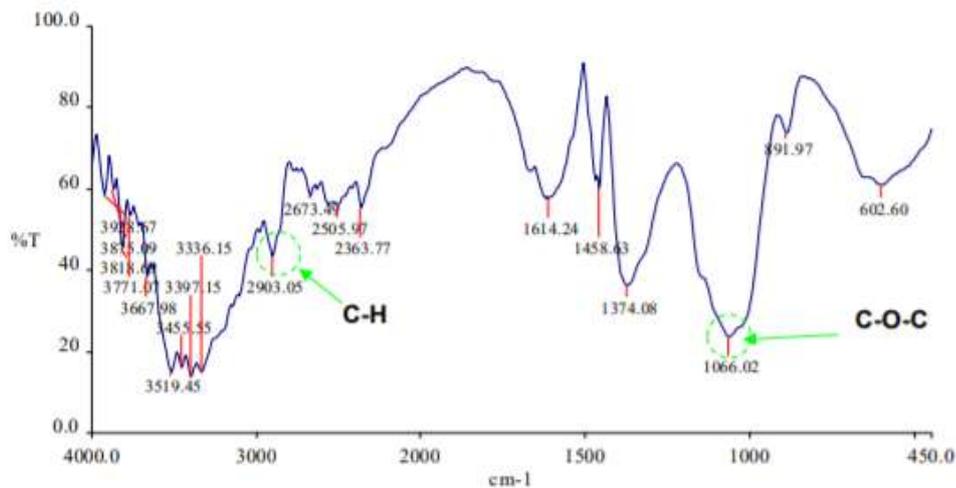


Gráfico 1-4. Espectro IR de muestra tratada con NaOH al 10% m/m

Fuente: (Romero Viloria et al. 2014)

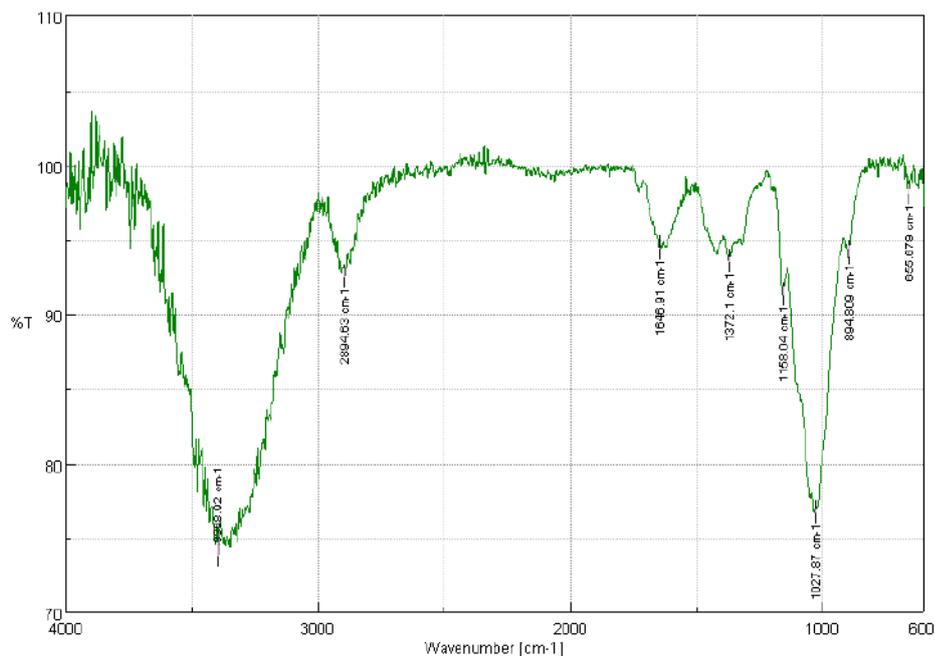


Gráfico 2-4. FTIR muestra-1 pulpa de estiércol

Fuente: Mora, Lady. 2021

En la tabla 6-4: y el gráfico 2-4: se muestra los resultados del IR de la pulpa de celulosa obtenida del estiércol con sosa cáustica a temperatura 150°C los picos son de 3398.92, 2894.63, cm^{-1} indican el grupo OH de los puentes de hidrógeno de la molécula de agua mientras comparando con los datos del gráfico 1-4: los grupos presentes en la celulosa como los enlaces C-H y C-O-C se muestran en los picos 1646.91, 1372.1, 1158.04, cm^{-1} con una claridad en la frecuencia 1027.87 cm^{-1} lo que indica que la muestra de celulosa extraída del estiércol tiene similitud con la fibra virgen esto hace que sea una buena fuente de materia prima para la elaboración de papel.

Tabla 6-4. Wavernumber vs %T

Wavernumber [cm-1]	%T
3398.92	73.8674
2894.63	92.5287
1646.91	94.4234
1372.1	93.5875
1158.04	91.347
1027.87	76.6678

