

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de ingeniería



**Comparación de la composición química de la pulpa de café a dos altitudes de siembra en la Región Occidental de Guatemala para uso en la fabricación de papel**

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Mayra Lisseth Cifuentes Alfonso para optar al grado académico de Licenciada en ingeniería química

Guatemala,

2023



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de ingeniería



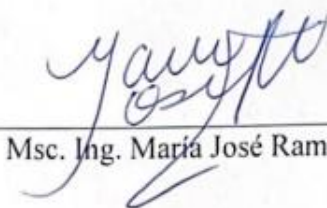
**Comparación de la composición química de la pulpa de café a dos altitudes de siembra en la Región Occidental de Guatemala para uso en la fabricación de papel**

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Mayra Lisseth Cifuentes Alfonso para optar al grado académico de Licenciada en ingeniería química

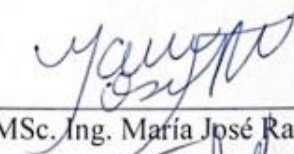
Guatemala,

2023

Vo Vo. Bo.

(f)   
Msc. Ing. María José Ramos

Terna examinadora

(f)   
MSc. Ing. María José Ramos

(f)   
Msc. Ing. Gamaliel Gioyanni Zambrano Ruano

(f)   
Ing. José Andrés Lam

Fecha de aprobación: Guatemala, 14 de diciembre de 2023

## **Prefacio**

La elaboración de este trabajo de graduación surgió con la idea de poder brindar una posible alternativa de un subproducto o desecho de uno de los procesos productivos más importantes del país y poder dar así una propuesta viable al negocio familiar, aumentando el aprovechamiento de los recursos.

Esta investigación no se podría haber llevado a cabo sin el apoyo de muchas personas. En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad de estudiar, por cada bendición infinita en mi vida, por siempre tener un cuidado especial de mí y por poner a las personas correctas en el momento indicado siempre. Agradezco y dedico esta investigación a mis padres por motivarme constantemente y por el esfuerzo que han hecho para ayudarme a cumplir esta meta y crecer tanto personal como profesionalmente, a mis hermanas por apoyarme en todo momento y darme aliento para no rendirme en el camino.

También agradezco a la Universidad Del Valle de Guatemala por haberme permitido formar bajo la enseñanza de excelentes profesionales, y en ella, haber conocido personas maravillosas que me brindaron su compañía incondicional y que hicieron inolvidable esta etapa de estudio. Asimismo, debo agradecer al personal del Departamento de Ingeniería Química quienes me apoyaron durante toda mi carrera.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

## Contenido

Lista de figuras .....	VIII
Lista de cuadros .....	IX
Resumen .....	X
Abstract .....	XII
I. Introducción .....	1
II. Objetivos de investigación .....	2
III. Antecedentes .....	3
IV. Justificación .....	2
V. Marco teórico .....	3
A. El café .....	3
A.1. Variedades del café .....	7
A.2. Procesamiento y subproductos del café .....	7
A.3. Composición química de los subproductos del café .....	8
A.4. Efecto de la altitud de siembra en las propiedades del café .....	8
B. Celulosa .....	9
C. Hemicelulosa .....	10
D. Lignina .....	11
E. Extraíbles .....	11
F. El papel .....	11
F.1. Composición química del papel .....	12
F.2. Proceso de fabricación de papel .....	13
F.3. Diferencia entre papel y cartón .....	16
G. Economía circular .....	16
VI. Metodología .....	18
A. Caracterización de la materia prima .....	18
A.1. Preparación de la materia prima y determinación de humedad .....	18
A.2. Determinación y eliminación de extraíbles .....	19
A.3. Determinación de lignina .....	21

A.4.Determinación de celulosa en pulpa de café.....	22
B.Producción de papel.....	23
VII.Resultados .....	24
VIII.Análisis de resultados .....	28
IX.Conclusiones .....	33
X.Recomendaciones .....	34
XI.Bibliografía.....	35
XII.Anexos .....	37
A.Imágenes de experimentación .....	37
B.Datos originales .....	46
C.Datos calculados .....	48
D.Cálculo de muestra .....	52
E.Documentos utilizados.....	54
XIII.Glosario .....	58

## Lista de figuras

Figura 1. Partes del grano de café. ....	3
Figura 2. Estructura molecular de la celulosa. ....	9
Figura 3. Estructura molecular de la hemicelulosa. ....	10
Figura 4. Proceso de fabricación de pasta celulósica y papel. ....	15
Figura 5. Equipo de Soxhlet.....	20
Figura 6. Balance de masa para la producción de papel sembrada a 1560 msnm.....	25
Figura 7. Balance de masa para la producción de papel sembrada a 1290 msnm.....	26

