

## 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

*Design of an industrial process to obtain ecological paper from cattle manure in the Dureno parish of the Lago Agrio canton*

- <sup>1</sup> Marco Raúl Chuiza Rojas  <https://orcid.org/0000-0002-3808-3302>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias, Riobamba. Ecuador  
[marco.chuiza@espoch.edu.ec](mailto:marco.chuiza@espoch.edu.ec)
- <sup>2</sup> Marlene Jacqueline García Veloz  <https://orcid.org/0000-0002-9996-1594>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias, Riobamba. Ecuador  
[marlene.garcia@espoch.edu.ec](mailto:marlene.garcia@espoch.edu.ec)
- <sup>3</sup> Edmundo Rodrigo Caluña Sánchez  <https://orcid.org/0000-0002-2840-1899>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias, Riobamba. Ecuador  
[edmundo.caluna@espoch.edu.ec](mailto:edmundo.caluna@espoch.edu.ec)
- <sup>4</sup> Lady Daniela Mora Roles  <https://orcid.org/0000-0002-5906-8865>  
Instituto de Posgrado y Educación Continua (IPEC), Riobamba. Ecuador,  
[roblesdaniela224@gmail.com](mailto:roblesdaniela224@gmail.com)



### Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 20/03/2022

Revisado: 06/04/2022

Aceptado: 24/05/2022

Publicado: 05/06/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.2.211>

### Cítese:

Chuiza Rojas, M. R., García Veloz, M. J., Caluña Sánchez, E. R., & Mora Roles, L. D. (2022). 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. AlfaPublicaciones, 4(2.2), 6–25. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.2.211>



*ALFA PUBLICACIONES*, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Palabras****claves:**

estiércol,  
esterilizado,  
lignina,  
celulosa,  
despulpado,  
blanqueado.

**Resumen**

**Introducción.** 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 se pretende realizar una gestión adecuada de los residuos planteando una alternativa tecnológica, innovadora y ecológica utilizando el estiércol como una fuente de fibra para la elaboración de papel. **Objetivo.** 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. **Metodología.** El proyecto es de tipo técnico en el que se emplearon métodos de investigación inductivo, deductivo y experimental, partiendo de una investigación bibliográfica y conocimientos adquiridos para llegar a un correcto diseño de la planta y obtención del papel a nivel de laboratorio. El proceso de fabricación de papel inicia con la esterilización y las concentraciones de hidróxido de sodio variaron entre el 10, 15 y 20% en relación al flujo de entrada de 0.258kg de estiércol a 150°C con variación de tiempo de exposición de 3h, 4h, y 5h; la pulpa extraída se blanqueó 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 prensó para eliminar el exceso de agua a 441kPa en dos secciones la primera por 5 minutos y la segunda de 2 minutos y se dejó secar por 72 horas a temperatura ambiente en ausencia de luz, **Resultados.** Al aplicar el método de despulpado con sosa cáustica al 10% se obtuvo un rendimiento del 69.82%, con un coeficiente de flexibilidad 0.67  $\mu\text{m}$  y factor de Runkel 0.48  $\mu\text{m}$  La elaboración de las hojas de papel se realizó según el procedimiento de la norma Tappi T205 sp-02. 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%. **Conclusiones.** Los análisis bromatológicos y microbiológicos determinaron que la materia prima contiene una buena fuente de celulosa y la carga bacteriana es nula obteniendo un producto inocuo, con excelentes características papeleras para adherirse de fibra a fibra por la amplia superficie de contacto que posee, además se cumplió con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN para papeles y cartones lo que validó el proceso.

**Keywords:**

manure,  
sterilized,  
lignin,  
cellulose,  
spulped,  
blached,  
traction.