Realizado por: Mora, Lady. 2021

4.5 Microscopia electrónica de barrido SEM

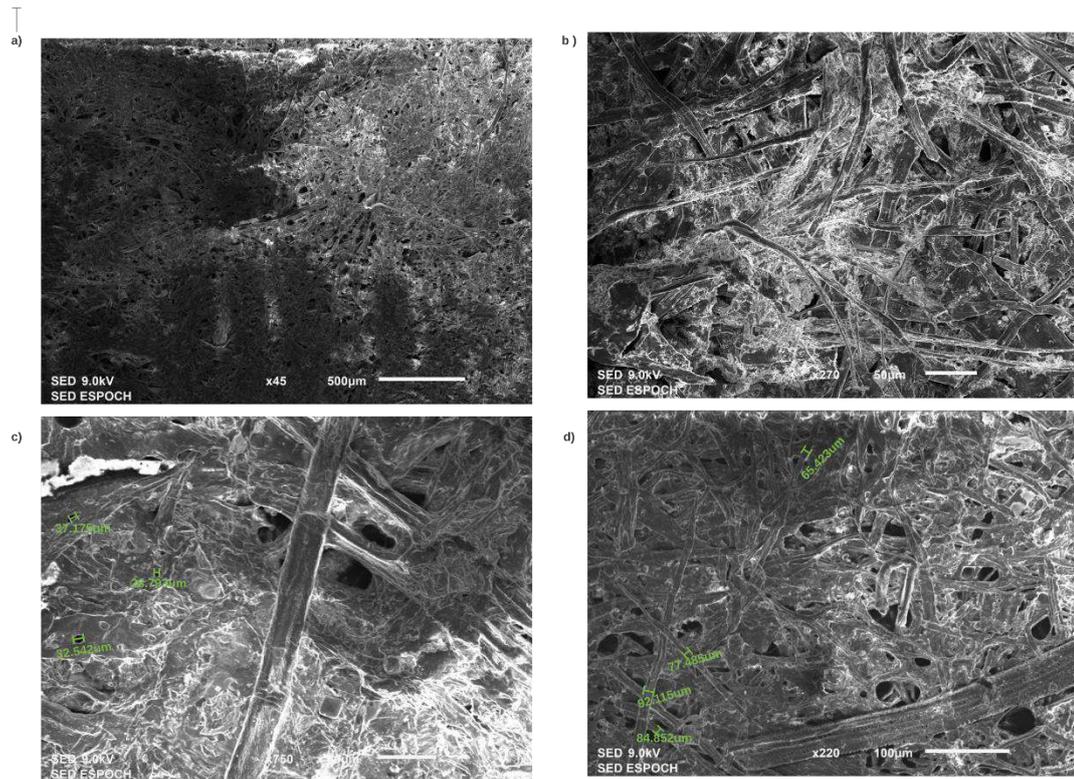


Figura 1-4. SEM del papel

Fuente: Mora, Lady. 2021

Con el microscopio electrónico de barrido se observó la estructura microscópica de la fibra que forma el papel, en la figura 8-4 c) y d) se encuentran el diámetro y longitud de la fibra respectivamente a partir de estos datos se tiene las propiedades biométricas de la fibra.

Tabla 7-4. Propiedades biométricas del papel de estiércol

Longitud de la fibra (L)	803 μm
Diámetro de la fibra (D)	11.74 μm
Diámetro de lumen (u)	7.9 μm
Espesor (ep)	1.92 μm

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Tabla 8-4. Índice de calidad de la fibra del estiércol

Coficiente de Petri (P)	68.39 μm
Coficiente de flexibilidad (CF)	0.67 μm
Coficiente de rigidez (CR)	0.33 μm
Factor de Runkel (FR)	0.48 μm

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Para (Salva, 2009) en su estudio biométrico en fibras leñosas indica que las maderas con lumen y paredes medianas tienen un coeficiente de Petri entre 50-70 μm y un coeficiente de rigidez que oscila entre 0.20-0.35 μm los resultados de la tabla 8-4 se encuentran dentro del rango estudiado, estos parámetros están relacionados en base al grosor de la pared de la fibra y el diámetro de lumen para saber la adherencia entre las fibras. El coeficiente de flexibilidad de las fibras de estiércol tiene un valor de 0.67 μm , según la tabla 13-3 pertenece al grupo II donde las fibras se plastifican indiferentemente, guardan una excelente superficie de contacto y buena adherencia de fibra a fibra dando una mayor resistencia al rasgado, mientras que el factor de Runkel tiene un valor de 0.48 μm , de acuerdo con la tabla 14-3 la fibra analizada se le puede catalogar dentro del grupo II donde las características papeleras son muy buenas como: maderas livianas con paredes delgadas y lumen relativamente amplio, con estos índices de calidad se puede concluir que se obtuvo un papel de buena calidad y excelente resistencia.

4.6 Blancura del papel

A la pulpa se le sometió a un tratamiento en una disolución de hipoclorito de sodio en relación 2:1 respecto al agua, a una temperatura de 65°C por 45 min con estos parámetros se obtuvo una pulpa excelente para el papel, pero se debe tener cuidado en no exceder estos parámetros porque se altera la calidad de la pulpa y pierde la capacidad de plastificarse disminuyendo el área de contacto que al elaborar la hoja de papel puede deformarse o no formarse.

Tabla 9-4. Índice de Blancura

Muestra	a*	b*	L*	$\lambda(\text{nm})$
Estándar	67.81	83.90	100.23	400
a ₁	78.98	83.40	91.63	
a ₂	75.60	79.87	74.24	
a ₃	70.42	80.20	71.9	

Realizado por: Mora, Lady. 2021

Donde:

a*: relativo de colores en rojo y verde

b*: relativo de colores amarillo y azul

L*: valor de luminosidad define negro en 0 y el blanco en 100

λ : longitud de onda

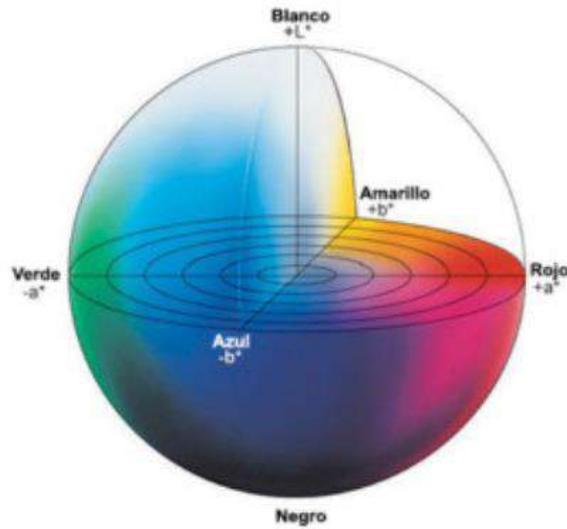


Gráfico 3-4. Gráfica CIE LAB

Fuente:(Corbacho, 2015)

La medida de blancura es una medida de la luz reflejada por el papel a través del espectro visible, el espacio de color $L^*a^*b^*$ fue definido por la Comisión Internacional de Iluminación (CEI) es un espacio tridimensional como se muestra en el gráfico 3-4 que cubre los cuatro colores de la percepción humana o gama y el valor de luminosidad tiene 0 para negro y 100 para blanco. Las muestras se analizaron basándose en el estándar de Iluminante estándar CIE D65 que es el papel bond teniendo como resultados que la muestra a1 es la más blanca cercana al estándar como se muestra en la tabla 9-4 y cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 1423:2013. En las figuras 2-4; 3-4 y 4-4 se observa la intersección de la línea verde que son cada una de las muestras en relación con la línea blanca que es el estándar del papel bond.