## Lista de tablas

Tabla 1. Ejemplos de gramajes utilizados en la industria. ....	16
Tabla 2. Comparación de contenido de extraíbles, lignina y celulosa promedio para pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.....	24
Tabla 3. Desviación estándar del contenido de extraíbles, lignina y celulosa para pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente. ....	24
Tabla 4. Características físicas promedio de la hoja de papel fabricada con pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente. ....	24
Tabla 5. Rendimiento de la pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente para la producción de hojas de papel. ....	27
Tabla 6. Costo de fabricación de una hoja tamaño A5 a partir de pulpa de café tomando en cuenta los costos de materia prima y consumo de equipos. ....	27
Tabla 7. Resultados de color medido con un colorímetro para varias muestras de papel.....	27

## Resumen

Con el objetivo de evaluar el potencial uso de pulpa de café en la fabricación de papel se realizó una cuantificación de la cantidad de celulosa, lignina y contenido de extraíbles, comparando también el efecto que tiene la altitud de siembra en la calidad del café y por consiguiente en la calidad de las hojas de papel hechas a base de pulpa de café. Se compararon dos muestras de pulpa de café sembrado en altitudes de 1,300 y 1,500 msnm aproximadamente proveniente de Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala con el fin de determinar experimentalmente la calidad del producto.

De acuerdo con el estudio realizado, se determinó experimentalmente que la pulpa de café sembrada a 1290 msnm posee un  $52.92\% \pm 0.00015$  de celulosa,  $29.95\% \pm 0.00017$  de lignina y  $15.52\% \pm 0.00016$  de contenido de extraíbles, comparada con la pulpa de café sembrada a 1560 msnm que posee  $54.06\% \pm 0.00015$  de celulosa,  $26.45\% \pm 0.0015$  de lignina y  $11.82\% \pm 0.00017$  de contenido de extraíbles, lo cual hace a la pulpa de café una materia prima factible para la producción de papel.

Las hojas realizadas con pulpa de café presentan propiedades organolépticas y físicas aceptables, además de que se obtuvo un costo de producción menor por cada hoja de papel, tomando en cuenta el consumo energético de los equipos utilizados en el proceso y la materia prima. Comparando las hojas realizadas a base de pulpa de café, se comprobó la influencia que tiene la altitud de siembra en la calidad del producto, ya que en la muestra de pulpa de café sembrada a 1560 msnm se observó una tonalidad de color más suave y mejores características evidentes al tacto en comparación a la hoja de papel realizada con pulpa de café sembrada a 1290 msnm, por lo que se comprobó que la altitud de siembra es directamente proporcional a la calidad del producto final.

## Abstract

In order to assess the potential use of coffee pulp in paper manufacturing, a quantification of cellulose, lignin, and extractable content was conducted, also comparing the effect of planting altitude on coffee quality and consequently on the quality of paper sheets made from coffee pulp. Two samples of coffee pulp grown at altitudes of approximately 1,300 and 1,500 meters above sea level in Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala were compared to experimentally determine the product quality.

According to the study, it was experimentally determined that coffee pulp planted at 1,290 meters above sea level has  $52.92\% \pm 0.00015$  cellulose,  $29.95\% \pm 0.00017$  lignin, and  $15.52\% \pm 0.00016$  extractable content, compared to coffee pulp planted at 1,560 meters above sea level which has  $54.06\% \pm 0.00015$  cellulose,  $26.45\% \pm 0.00015$  lignin, and  $11.82\% \pm 0.00017$  extractable content. This makes coffee pulp a feasible raw material for paper production.

Paper sheets made from coffee pulp exhibit acceptable organoleptic and physical properties, and a lower production cost per sheet was achieved, taking into account the energy consumption of the equipment used in the process and the raw material. Comparing the paper sheets made from coffee pulp, the influence of planting altitude on product quality was confirmed. The sample of coffee pulp planted at 1,560 meters above sea level showed a lighter color tone and better tactile characteristics compared to the paper sheet made from coffee pulp planted at 1,290 meters above sea level, proving that planting altitude is directly proportional to the quality of the final product.

## I. Introducción

El café es una de las bebidas de mayor consumo en el mundo entero, para la elaboración de una taza de café se necesitan aproximadamente ocho gramos de café tostado y molido, para producir esos ocho gramos de café se necesitan cosechar al menos 40g de café, lo cual produce alrededor de 12g de pulpa de café, por lo que podríamos producir alrededor de 40 hojas de papel hechas a base de pulpa de café.

Guatemala es un país con una gran presencia en producción y exportación de café, las exportaciones alcanzaron un total de US\$887.3 millones de dólares para septiembre del 2023 (Banco de Guatemala, 2023), debido a sus diferentes altitudes de terreno, climas y calidad del suelo ya que crean condiciones favorables para la producción de café de alta calidad. En la producción de café se tienen varios subproductos como la pulpa, el mucílago, aguas de tratamiento, entre otras, estos subproductos no son utilizados para otro proceso por lo que posterior al pasar por el proceso de la producción de café se convierten en desechos.