**Abstract**

**Introduction.** Faced with the existing problems of contamination and the lack of an adequate provision for the management of cattle manure in the sector, it is intended to conduct an adequate management of waste by proposing a technological, innovative, and ecological alternative using manure as a source of fiber. for paper making. **Goal.** Design an industrial process to obtain ecological paper using cattle manure as raw material in the Dureno parish of the Lago Agrio canton. **Methodology.** The project is of a technical nature in which inductive, deductive, and experimental research methods were used, based on bibliographical research, and acquired knowledge to arrive at a correct design of the plant and obtain paper at the laboratory level. The paper manufacturing process begins with sterilization and the concentrations of sodium hydroxide varied between 10, 15 and 20% in relation to the input flow of 0.258kg of manure at 150°C with a variation of exposure time of 3h, 4h, and 5h; The extracted pulp was 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 was formed, it was pressed to remove excess water at 441kPa in two sections, the first for 5 minutes and the second for 2 minutes and left to dry for 72 hours at room temperature in the absence of light, **Results.** When applying the method of pulping with caustic soda at 10%, a yield of 69.82% was obtained, with a flexibility coefficient of 0.67  $\mu\text{m}$  and a Runkel factor of 0.48  $\mu\text{m}$ . The preparation of the paper sheets was conducted according to the procedure of the Tappi T205 standard. sp-02. The sheets have the characteristics of thickness 0.11mm, width 15.00mm, breaking length 180mm, maximum load 89.27mm, breaking strength 5.95kN/m, elongation at break 3.32%. **Conclusions.** The bromatological and microbiological analyzes determined that the raw material contains a good source of cellulose and the bacterial load is zero, obtaining an innocuous product, with excellent paper characteristics to adhere from fiber to fiber due to the wide contact surface that it possesses, in addition, compliance with the parameters established by the NTE INEN standard for paper and cardboard, which validated the process.

## Introducción

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 Agricultura y la Alimentación (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 (ASPAPEL, 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.

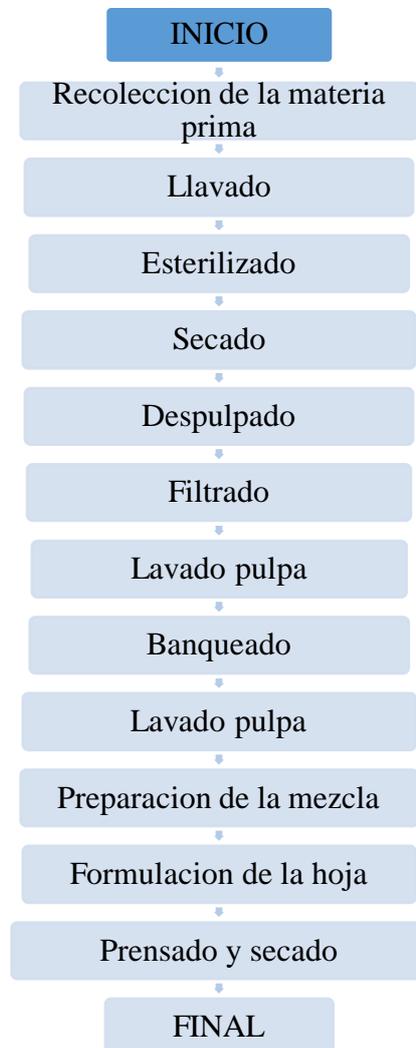
En base al contexto de esta problemática y teniendo en cuenta que se desea dar una utilidad al estiércol que es un subproducto rico en fibras vegetales hasta mejor que la que proviene de los árboles, porque el animal suaviza la fibra a través del tracto digestivo y facilita su uso. Se propone realizar 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”

### Metodología

El proyecto es de tipo técnico en el que se emplearon métodos de investigación inductivo, deductivo y experimental, partiendo de una investigación bibliográfica y conocimientos adquiridos para llegar a un correcto diseño de la planta y obtención del 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 garantizado el cumplimiento de los objetivos planteados.

Para la obtención del papel a nivel de laboratorio se realizó de acuerdo con el siguiente diagrama de flujo de la figura 1:

**Figura 1**  
*Diagrama de flujo para la obtención de papel*



**Fuente:** Mora (2021)

### *Procedimiento a escala de laboratorio e identificación de variables*

#### *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.

#### *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.

#### *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.

Se tomaron en consideración factores que pueden influir en el proceso y en la curva de secado como son las condiciones de trabajo, dimensiones del equipo, velocidad de secado, duración de secado y tiempo poscritico.