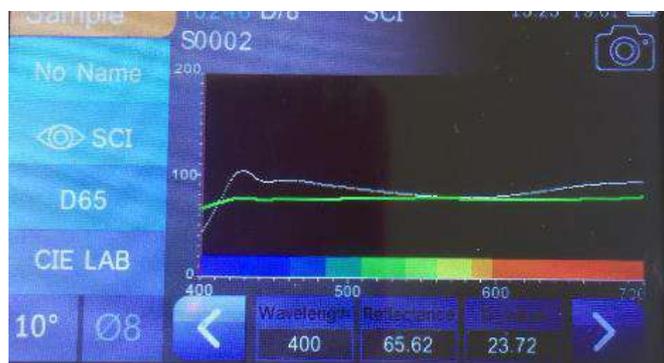


Figura 2-4. Gráfica CIE LAB muestra a₁

Fuente: Mora, Lady. 2021

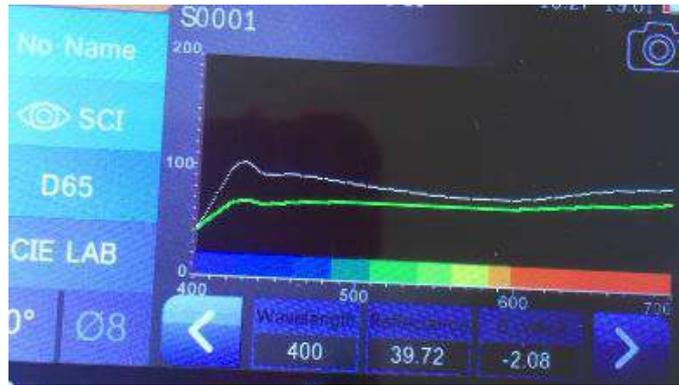


Figura 3-4. Gráfica CIE LAB muestra a₂

Fuente: Mora, Lady. 2021

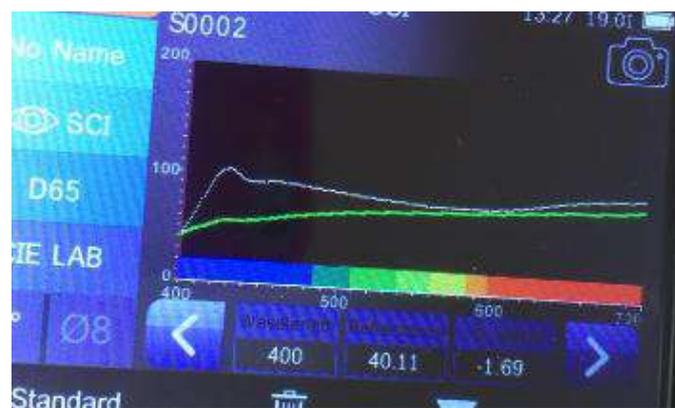


Figura 4-4. Gráfica CIE LAB muestra a₃

Fuente: Mora, Lady. 2021

4.7 Pruebas de tracción calidad del papel.

Tabla 10-4. Resultados de la calidad del papel

Hojas de papel				
Parámetros	Unidad	Método de análisis	Muestra a ₁	Muestra a ₂
Espesor	mm	NTE INEN 1405:2013	0.11	0.43
Anchura	mm		15.00	15.00
Longitud inicial	mm		180.00	180.00
Carga máxima	N		89.27	21.58
Resistencia a la ruptura	kN/m		5.95	1.44
Alargamiento a la rotura	%		3.32	1.35

Realizado por: Mora, Lady. 2021

El estudio de la calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales por (Benítez et al. 2019), indica un espesor de 0.10-0.35mm para su papel artesanal y comparándolo con los

resultados obtenidos en la tabla 10-4 el espesor obtenido para la muestra 1 es de 0.11mm y de 0.43mm para la a_2 , según la bibliografía la a_1 se clasifica como papel bond y la a_2 como cartulina según los requerimientos de la norma NTE INEN 1399:2013.

En la resistencia a la ruptura para el papel artesanal del mismo autor los valores van de entre 0.87 a 5 kN/m, mientras los resultados para el papel a partir de estiércol según la tabla 10-4 son de 1.44 - 5.95 kN/m, lo que indica que tiene buena resistencia y su índice de longitud de ruptura es mayor por ende los resultados de alargamiento de rotura son elevados para la carga máxima entre más homogénea y uniforme sea la distribución de la fibra al formar la hoja, resistirá mayor carga. La pulpa de estiércol de ganado tiene propiedades semejantes a una pulpa tratada con sosa de bagazo de caña de azúcar materia prima de la que ya se elabora papel a gran escala.

4.8 Resultados del diseño

Las dimensiones calculadas para el diseño de cada uno de los equipos planteados, es para una alimentación de 50 kg de estiércol semanal y para obtener 3000 hojas de papel.