La pulpa de café representa alrededor del 29% del peso del fruto entero y está compuesta por aproximadamente 63% de celulosa, lo cual lo hace una materia prima apta para la producción de papel (Anacafé, 2020). La celulosa es reconocida como una de las sustancias orgánicas probablemente más abundantes en la naturaleza y es el componente principal para la elaboración de papel ya que favorece la resistencia y flexibilidad del producto final. Actualmente, los tipos de papel pueden estar compuestos por fibras de sisal, yute, cáñamo, lino y algodón ya que tienen una mayor calidad que los de madera porque poseen una alta pureza química, alto grado de polimerización y resistencia, aunque no son los más comunes en el mercado debido a su alto costo de producción.

El objetivo del estudio es poder dar una alternativa en la producción de papel utilizando como materia prima, un material de desecho proveniente de otro proceso productivo, basándose en sus características químicas y utilizarlo para crear un producto de interés. Adicional a esto, se evaluará que efecto presenta la diferencia de altitudes de siembra (aproximadamente una diferencia de altitudes de 100-150msnm) en las propiedades químicas de la pulpa del café para un mejor aprovechamiento y mayor calidad en la producción de papel.

Al utilizar pulpa de café como materia prima para la producción de papel, se busca el aprovechamiento de los residuos, para poder implementar un sistema regenerativo como se busca en una economía circular, disminuyendo los residuos y el uso de recursos, además de reducir las emisiones y la huella de carbono al agregarlo de nuevo al sistema para poder realizar un producto. En la economía circular buscamos cambiar la forma en que diseñamos, producimos y consumimos bienes y servicios a diferencia del modelo económico lineal tradicional, en el que los productos se fabrican, utilizan y luego se descartan, la economía circular promueve la idea de cerrar el ciclo de vida de los productos, minimizando el desperdicio y maximizando la eficiencia.

## **II. Objetivos de investigación**

### **Objetivo general**

Determinar del contenido de extraíbles, celulosa y lignina presente en la pulpa de café sembrado en altitudes de 1,300 y 1,500 msnm proveniente de Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala para la fabricación de papel.

### **Objetivos específicos**

Cuantificar de la cantidad de celulosa, lignina y contenido de extraíbles en ambas muestras de pulpa de café haciendo uso de métodos analíticos, para evaluar su potencial uso en la fabricación de papel.

Determinar del rendimiento del uso de pulpa de café de dos altitudes de siembra en la fabricación de papel realizando el balance de masa del proceso.

Evaluar económicamente de la fabricación de papel hecho con pulpa de café, tomando en cuenta la materia prima, equipo y consumos.

### **III. Antecedentes**

La estructura básica del papel son las fibras celulósicas que la componen, estas se caracterizan por ser altamente resistentes a la tracción, absorbentes, flexibles, químicamente estables. Actualmente se tienen distintas alternativas que sustituyen el uso de maderas como materias primas para la fabricación de papel, esto con el fin de buscar opciones efectivas para la producción y que también se obtenga un producto final de calidad.

Utilizar materias primas diferentes a la madera, como lo son, el bagazo de la caña, tallo de banano, papel reciclado o pulpa de café es conveniente, ya que se les da un uso nuevo a materias que no se aprovechan. Al utilizar estas alternativas para la elaboración de papel se obtienen láminas de papel de mayor opacidad, más flexibles y resistentes, como lo es el papel periódico o el papel Kraft.

La pulpa de café es un subproducto que representa alrededor de 1.134 millones de kilogramos anuales en Guatemala, además este subproducto tiene propiedades químicas aprovechables para la elaboración de papel, como su contenido de celulosa y lignina. En 2019 se realizó un estudio de “Caracterización fisicoquímica de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación de papel” en Bogotá por Ordoñez y Sepúlveda, en dicho estudio de obtuvo que la pulpa de café presentó un 65.77% de celulosa y 25.30% de lignina, por lo que determinaron que la pulpa de café puede utilizarse como materia prima para la producción de papel.

En base al estudio de “Caracterización fisicoquímica de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación de papel” en Bogotá por Ordoñez y Sepúlveda, se busca realizar un estudio de la composición química de la pulpa de café proveniente de Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala, determinando el contenido de extraíbles, celulosa y lignina presente y evaluando que efecto tiene la altitud de siembra del café en la calidad de este y en sus propiedades fisicoquímica de los residuos para su posible uso en la fabricación de papel. En Guatemala existen investigaciones de producción de biogás a partir del jugo de la pulpa que se realizó por parte del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), sin embargo, no se les dio seguimiento a esta investigación realizada en los años 80s (Juárez, 2018).