#### *Despulpado con sosa cáustica*

La tabla 1 muestra que 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 1**

*Datos para el cálculo del rendimiento de despulpado*

Agua		Estiércol		NaOH		Tiempo (h)	Temperatura (°C)
%	Kg	%	Kg	%	Kg		
98.3	3.57	7.08	0.258	10	0.03	3	150

**Fuente:** Mora (2021)

### *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.

### *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.

### *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 (2002).  
*Forming hand sheets for physical tests of pulp.*

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 (2002). Determinación de la celulosa. 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.

### *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 entrecruzen las fibras finalmente se levanta el bastidor sin inclinarlo y deja drenar el agua por 5 segundos.

#### *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.

#### *Propiedades biométricas del papel*

**Tabla 2**

*Datos biométricos del papel*

Longitud de la fibra (L)	803 $\mu\text{m}$
Diámetro de la fibra (D)	11.74 $\mu\text{m}$
Diámetro de lumen (u)	7.9 $\mu\text{m}$
Espesor (ep)	1.92 $\mu\text{m}$

Fuente: Mora (2021)

Se consideraron los cálculos del coeficiente petri, coeficiente de flexibilidad, coeficiente de rigidez y Factor de Runkel

#### **Resultados y Discusión**

##### *Caracterización de la materia prima*

##### *Análisis bromatológicos*

Los resultados obtenidos para el análisis bromatológico arrojaron que 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 Iglesias (1995) 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.

#### *Análisis microbiológicos*

Como indicadores microbiológicos se analizaron aerobios mesófilos; se tiene un valor de  $2.04 \times 10^8$  unidades formadoras de colonias por cada gramo (UFC/g) en mohos y levaduras  $1.8 \times 10^3$  UFC/g, para Staphylococos áureos dio negativo en coliformes totales  $5.8 \times 10^7$  UFC/g y Escherichia coli  $2.4 \times 10^7$  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  $150^\circ\text{C}$  por 3 horas en la primera etapa, en la digestión de la lignina o despulpado se trató con sosa cáustica a una temperatura de  $150^\circ\text{C}$  durante 4 horas, el tratamiento final antes de volver a realizar los análisis microbiológico es el blanqueado con hipoclorito de sodio al 10% a  $65^\circ\text{C}$  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.

*Rendimiento de la pulpa***Tabla 3***Resultados del rendimiento de la pulpa*

Muestra	% Rendimiento
a1	69.82
a2	61.81
a3	55.65
b1	68.19
b2	60.16
b3	55.32
c1	66.90
c2	58.89
c3	52.79

**Fuente:** Mora (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. De acuerdo con la tabla 3 los resultados permiten deducir para tener un alto rendimiento, la concentración de NaOH es baja con un tiempo de cocción mínimo caso contrario el rendimiento disminuye.

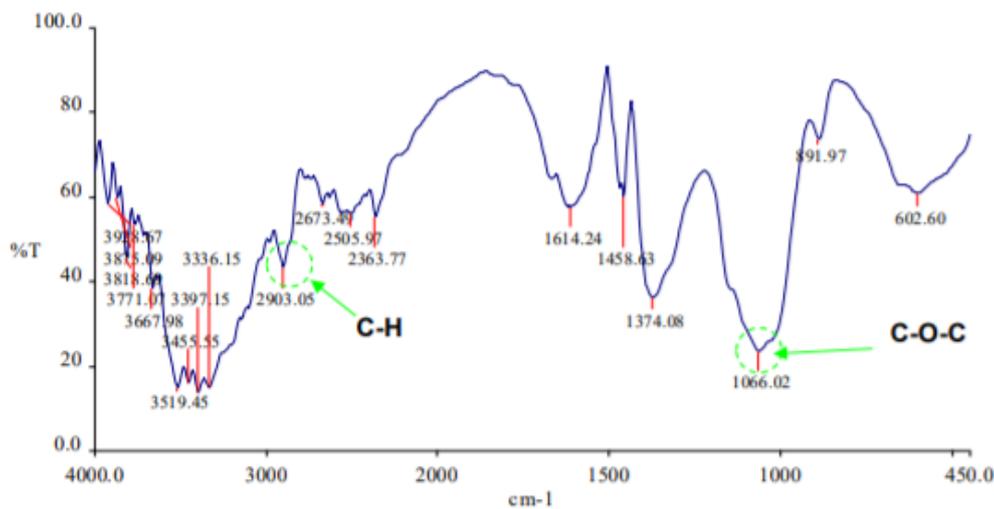
*Determinación de lignina y celulosa en la pulpa*