Tabla 11-4. Resumen del diseño

MESA DE SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA			
Descripción	Abreviatura	Valor	Unidad
Longitud de la mesa	L_m	2	m
Altura de la mesa	h_o	0.9	m
Ancho de la mesa	a_m	1	m
Altura del borde de la mesa	h_m	0.25	m
Volumen de la mesa	V_m	0.5	m^3
Capacidad de la mesa	m	362.87	kg
RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA ESTERILIZACIÓN			
Volumen del tanque	V_T	0.692	m^3
Diámetro	ϕ	1.20	m
Altura del tanque	h_T	0.61	m
SECADOR			
Volumen del secador	V_S	0.230	m^3
Calor requerido para secar el sólido	Q_R	31443.75	kJ
Calor de evaporación	Q_v	86965.51	kJ
Calor del sistema	Q_{sist}	118409.26	kJ
Rapidez de transferencia de calor	q_x	347011.84	W
Energía eléctrica	E	32.89	kW/h
Potencia	P	232.74	kW
RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA DESPULPADO			
Volumen del tanque	V_T	0.2663	m^3
Diámetro	ϕ	0.88	m
Altura del tanque	h_T	0.50	m
RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA BLANQUEADO			
Volumen del tanque	V_T	0.050	m^3
Diámetro	ϕ	0.50	m
Altura del tanque	h_T	0.30	m
AGITADOR			
Volumen del tanque	V_T	0.35	m^3
Diámetro	D_a	0.64	m

Altura del tanque	h_r	0.56	m
Altura del impulsor	E	0.32	m
Longitud del brazo	L_b	0.24	m
Largo de aspas	g	0.16	m
Ancho de aspas	W	0.12	m
Distancia placa-recipiente	J	0.09	m
Ancho placa	f	0.0018	m
Potencia	P_a	3.52	Hp
BASTIDOR			
Largo del batidor	b	33.7	cm
Ancho del bastidor	a	25	cm

Realizado por: Mora, Lady. 2021

CONCLUSIONES

El análisis bromatológico muestra que el estiércol tiene el 67% de fibra bruta este valor indica que es una buena fuente de celulosa para la obtención de papel y del análisis microbiológico resulta una carga bacteriana nula en la pulpa blanqueada lo que garantiza un producto inocuo.

Para la obtención de papel a nivel del laboratorio se aplicó el método de despulpado con sosa cáustica al 10% obteniéndose un rendimiento del 69.82%, donde coeficiente de flexibilidad tiene un valor de 0.67 μm y el factor de Runkel es de 0.48 μm indican que la pulpa tiene excelentes características papeleras para adherirse de fibra a fibra por la amplia superficie de contacto que poseen. La elaboración de las hojas de papel se realizó según el procedimiento de la norma Tappi T205 sp-02.

A partir de la experimentación se identificaron las variables de proceso la primera corresponde a las temperaturas de cocción para el despulpado se aplica una temperatura de 150 °C por 4 horas y para el blanqueado 65 °C durante 45 min; otra variable a controlar es la concentración de reactivos se agrega solo el 10% de NaOH respecto a la materia prima a despulpar y una proporción de 2:1 de hipoclorito de sodio en relación al agua para el blanqueo si se exceden estos parámetros la pulpa sufre degradaciones irreversibles al perder sus propiedades de adherencia lo que dificulta la formación de las hojas.

El proceso para obtener papel de la celulosa a partir del estiércol requerirá los siguientes equipos: un recipiente de esterilización de 0.692 m^3 , un tanque para el despulpado de 0.2663 m^3 , un tanque de blanqueado de 0.050 m^3 , un agitador para la mezcla de 0.35 m^3 con una potencia de 3.52Hp y 135rpm, una estufa de secado que trabaje a 105 °C por 7,5 horas y una prensa con una fuerza de compactación de 7600 N y una presión de 414 KPa.

Se validó el proceso mediante la caracterización de las láminas de papel con las pruebas de tracción del papel con la norma NTE INEN para papeles y cartones obteniéndose los siguientes resultados: espesor 0.11 mm, anchura 15.00 mm, longitud de rotura 180 mm, carga máxima 89.27 mm, resistencia a la ruptura 5.95 kN/m, alargamiento a la rotura 3.32%, estos valores cumplen con los parámetros establecidos por la norma.

RECOMENDACIONES

Se recomienda probar un nuevo método de despulpado utilizando peróxido de hidrógeno, para ver si se mejora el rendimiento y la calidad de la pulpa.

Agregar encolantes en la formación del papel para mejorar la textura y la resistencia de las láminas.

Tener estricto control en las variables del proceso para que no afecte el rendimiento del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

ASKELAND, D. *Ciencia e Ingeniería de Materiales* [en línea]. 7ª ed. México: Cengage Learning, 2016. [Consulta: 27 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.libreriaingeniero.com/2020/10/ciencia-e-ingenieria-de-materiales-donald-r-askeland-7ma-edicion.html>.

BENÍTEZ, J., et al. “Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas”. *Revista de Ciencia y Tecnología RECyT*, n° 31 (2019), (Colombia) pp. 28–35. ISSN 1851-7587.

BRITO, H. Texto básico de operaciones unitarias III. [en línea]. Riobamba – Ecuador: ESPOCH, 2001, pp. 30-44

CASTELLANO, S., et al. *Biología General* [en línea]. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicación y Difusión Científica, 2015 [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: https://elibro.net/es/ereader/esepoch/57221?as_all=biologia&as_all_op=unaccent__icontains&as_title_type=BOOK&as_title_type_op=in&prev=as.

CASTILLO, V. *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. [en línea]. Chile: 2013. [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: http://3A%2F%2Frepobib.ubiobio.cl%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F412%2F1%2FCastillo_Uribe_Vladimir.pdf.

CENGEL, Y. *Termodinámica* [en línea]. 7ª ed. México: Mc Graw Hill, 2012. [Consulta: 27 marzo 2021]. Disponible en: [http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodinâmica/Material Didático/Livro - Cengel/Termodinámica - Cengel 7th - espanhol.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodinâmica/Material%20Didático/Livro%20-%20Cengel/Termodinámica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf).

CORBACHO, C. Caracterización colorimétrica del test de visión cromática Farnsworth-Musell. (Trabajo de fin de grado) (Grado en Óptica y Optometría). [en línea]. Universidad de Zaragoza, Facultad de ciencias, (España-Zaragoza). 2015. pp. 14. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/31744/files/TAZ-TFG-2015-1776.pdf>.

CORDERO, R. Caracterización química del estiércol y su manejo en explotaciones de lechería familiar de Los Altos de Jalisco. (Trabajo de integración) (Ingeniería). [en línea]. Universidad de Guadalajara centro universitario de Los Altos, Ciencias biométricas e ingenierías, (México-Guadalajara). 2013. pp. 5-11. [Consulta: 04 febrero 2021]. Disponible en: http://repositorio.cualtos.udg.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/535/1/Tesis_Cordero.pdf

DE LERA SANTÍN, A. Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa. (Doctorado). [en línea]. Universidad del País

Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatearen Argitalpen Zerbitzua, Facultad de bellas artes, (Lejona-España). 2011. pp. 141-227. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/handle/10810/14292>.