Las fibras vegetales son ampliamente estudiadas ya que poseen propiedades químicas aprovechables y que generalmente sus usos no las aprovechan del todo, un ejemplo puede ser las plantaciones de banano en Guatemala, esta presenta una producción de 16,872.8 toneladas anuales, del cual se tiene un alto porcentaje de residuos, uno de ellos es el raquis de banano, el cual se utiliza como abono de riego de los mismos cultivos, pero posee un alto contenido de celulosa y hemicelulosa y bajo contenido de lignina y posee un alto módulo de fuerza, por lo que tiene una aplicación para la realización de pasta celulósica, papel, cartón, entre otros productos (Zelada, 2021). Se han estudiado sus propiedades absorbentes para poder evaluar su uso para la elaboración de toallas sanitarias a base de fibras naturales (Velásquez, et al., 2016).

## IV. Justificación

La demanda de papel en Guatemala actualmente es muy significativa, ya que, a pesar de estar en una era tecnológica, la mayoría de los procesos burocráticos en el país representan un alto consumo, además no todos los guatemaltecos tienen la oportunidad de poder sustituir fácilmente el uso de un cuaderno físico al uso de una tableta inteligente, por el costo de inversión inicial y los costos asociados, se tienen datos de exportación de papel y cartón de US\$522.2 millones de dólares para septiembre del 2023 (Banguat, 2023).

Teniendo esta problemática en mente, es importante buscar otras opciones para uso de la materia prima en la fabricación de papel, como lo es el uso de subproductos de procesos productivos en Guatemala, como la industria del café. La industria de café en Guatemala es un proceso productivo importante, por lo que las producciones de este en el país son significativas, el cultivo de café está presente en 20 de los 22 departamentos del país, se tienen datos de exportación de US\$887.3 millones de dólares para septiembre del 2023 (Banguat, 2023), por consiguiente, los residuos de este proceso productivo también son representativos. El aprovechamiento de uno de estos subproductos como materia prima para la elaboración de otro producto es beneficiosa, ya que la materia prima sería básicamente un desperdicio de otro proceso, el cual generalmente no se aprovecha lo suficiente.

Durante la producción del café, el despulpado es el segundo proceso luego de la separación de la materia prima, la pulpa es uno de los subproductos mayoritarios del café, ya que esta representa alrededor del 29% del peso del fruto entero, esto representa alrededor de 1.134 millones de kilogramos de pulpa de café (en 2018-2019 se tienen datos de producción de 3.910 millones de sacos de 60 kilogramos de café producido en Guatemala (MINECO, 2019)), además este subproducto tiene propiedades químicas aprovechables para la elaboración de papel, como su contenido de celulosa y lignina. Debido a esto, esta investigación busca determinar la composición química de la pulpa de café para evaluar su rendimiento en la fabricación de papel y poder utilizar este subproducto, para lo cual se determinó que es factible poder considerarla como materia prima para la elaboración de papel.

Durante el proceso de producción de café se pueden identificar tres subproductos: la pulpa, el mucílago y la cascarilla o pergamino. La mayoría de las investigaciones se centran en la pulpa, por ser el componente más abundante de la cereza de café, en Guatemala esta se utiliza generalmente para la elaboración de alimentos para animales, producción de fertilizantes, abono, alcohol, tés y alimentos para personas, aunque hay investigaciones de producción de biogás a partir del jugo de la pulpa (Juárez, 2018).

## V. Marco teórico

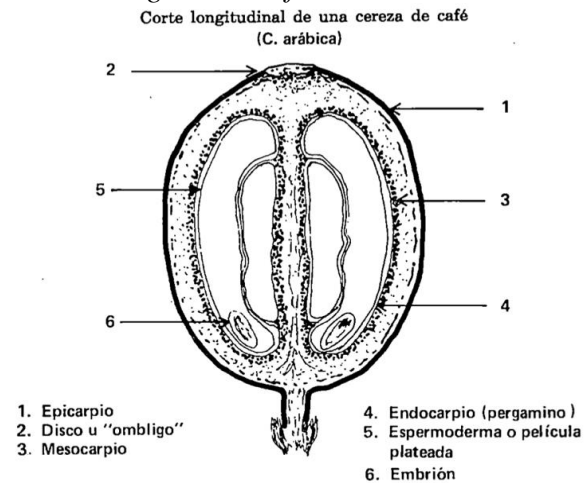
### A. El café

El cafeto o la planta de café proviene de África de las montañas de Abisinia (Etiopia), sin embargo, fueron los árabes al observar en la capacidad estimulante del café, los primeros en extraer los granos, tostarlos, molerlos y mezclarlos con agua caliente, implantando así la costumbre de tomar café. El cafeto es un arbusto que pertenece a la familia de las rubiáceas, del género *Coffea*, son arbustos que pueden alcanzar entre los 10 y 12 metros de altura, pero que generalmente para la facilidad de mantenimiento y recolección de los granos se podan y mantienen una altura aproximada entre 2 y 4 metros.