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 (muestra a1; % lignina 5.55; % celulosa 72,96), 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.

*Caracterización de la pulpa de papel*

**Figura 1**

*Espectro IR de muestra tratada con NaOH al 10% m/m*

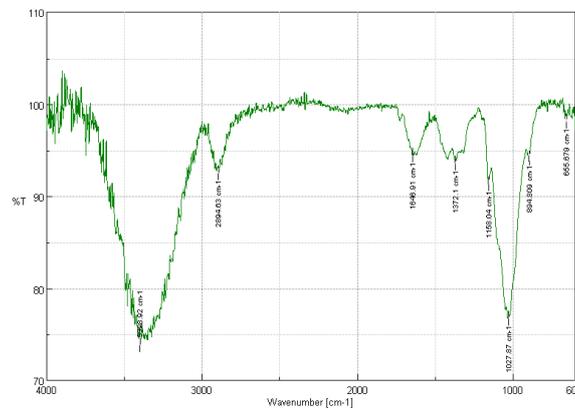


**Fuente:** Romero (2016)

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 (2016) presentan el IR de la celulosa virgen en los espectros IR de la figura 1: Espectro IR de muestra tratada con NaOH al 10% m/m, en donde se 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  $cm^{-1}$  que indica el grupo OH de los puentes de hidrógeno intermoleculares y el pico que esta entre 3.000–2.850 $cm^{-1}$  está asociado con el estiramiento de los grupos CH presentes en la celulosa. Mientras el pico de absorción entre 1.066 – 1.050  $cm^{-1}$  se atribuye a las vibraciones de los grupos C-O-C que constituye a la celulosa.

**Figura 2**

*FTIR muestra-1 pulpa de estiércol*



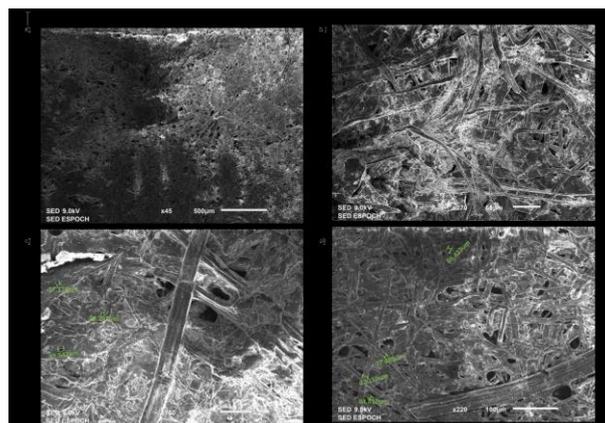
**Fuente:** Mora (2021)

Al analizar los resultados de la figura 2, 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: Espectro IR de muestra tratada con NaOH al 10% m/m 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.

Con el microscopio electrónico de barrido que se muestra en la figura 2 se observó la estructura microscópica de la fibra que forma el papel, que se encuentran el diámetro y longitud de la fibra respectivamente a partir de estos datos se tiene las propiedades biométricas de la fibra.