FAO. *Resultados / Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)* [en línea]. 2010 [Consulta: 5 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/gleam/results/es/>.

FAO. *Soluciones ganaderas para el cambio climático.* [en línea]. Roma: 2018. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/I8098ES>.

FAO. *La ganadería y el medio ambiente.* [en línea]. 2021. [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/livestock-environment/es/>.

FEADER. “Uso de los estiércoles en la fertilización agrícola, y su justificación en relación con la normativa aragonesa (estudio de un ejemplo concreto, utilizando purines porcinos, y en situación de Zonas Vulnerables” *Dirección general de desarrollo rural centro de transferencia agroalimentaria*, nº 219 (2010), (España-Aragón) pp. 4-5.

GDGE-SUBG. DE ANÁLISIS E INFORMACIÓN. Ficha sectorial: Papel y Productos de Papel. [en línea]. Quito-Ecuador: 2017. [Consulta: 1 marzo 2021]. Disponible en: <https%3A%2F%2Fwww.cfn.fin.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F12%2FFicha-Sectorial-Productos-de-Papel-dic-2017.pdf>.

GEANKOPLIS, C. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias* [en línea]. 3ª ed. México: CECSA. 1998. [Consulta: 4 abril 2021]. Disponible en: <https://1library.co/document/wye60xrq-c-geankopolis-procesos-trasnporte-operaciones-unitarias-ed-cecsa.html>.

HEREDIA, N. Diseño de un sistema recuperador de fibra celulósica a partir de corrientes residuales provenientes de una planta recicladora de papel (Ingeniería) [en línea]. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería química y agroindustrias. (Quito-Ecuador). 2016. pp. 20. [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16899/1/CD-7478.pdf>.

IGLESIAS, L. *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente.* [en línea]. España: 1995. [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf.

JIMÉNEZ., et al. “Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado Zulia”. *SciELO* [en línea], 2004, (Caracas-

Venezuela), 21(4). pp. 311-321. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182004000400001.

MENZI, H., et al. *Livestock in a Changing Landscape, Volume 1: Drivers, Consequences, and Responses* [en línea]. Washington-USA: Island Press, 2013. pp. 139–163. [Consulta: 3 febrero 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=lug9AF-wVR8C&oi=fnd&pg=PA139&ots=hDMpY_OPFO&sig=RUtq5HJ3kfu08TeyAUoMBrYmXhI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

NASIRU, A., et al. “Vermicomposting: Tool for Sustainable Ruminant Manure Management”. *Journal of Waste Management* [en línea], 2013, (Malasia), 2013, pp. 1–7. [Consulta: 31 enero 2021]. ISSN 2314-6052. DOI 10.1155/2013/732759. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jwm/2013/732759/>

NTE INEN1399:2013. *Papeles Y Cartones. Determinación Del Espesor*

NTE INEN 1423:2013. *Papeles Y Cartones. Determinación De La Blancura*

NTE INEN 1405:2013. *Papeles Y Cartones. Determinación De La Resistencia A La Ruptura Por Tracción*

PÁEZ, J. Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión. (Proyecto previo) (Ingeniería). [en línea]. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de ingeniería, (Quito-Ecuador). 2007. pp. 1-5. [Consulta: 28 febrero 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>

PEDRAZA, C. *Manejo y propiedades del estiércol de lechería.* [en línea]. Chile: INIA, 1986. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/33924/NR04758.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

PERRY, R., *Manual del Ingeniero Químico.* 7ª ed. España: McGraw Hill. 2001. ISBN 84-481-3345-5.

PINOS, J., et al. “Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa”. *Agrociencia* [en línea], 2012, (México) 46(4), pp. 359–370. [Consulta: 30 enero 2021]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30223110004>.

ROMERO VILORIA, P., et al. Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (*musa sapientum*). Síntesis de celulosa microcristalina. *Rev. Iber. Polímeros*

[en línea], 2014, (Santiago de Cuba) 15(6), pp. 286–300. [Consulta: 16 marzo 2021]. Disponible en: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2014-romero.pdf>

RUBIO, M. Pulpa química, método soda-antraquinona, a partir de tallos de *Guadua angustifolia* Y *Bambusa vulgaris*. (Ingeniería). Universidad Nacional Agraria La Molina Lima-Perú.2018. pp.19-20.

SALAZAR, J. *Resistencia de Materiales Básica Para Estudiantes de Ingeniería* [en línea]. 1ª ed. Colombia: Centro de publicaciones UNC, 2007. [Consulta: 29 March 2021]. ISBN 978-958-8280-08-0. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=djdwCR7ZEwsC&pg=45>

SALVA, K. Estudio biométrico de las fibras leñosas de *Terminalia ivorensis* y *Eucaliptus torrelliana* F. Mull en la estación experimental agropecuaria de Satipo (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea]. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de ciencias forestales y del ambiente. (Huancayo-Perú). 2009. pp. 14-24. [Consulta: 01 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2577/Salva_Grijalba.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

SÁNCHEZ, A., et al. *Sector papel y cartón del ecuador panorama general*. [en línea]. Ambato-Ecuador: UTA, 2019. [Consulta: 1 marzo 2021]. Disponible en: <https%3A%2F%2Fblogs.cedia.org.ec%2Fobest%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F7%2F2020%2F09%2FSector-papel-y-carton-del-Ecuador.pdf>.

SÁNCHEZ, C. “Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi”. *Biotechnology Advances* [en línea], 2009. (México) 27(2), pp. 185-194. [Consulta: 6 marzo 2021]. Número ISSN 07349750. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975008001092>.

SCA. *Fabricación de papel Soporte técnico de los papeles para SCA Publication Papers*. [en línea]. Estocolmo: 2010. [Consulta: 2 marzo 2021]. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/25605/mod_resource/content/1/Fabricaci%C3%B3n%20de%20Papel%20SCA.pdf.