El fruto del café tiene una apariencia ovalada, que cuando crece es de un color verde y durante su proceso de maduración cambia de color a amarillo hasta tomar un color rojo, identificando así su punto de madurez (Braham y Bressani, 2008; Figueroa, et al., 2015). El fruto del café está cubierto por el epicarpio o más conocido como pulpa y dentro de este, posee dos semillas rodeadas por el mucílago del café, para la elaboración de las bebidas del café se utilizan las semillas del café luego de procesos como despulpado, lavado, secado, tostado y molido. En la Figura 1 se observan las partes del grano del café.

**Figura 1.**

*Partes del grano de café.*



(Braham y Bressani, 2008).

El fruto del café está cubierto por el epicarpio o más conocido como pulpa y dentro de este, posee dos semillas rodeadas por el mucílago del café, para la elaboración de las bebidas del café se utilizan las semillas del café luego de procesos como despulpado, lavado, secado, tostado y molido. El mercado de la industria de café en Guatemala indica que las exportaciones del país en 2019 fueron de US\$ 615.9 millones de dólares, siendo Guatemala uno de los países importantes en exportación a nivel mundial (posición 14 en el año 2018), además se indica que para el 2022 se tiene un estimado de volumen de exportación de 19,046 toneladas métricas con un valor de Q.2.445 millones de quetzales (US\$ 321 millones de dólares) (Ministerio de Economía, 2019).

## **A.1. Variedades del café**

### **A.1.1. Café arábica (*Coffea arábica*)**

El café arábica es nativo de las tierras altas de Etiopía, sus frutos son ovales y madura de 7 a 9 meses. Esta variedad representa el 80% del café que se comercializa en el mercado internacional, las variedades más conocidas son la Típica y Bourbon, pero existen distintas cepas como la Caturra, Sarchimor, Mundo Novo, Tico, entre otras. Esta variedad se cultiva generalmente en América Latina, África Central y Oriental, en la India y en Indonesia (Anacafé, 2020).

### **A.1.2. Café robusta (*Coffea canephora*)**

Esta planta es nativa de los bosques ecuatoriales África, para la siembra de este, se necesita tener elevaciones desde entre más o menos entre 100 y 700 msnm. Su fruto es redondeado y tarda entre 9 y 11 meses en madurar, su semilla es de forma alargada y más pequeña que la del *C. Arábica*, este posee un contenido de cafeína es de aproximadamente de 2.2%. Esta variedad representa el 20% del café que se comercializa en el mercado internacional, alguna de las variedades más conocidas son Java, Kouilou, Niaolili y Congensis (Anacafé, 2020).

## **A.2. Procesamiento y subproductos del café**

Luego de la cosecha de café, los frutos se llevan mediante conductos con agua y se llevan a un tanque, esto se realiza para diferenciar y separar los granos de café dañados o verdes y también para eliminar impurezas, además de facilitar su transporte, este proceso se denomina procesamiento húmedo. Posteriormente el fruto pasa a un pulpero, que tiene como finalidad, por medio de fricción, separar los granos de la pulpa, después de este proceso la pulpa es transportada hacia un sistema de recolección de desperdicios y los granos pasan a un proceso de fermentación para remover el mucílago, el cual será otro subproducto.

El proceso de fermentación se lleva a cabo durante 48 a 72 horas, lo que causa el desprendimiento del mucílago de grano. Los granos obtenidos después del proceso de despulpado son lavados y llevados a un proceso de secado al sol, que luego pasan a un proceso de secado con aire caliente. Posteriormente los granos están listos para los procesos de tostado y molienda y listo para su posterior uso.

El café en grano es utilizado para hacer una bebida de café al agregar agua caliente para que este despidan sus propiedades y pueda consumirse, pero genera otro subproducto importante que es la borra, que es el sedimento del café luego de su proceso de preparación y colado (Braham y Bressani, 2008).

### **A.3. Composición química de los subproductos del café**

#### **A.3.1. Pulpa o epicarpio**

La pulpa de café es el primer subproducto que se obtiene del proceso del café, este representa alrededor del 29% del peso del fruto entero. En cuanto a la composición química, se tiene que la pulpa del café contiene 2.3% de hemicelulosa, 63.0% de celulosa y 17.5% de lignina (Braham y Bressani, 2008).