**Figura 2**

*Microscopia electrónica de barrido SEM*



**Fuente:** Mora (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  $\mu\text{m}$  y un coeficiente de rigidez que oscila entre 0.20-0.35  $\mu\text{m}$  los resultados de la tabla. Índice de calidad de la fibra del estiércol, 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  $\mu\text{m}$ , según la tabla. Índice de calidad de la fibra del estiércol, 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  $\mu\text{m}$ , de acuerdo con la tabla.4. Índice de calidad de la fibra del estiércol, 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.

**Tabla 4**
*Índice de calidad de la fibra del estiércol*

Coeficiente de Petri (P)	68.39 $\mu\text{m}$
Coeficiente de flexibilidad (CF)	0.67 $\mu\text{m}$
Coeficiente de rigidez (CR)	0.33 $\mu\text{m}$
Factor de Runkel (FR)	0.48 $\mu\text{m}$

**Fuente:** Mora (2021)

*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 5**

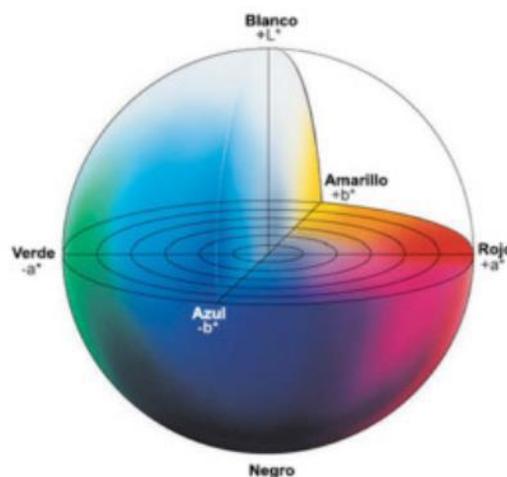
## Índice de blancura

Muestra	a*	b*	L*	$\lambda$ (nm)
Estándar	67.81	83.90	100.23	400
a1	78.98	83.40	91.63	
a2	75.60	79.87	74.24	
a3	70.42	80.20	71.9	

**Fuente:** Mora (2021)

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 la figura 3, CIE LAB, 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.13. Índice de Blancura y cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 1423 (2013). Papeles y cartones. Determinación de la blancura

**Figura 3**  
*Gráfica CIE LAB*



**Fuente** Corbacho (2015)

#### *Pruebas de tracción calidad del papel*

El estudio de la calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales por Benítez (2019), indica un espesor de 0.10-0.35mm para su papel artesanal y comparándolo con los resultados obtenidos en la tabla 14, el espesor obtenido para la muestra 1 es de 0.11 mm y de 0.43mm para la a2, según la bibliografía la a1 se clasifica como papel bond y la a2 como cartulina según los requerimientos de la norma NTE INEN 1399 (2013). Papeles y cartones. Determinación del espesor.

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 6, 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.

**Tabla 6**  
*Resultados de la calidad del papel*

Parámetros	Unidad	Hojas de papel		
		Método de análisis	Muestra a1	Muestra a2
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

Fuente: Mora (2021)

#### *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 7**  
*Resumen del diseño*

MESA DE SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA			
Descripción	Abreviatura	Valor	Unidad
Longitud de la mesa	<i>Lm</i>	2	m
Altura de la mesa	<i>ho</i>	0.9	m
Ancho de la mesa	<i>am</i>	1	m
Altura del borde de la mesa	<i>hm</i>	0.25	m
Volumen de la mesa	<i>Vm</i>	0.5	m <sup>3</sup>
Capacidad de la mesa	<i>m</i>	362.87	kg
RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA ESTERILIZACIÓN			
Volumen del tanque	<i>VT</i>	0.692	m <sup>3</sup>
Diámetro	$\emptyset$	1.20	m
Altura del tanque	<i>hT</i>	0.61	m