TAPPI T 203 cm-09. *Determinación de la celulosa*

TAPPI T 205 SP-02, 2002. *Forming handsheets for physical tests of pulp*. 2002.

TESCHKE, K. & DEMERS, P. *Fuentes de fibra para la fábrica de pasta y de papel. Industria del papel y de la pasta de papel* [en línea]. 2000. [Consulta: 1 marzo 2021]. Disponible en:

<https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+72.+Industria+del+papel+y+de+la+pasta+de+papel>.

TORRES, M. Obtención de celulosa a partir de la cáscara de cacao ecuatoriano (*Theobroma cacao* L.) mediante hidrólisis térmica para la elaboración de pulpa de papel (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea]. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera Ingeniería Química, (Quito-Ecuador). 2019. pp. 6-9. [Consulta: 28 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19765/1/T-UCE-0017-IQU-059.pdf>.

TOWLER, G. & SINNOTT, R. 2012. *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* [en línea]. 2ª ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. [Consulta: 11 March 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=IG5jsDMbcPOC&dq=Sinnott+%26+Towler+\(2012\)](https://books.google.com.ec/books?id=IG5jsDMbcPOC&dq=Sinnott+%26+Towler+(2012))

ZEGARRA, G. Propiedades térmicas de los alimentos – balance de masay otras variables en la industria frutícola – factores que influyen en la evaluación sensorial de los alimentos. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de procesos. (Arequipa-Perú). 2014. pp. 5-10 [Consulta: 21 March 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4104/IAzequgm018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ANEXOS

ANEXO A. Caracterización de la materia prima

a.		b.		c.		d.	
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por:	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL				
			LÁMINA	ESCALA	FECHA		
a. Estiércol b. Medios de cultivo análisis microbiológicos c. Siembra en las cajas Petri d. Mohos y levaduras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 	Lady Daniela Mora Robles	1	1:1	2021/03/08		

ANEXO B. Análisis microbiológico



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Aerobios mesófilos. b. <i>Staphylococcus aureus</i> c. Coliformes totales d. <i>Escherichia coli</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		2	1:1	2021/03/08

ANEXO C. Análisis bromatológico

a.



b.



c.



d.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Pruebas de humedad y cenizas b. Desengrasado c. Fibra. d. Lavado del estiércol	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		3	1:1	2021/03/08

ANEXO D. Elaboración del papel



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Secado b. Cocción c. Toma de temperatura d. Licor negro.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		4	1:1	2021/03/08

ANEXO E. Tratamiento de la pulpa



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Pulpa después de la desalinización b. Blanqueado c. Pulpa blanqueada d. Coliformes totales después del blanqueado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		5	1:1	2021/03/08

ANEXO F. Formación del papel



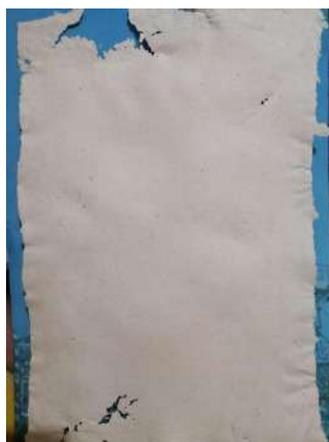
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Peso de la pulpa para formular b. Formulación c. Retirar el exceso de agua d. Hoja húmeda de papel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		6	1:1	2021/03/08

ANEXO G. Papel

a.



b.



c.



d.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles </p>	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
<p> a. Muestra a hoja de papel b. Muestra b hoja de papel c. Muestra c hoja de papel d. Medición de blancura </p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 			LÁMINA	ESCALA	FECHA
				7	1:1

ANEXO H. Pruebas al papel



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Prueba de tracción b. Prueba de gramaje c. Microscopia electrónica de barrido d. Microscopia electrónica de barrido	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		8	1:1	2021/03/08

ANEXO I. Tablas termodinámicas agua saturada (temperaturas)

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

ANEXO J. Tablas termodinámicas de agua saturada (presiones)

916

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

T 205 sp-02

OFFICIAL TEST METHOD – 1980
CORRECTED – 1981
REVISED – 1988
STANDARD PRACTICE – 1995
REVISED – 2002
©2002 TAPPI

The information and data contained in this document were prepared by a technical committee of the Association. The committee and the Association assume no liability or responsibility in connection with the use of such information or data, including but not limited to any liability under patent, copyright, or trade secret laws. The user is responsible for determining that this document is the most recent edition published.

CAUTION:

This Test Method may include safety precautions which are believed to be appropriate at the time of publication of the method. The intent of these is to alert the user of the method to safety issues related to such use. The user is responsible for determining that the safety precautions are complete and are appropriate to their use of the method, and for ensuring that suitable safety practices have not changed since publication of the method. This method may require the use, disposal, or both, of chemicals which may present serious health hazards to humans. Procedures for the handling of such substances are set forth on Material Safety Data Sheets which must be developed by all manufacturers and importers of potentially hazardous chemicals and maintained by all distributors of potentially hazardous chemicals. Prior to the use of this method, the user must determine whether any of the chemicals to be used or disposed of are potentially hazardous and, if so, must follow strictly the procedures specified by both the manufacturer, as well as local, state, and federal authorities for safe use and disposal of these chemicals.

Forming handsheets for physical tests of pulp

1. Scope

1.1 This procedure describes a method of forming test handsheets at an oven dry weight of 60 g/m² for determining the physical properties of pulp. The procedure can be used for both unrefined and refined pulps. Appendix B describes a modified procedure for making heavier weight sheets for pulps intended for use in paperboard manufacture.

1.2 The procedures for measuring the physical properties are described in TAPPI T 220 "Physical Testing of Pulp Handsheets."

1.3 The procedure for forming handsheets for determining the optical properties of pulp is described in TAPPI T 218 "Forming Handsheets for Reflectance Tests of Pulp."

1.4 A method for measuring the drainage time and drainage factor of pulp is described in TAPPI T 221 "Drainage Time of Pulp."