#### **A.3.2. Borra o ripio**

Se denomina borra al café tostado y molido luego de su utilización, este presenta una composición química de 36.7% de hemicelulosa, 8.6% de celulosa y 0.05% de lignina (Braham y Bressani, 2008).

### **A.4. Efecto de la altitud de siembra en las propiedades del café**

El café es una de las bebidas de mayor consumo en el mundo entero, Guatemala es un país con una gran presencia en exportación de café, debido a que sus diferentes pisos altitudinales, el clima y la calidad del suelo ya que crean condiciones favorables para la producción de café de alta calidad.

Algunos de los parámetros que se toman en cuenta y que influyen en la calidad del producto final es la variedad, altitud, cosecha y proceso posterior a la cosecha, como lo es el despulpado, fermentado, lavado, secado y almacenado. Además, la calidad del café está asociada directamente a la altitud (Guevara, et al., 2019).

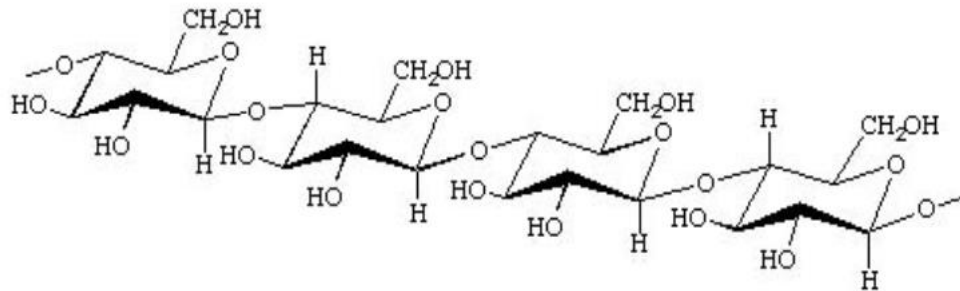
## B. Celulosa

La celulosa es reconocida como una de las sustancias orgánicas probablemente más abundantes en la naturaleza, esta puede presentarse en dos formas modificadas: oxixelulosa e hidroxixelulosa. La oxixelulosa se forma como resultado de la oxidación parcial de la celulosa con agentes oxidantes como hipocloritos, permanganato o dicromatos. La oxixelulosa resulta de la acción de ácidos diluidos. La estructura de la celulosa está compuesta de moléculas de glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) como un monosacárido formado a través de la fotosíntesis del dióxido de carbono atmosférico. La fórmula empírica de la glucosa es  $(C_6H_{12}O_6)_n$ , en donde  $n$  es el grado de polimerización, que debe tener un valor mínimo de 200 (González et al., 2016).

Las moléculas de celulosa están orientadas longitudinalmente para formar un agregado cristalino fuertemente ordenado, en esta estructura todas las moléculas presentan la misma polaridad, por lo que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla, como se observa en la Figura 2. En estos agregados las moléculas de celulosas no están unidas covalentemente, sino que estabilizan su estructura mediante puentes de hidrógeno, que, aunque son muy débiles individualmente, al tener una estructura grande se vuelve muy firme y poco sensible a la degradación (González, et al. 2006).

**Figura 2.**

*Estructura molecular de la celulosa.*



(González, et al. 2006).

Entre las propiedades más importantes de la celulosa se encuentra la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y su capacidad de absorber agua. La celulosa además presenta un alto grado de cristalinidad, aunque no llega a ser 100% cristalina, esto depende del origen de la materia prima de la que se extraiga.

La celulosa se puede presentar en dos formas modificadas, las cuales son: oxixelulosa e hidroxixelulosa. La oxixelulosa se forma debido a la oxidación parcial de la celulosa con agentes oxidantes como hipocloritos, permanganato o dicromatos. La hidroxixelulosa resulta de la acción de ácidos diluidos. Ambos tipos de celulosa modificada son importantes ya que influyen en la degradación de la calidad y en la reducción de la resistencia de la materia prima.

El contenido de celulosa debe ser alto para la fabricación de papel ya que entre más alto sea el porcentaje, mayor será el contenido de fibra celulósica disponible para utilizarla como materia prima para la producción de papel, la celulosa ayuda a obtener un producto final flexible y de buena calidad, esta debe estar entre 30 - 60% (Fonseca, 2006).