**Tabla 7**
*Resumen del diseño (continuación)*

SECADOR			
Volumen del secador	$VS$	0.230	$m^3$
Calor requerido para secar el sólido	$QR$	31443.75	kJ
Calor de evaporación	$Qv$	86965.51	kJ
Calor del sistema	$Qsist$	118409.26	kJ
Rapidez de transferencia de calor	$qx$	347011.84	W
Energía eléctrica	$E$	32.89	kW/h
Potencia	$P$	232.74	kW
RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA DESPULPADO			
Volumen del tanque	$VT$	0.2663	$m^3$
Diámetro	$\emptyset$	0.88	m
Altura del tanque	$hT$	0.50	m
RECIPIENTE INDUSTRIAL PARA BLANQUEADO			
Volumen del tanque	$VT$	0.050	$m^3$
Diámetro	$\emptyset$	0.50	m
Altura del tanque	$hT$	0.30	m
AGITADOR			
Volumen del tanque	$VT$	0.35	$m^3$
Diámetro	$Da$	0.64	m

**Fuente:** Mora (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  $0.67 \mu m$  y el factor de Runkel es de  $0.48 \mu m$  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. (2002). *Forming hand sheets for physical tests of pulp*. 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<sup>3</sup>, un tanque para el despulpado de 0.2663m<sup>3</sup>, un tanque de blanqueado de 0.050 m<sup>3</sup>, un agitador para la mezcla de 0.35m<sup>3</sup> 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 1399 (2013), 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.

### Referencias bibliográficas

- Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón [ASPAPPEL]. (2020). Actualización 2020. Memoria Sostenibilidad del papel. <https://aspapel. gleam/results/es/. es/>
- Benítez, J. (2019) “Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas”. *Revista de Ciencia y Tecnología RECyT*, n° 31, (Colombia) pp. 28–35. ISSN 1851-7587.
- Corbacho, Carlos. (2015) Caracterización colorimétrica del test de visión cromática Farnsworth-Musell. [Trabajo de fin de grado en Óptica y Optometría]. Universidad de Zaragoza, Facultad de ciencias, (España-Zaragoza). pp.14. <https://zaguan.unizar.es/record/31744/files/TAZ-TFG-2015-1776.pdf>.
- Iglesias, Ignacio (1995). *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](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf).

- Jiménez. et al. (2004). “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. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182004000400001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182004000400001).
- Mora, Lady (2021). “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 de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. "<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14997>”
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1423. (2013). *Papeles y cartones. Determinación de la blancura*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1423.pdf>
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1399. (2013). *Papeles y cartones. Determinación del espesor*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1399.pdf>
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1405. (2013). *Papeles y cartones. Determinación de la resistencia a la ruptura por tracción*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1405.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2010). La ganadería y el medio ambiente. <http://www.fao.org/livestock-environment/es/>.
- Pedraza, Carlos (1986). “*Manejo y propiedades del estiércol de lechería*”. Chile: INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/33924/NR04758.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Romero Vilorio, P. (2016). “*Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (musa sapientum). Síntesis de celulosa microcristalina*”. *Rev. Iber. Polímeros*
- Salva, Krein (2009). “Estudio biométrico de las fibras leñosas de *Terminalia ivorensis* y *Eucaliptus torrelliana* F. Mull en la estación experimental agropecuaria de Satipo” [Trabajo de titulación de Ingeniería]. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de ciencias forestales y del ambiente. (Huancayo-Perú). pp. 14-24. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2577/SalvaGrijalba.pdf?sequence=1&is>
- Sánchez, Cesar (2009). “Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi”. *Biotechnology Advances* [en línea], 2009. (México) 27(2), pp. 185-194. Número ISSN 07349750. <https://www.sciencedirect.com/science/article/>

Technical Association of Pulp and Paper Industry TAPPI T 203 cm-09, (2002). *Determinación de la celulosa*. <https://www.tappi.org/content/sarg/t203.pdf>

Technical Association of Pulp and Paper Industry TAPPI T 205 SP-02. (2002). *Forming hand sheets for physical tests of pulp*. <https://www.tappi.org/content/sarg/t205.pdf>

Torress, Mel (2019). 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 de Ingeniería]. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera Ingeniería Química, (Quito-Ecuador). 2019. pp. 6-9. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19765/1/T-UCE-0017-IQU-059.pdf>.

### **Conflicto de intereses**

Los autores deben declarar si existe o no conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



#### Indexaciones