2. Significance

2.1 Test results on handsheets made with this procedure are often used to describe properties of market pulps.

2.2 The results are also used to determine properties of mixtures of hardwood/softwood or of fiber species to obtain desired properties for machine made papers.

3. Apparatus¹

A complete description of, and specifications for, the apparatus used in this method is given in Appendix A.

3.1 *Standard disintegrator.*

3.2 *Standard 159-mm-diameter sheet machine with stirrer.*

¹ Names of suppliers of testing equipment and materials for this method may be found on the Test Equipment Suppliers list in the bound set of TAPPI Test Methods, or may be available from the TAPPI Quality and Standards Department.

ANEXO L. NTE INEN 1423:2013 Papeles y Cartones: Determinación de la blancura



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1423:2013
Primera revisión

PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA BLANCURA

Primera edición

PAPER AND BOARD. DETERMINATION OF WHITENESS.

First edition

DESCRPTORES: Tecnología del papel, Papel, cartón, determinación blancura.
QU 07.01-327
CDU: 678.017:535-241
ICS: 85.060

T 203 cm-09

TENTATIVE STANDARD – 1931
OFFICIAL STANDARD – 1932
REVISED – 1974
OFFICIAL TEST METHOD – 1983
REVISED – 1988
CORRECTED – 1992
REVISED – 1993
CLASSICAL METHOD – 1999
REAFFIRMED – 2009
© 2009 TAPPI

The information and data contained in this document were prepared by a technical committee of the Association. The committee and the Association assume no liability or responsibility in connection with the use of such information or data, including but not limited to any liability or responsibility under patent, copyright, or trade secret laws. The user is responsible for determining that this document is the most recent edition published.

CAUTION:

This method may require the use, disposal, or both, of chemicals which may present serious health hazards to humans. Procedures for the handling of such substances are set forth on Material Safety Data Sheets which must be developed by all manufacturers and importers of potentially hazardous chemicals and maintained by all distributors of potentially hazardous chemicals. Prior to the use of this test method, the user should determine whether any of the chemicals to be used or disposed of are potentially hazardous and, if so, must follow strictly the procedures specified by both the manufacturer, as well as local, state, and federal authorities for safe use and disposal of these chemicals.

Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp

1. Scope

This method for determination of alpha-, beta- and gamma-cellulose can be applied to bleached or delignified pulps only. Unbleached and semi-bleached pulps must be delignified before testing.

2. Summary

Pulp is extracted consecutively with 17.5% and 9.45% sodium hydroxide solutions at 25°C. The soluble fraction, consisting of beta- and gamma-celluloses, is determined volumetrically by oxidation with potassium dichromate, and the alpha-cellulose, as an insoluble fraction, is derived by difference (see Note 6).

3. Significance

3.1 Separation of the cellulose in pulp into alpha-, beta- and gamma-cellulose fractions is an empirical procedure, originally devised by Cmsa and Bevan (1) around 1900, and has been widely used to evaluate pulps for various purposes, such as aging characteristics and response to refining operations. In a modified form, the method was adopted first as a TAPPI tentative standard in 1931 (2).

3.2 In general, the alpha-cellulose indicates undegraded, higher-molecular-weight cellulose content in pulp; the beta-cellulose indicates that of a degraded cellulose, and the gamma-cellulose consists mainly of hemicellulose (3, 4).

4. Definitions

Alpha-cellulose is the pulp fraction resistant to 17.5% and 9.45% sodium hydroxide solution under conditions of the test. Beta-cellulose is the soluble fraction which is reprecipitated on acidification of the solution; gamma-cellulose is that fraction remaining in the solution.

ANEXO N. NTE INEN1399:2013 Papeles Y Cartones. Determinación Del Espesor



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN1399:2013
Primera revisión

PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR

Primera edición

PAPER AND PAPERBOARD. DETERMINATION OF THICKNESS

First edition

DESCRPTORES: Papel, cartón, método, espesor.
CDU: 676.620.1
QU: 07.01-303
ICS: 85.060

ANEXO O. NTE INEN 1423:2013 Papeles Y Cartones. Determinación De La Blancura



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1423:2013
Primera revisión

PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA BLANCURA

Primera edición

PAPER AND BOARD. DETERMINATION OF WHITENESS.

First edition

DESCRIPTORES: Tecnología del papel, Papel, cartón, determinación blancura.
CU: 07.01-327
CDU: 676.017.535-241
ICS: 85.060

ANEXO P. NTE INEN 1405:2013 Papeles Y Cartones. Determinación De La Resistencia A La Ruptura Por Tracción



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1405:2013
Primera revisión

**PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA
RESISTENCIA A LA RUPTURA POR TRACCIÓN EN SECO**

Primera edición

PAPER AND PAPERBOARD. DETERMINATION OF RESISTANCE TO CLEAVAGE BY DRY TRACTION

First edition

DESCRIPTORES: Papel, cartón, ruptura, tracción en seco.
CUI 07.01-309
CDU: 676-017:676-633
ICS: 85.060

ANEXO Q. Resultados de la prueba de tracción del papel



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 01	
SOLICITADO POR:	Lady Daniela Mora Robles
PROYECTO DE TESIS:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO A PARTIR DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO EN LA PARROQUIA DURENO DEL CANTÓN LAGO AGRIO"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	PAPEL ECOLÓGICO - ESTIERCOL DE GANADO
MATERIAL:	LÁMINA DE PAPEL
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 1405:2013
FECHA DE ENSAYO:	3-feb-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006. CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA - 1
CARACTERÍSTICA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0.43
ANCHURA [mm]	15.00
LONGITUD INICIAL [mm]	180.00
CARGA MAXIMA [N]	21.58
RESISTENCIA A LA RUPTURA [kN/m]	1.44
ALARGAMIENTO A LA ROTURA [%]	1.35
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 02	
SOLICITADO POR:	Lady Daniela Mora Robles
PROYECTO DE TESIS:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO A PARTIR DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO EN LA PARROQUIA DURENO DEL CANTÓN LAGO AGRIO"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	PAPEL ECOLÓGICO - ESTIERCOL DE GANADO
MATERIAL:	LÁMINA DE PAPEL
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 1405:2013
FECHA DE ENSAYO:	3-feb-21
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA - 2
CARACTERÍSTICA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0.11
ANCHURA [mm]	15.00
LONGITUD INICIAL [mm]	180.00
CARGA MÁXIMA [N]	89.27
RESISTENCIA A LA RUPTURA [kN/m]	5.95
ALARGAMIENTO A LA ROTURA [%]	3.32
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. MsC.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