Existen varios procesos para la obtención de celulosa, algunos de los más utilizados son (López, 2005):

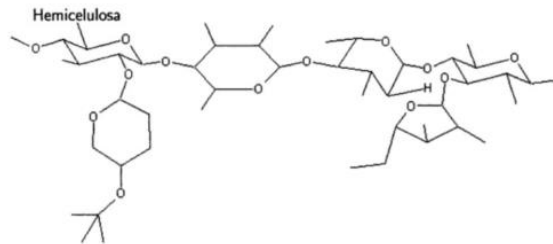
1. Proceso de Kraft: Este proceso es el más utilizado a nivel industrial, para este se tratan las fibras con una solución de sulfuro sódico e hidróxido sódico, ya que en este proceso se obtienen pastas más resistentes y blanqueables. En este proceso, las fibras se impregnan con el licor blanco y se realiza la cocción por entre 2 y 6 horas a temperaturas de 160-170°C, para eliminar el contenido de extraíbles y lignina presente en las fibras. El grado de deslignificación depende de la carga de fibras/reactivo y del tiempo y la temperatura de cocción, pero también de si se va a blanquear o no el producto final (Sampedro, 2012).
2. Método de la sosa: Para este se utiliza hidróxido sódico para digerir el material.
3. Método de sulfito: En este se utiliza una solución de bisulfito cálcico con dióxido de azufre, en este método las ligninas se transforman en lignosulfonatos solubles.

### C. Hemicelulosa

La hemicelulosa es un polímero que rodea los filamentos de la celulosa y ayuda a la formación de microfibrillas, estos funcionan como soporte en la pared celular, la holocelulosa que representa la fracción total de polisacáridos, es decir, celulosa + hemicelulosa, como se observa en la Figura 3 (González, et al. 2006).

#### Figura 3.

*Estructura molecular de la hemicelulosa.*



(González, et al. 2006).

## **D. Lignina**

La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes presentes en las plantas, junto con la celulosa y hemicelulosa, estos conforman la pared celular de las mismas. La lignina está asociada a la celulosa y a la hemicelulosa ya que esta aporta fuerza a la estructura de las plantas y protege a los polisacáridos con una barrera resistente a la degradación.

La lignina puede ser aislada del material lignocelulósico mediante una variedad de métodos que implican diferentes procesos mecánicos y/o químicos. Estos se agrupan en dos vías principales, uno en donde el método utilizado libera celulosa y hemicelulosa mediante solubilización, dejando la lignina como residuo insoluble; mientras que el otro proceso utiliza métodos que implican la disolución de lignina, dejando como residuos insolubles la celulosa y la hemicelulosa (Chávez y Domine, 2013).

Para la fabricación de papel se requieren porcentajes de lignina bajos ya que aporta una rigidez alta a las fibras y, además, le proporciona una tonalidad oscura al papel que disminuye la calidad final del producto, los rangos aceptables van entre 14 - 37% (Fonseca, 2006).

## **E. Extraíbles**

Los extraíbles se clasifican como polímeros de isopreno, terpeno, que son resinas las cuales son compuestos no volátiles como grasas, ácidos grasos, alcoholes, resinas acidas, fitoesteroides y compuestos neutros y fenoles los cuales son polifenoles derivados de ácido gálico (Chávez y Domine, 2013). Es importante tener porcentajes bajos para la fabricación de papel ya que estos son compuestos que tienden a separar las fibras celulósicas y generan un producto final de baja calidad que tienen a presentar una menor resistencia y durabilidad, además de presentar un aspecto visual indeseado, los rangos aceptables van entre 0.2 - 8% (Fonseca, 2006).

## **F. El papel**

El papiro fue el origen del uso del papel ya que se utilizaba para facilitar la comunicación y transmitir conocimientos. El papel en la antigüedad estaba compuesto por fragmentos de tela o de hebras de seda de los capullos de los gusanos. Posterior a esto, se comenzaron a utilizar diferentes materiales como cortezas de plantas velas de barcos, cortezas de madera, fibras de bambú, desechos de trapos, ropa de lino, cáñamo y ramio. Pero luego se varió y mejoró la composición del papel para disminuir sus costos de fabricación. Las fibras empleadas eran mezclas de lino, cáñamo y raramente algodón.

Gracias a esto, se conseguía que el papel fuera más ligero, menos rugoso y más barato que el pergamino (Teschke y Demers, 2001).

Actualmente los tipos de papel pueden estar compuestos por fibras de sisal, yute, cáñamo, lino y algodón ya que tienen una mayor calidad que los de madera porque poseen una alta pureza química, alto grado de polimerización y resistencia. Sin embargo, la mayoría de papel que se encuentra en el mercado están hechos a partir de fibras de madera. Las fibras de madera más comunes en el mercado son:

1. Fibras de coníferas, por ejemplo, el abeto, ciprés, pino, etc. Se utilizan estas debido a que tienen fibras largas, resistentes y con un alto grado de polimerización.
2. Fibras de maderas duras, como por ejemplo el álamo, eucalipto, etc. Se utilizan ya que tienen fibras cortas, un grado de polimerización bajo, elementos parenquimatosos y un alto contenido de hemicelulosas.