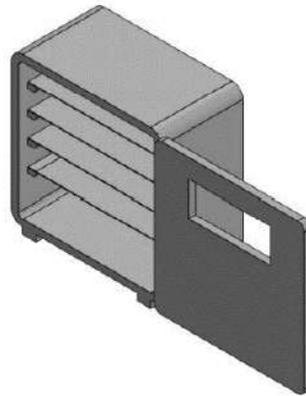
ANEXO R. Equipos

<p>a. </p> <p>b. </p> <p>c. </p> <p>d. </p>					
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
a. Mesa b. Tanque de esterilizado c. Tanque de despulpado d. Tanque de Blanqueado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprobado ▪ Certificado ▪ Por aprobar ▪ Por calificar ▪ Por verificar 		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			9	1:1	2021/03/08

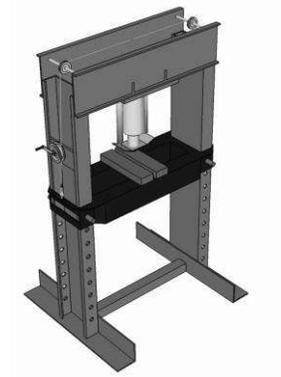
a.



b.

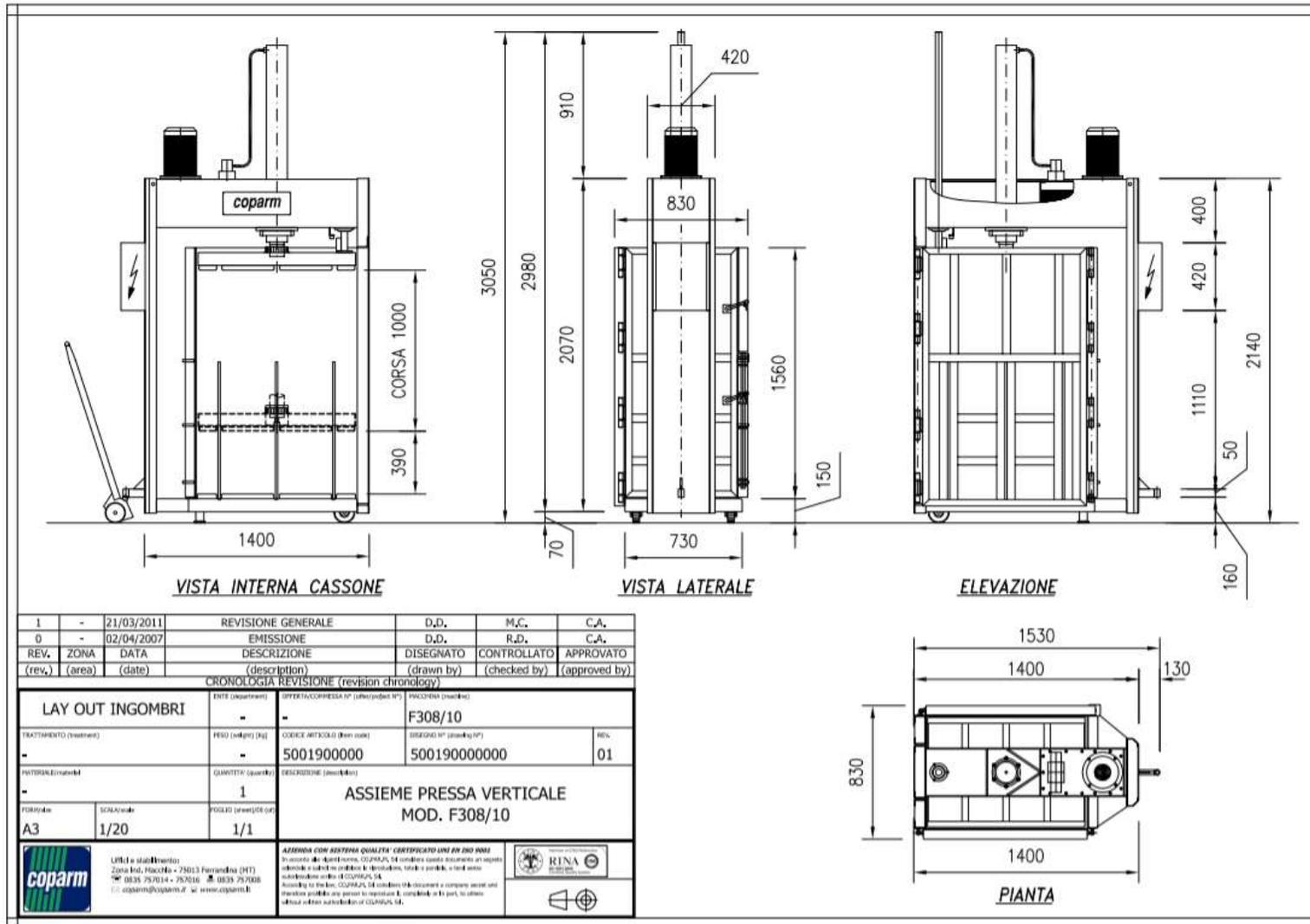


c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Lady Daniela Mora Robles	OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE ESTIÉRCOL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Agitador b. Estufa de secado c. Prensa	<ul style="list-style-type: none">▪ Aprobado▪ Certificado▪ Por aprobar▪ Por calificar▪ Por verificar		10	1:1	2021/03/08

ANEXO S. Prensa





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Lady Daniela Mora Roble</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, I=RIOBAMBA,
serialNumber=060276697
o, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.09.16 08:53:17
-05'00'



1091-DBRA-UTP-2021