El papel es una hoja construida esencialmente por fibras celulósicas de origen natural entrelazadas. Las fibras vegetales están compuestas por celulosa (alfa y beta-celulosa) y hemicelulosas por lo que es recomendable el poder realizar papel a partir de fibras vegetales. La estructura básica del papel es un entramado de fibras de celulosa unidas mediante enlaces de hidrógeno, que una vez separadas del resto de componentes no celulósicos mediante el proceso de elaboración de pasta celulósica, estas tienen alta resistencia a la tracción, absorben los aditivos empleados para la transformación de la pasta celulósica en papel que sea flexible, químicamente estable y blanco (González, et al. 2006).

En Guatemala se tienen datos de exportación de papel y cartón de US\$522.2 millones de dólares para septiembre del 2023 (Banguat, 2023), lo que lo hace un consumo significativo.

### ***F.1. Composición química del papel***

Para la elaboración de papel es de suma importancia el conocer las propiedades físicas y químicas de la materia prima utilizada ya que de estas depende la calidad del papel. La configuración química básica del papel es una estructura de fibras de celulosa (un polisacárido de 600 a 1000 unidades de sacarosa) unidas por medio de enlaces de hidrógeno. Para la producción de papel las fibras de celulosa se deben separar del resto de componentes no celulósicos como lo son, en el caso de la madera, hemicelulosas, grasas, ceras, alcoholes, fenoles, ácidos aromáticos, aceites esenciales, oleorresinas, esteroides, alcaloides, entre otros. En el caso de la pulpa del café, hemicelulosa, proteínas y cenizas, es importante poder separar estos componentes ya que, sin estos componentes, las fibras tendrán una alta resistencia a la tracción y la capacidad de absorber los aditivos de una mejor manera (González, et al. 2006).

Dentro de las propiedades físicas importantes para la elaboración de papel se encuentra el volumen, densidad, humedad, resistencia y en el caso de utilizar residuos, es importante conocer el grado de madurez de la materia prima utilizada. Además, las propiedades químicas son aún más importantes para determinar la calidad de las fibras y asegurar la

calidad del producto final, entre las características importantes son la resistencia a la tracción, flexibilidad, estabilidad, adhesión, color, absorción de aditivos, entre otros (González, et al. 2006).

Para la fabricación de papel se busca eliminar al máximo los posibles componentes no celulósicos que puedan afectar la calidad del papel, como la lignina y las sustancias extraíbles, que por sus propiedades químicas dan una tonalidad oscura al producto final y al mismo tiempo disminuyen su flexibilidad, absorción, estabilidad y resistencia. Por ello es importante que en la producción de papel que las fuentes de fibra cuenten con un alto contenido de celulosa y un bajo porcentaje de lignina, extraíbles y humedad con el fin de obtener un papel de buena calidad, los parámetros ideales de la materia prima para la fabricación de papel son de 6 a 11% de humedad, 30 a 60% de celulosa, 14 a 37% de lignina y 0,2 a 8 % de sustancias extraíbles tales como grasas, ceras, alcoholes, fenoles, ácidos aromáticos, aceites esenciales, oleorresinas, esteroides, alcaloides y pigmentos colorantes (Fonseca, 2006).

## ***F.2. Proceso de fabricación de papel***

La fabricación de papel consta de principalmente dos etapas, la fabricación de la pasta de celulosa y la elaboración del papel. En la pasta de papel se encuentran componentes principales de dos clases de fibras; fibras de celulosa y fibras de lignina. La celulosa es el componente más abundante e importante en la pasta, está formada por unidades de glucosa. La lignina es un tipo de celulosa compuesta, combinada con moléculas de otras sustancias químicas como compuestos aromáticos o cíclicos, por lo que esto vuelve más rígida y oscura la pasta y debido a esto es importante separarse o pueden realizarse procesos de blanqueamiento para mejorar la calidad del papel (López, 2005).

El proceso para la elaboración de papel inicia con la obtención de la materia prima a utilizar. En primer lugar, se debe realizar un proceso de limpieza de la materia prima, que posteriormente se procede a triturar y almacenar. Luego de realizar esto, se procede con la fase de cocción de la materia prima con el fin de obtener pasta de celulosa, la cual está libre de lignina, este proceso puede realizarse de manera química o mecánicamente.

En el proceso mecánico la materia prima se transforma en fibra triturándola contra una piedra que gira rápidamente bajo la adición de agua, la desventaja de este tipo de pasta es que la fibra posee impurezas como contenidos altos de lignina, el cuál produce un color amarillento del papel, se torna más opaco y posee una baja resistencia a la luz.

En el proceso químico consiste en la eliminación de la mayor parte de la lignina contenida en la madera con la cocción en una solución química con sulfatos o sulfitos, lo cual proporciona un papel con mayor calidad y resistencia.

Luego se pasa a una fase de depuración, en la que la pasta de celulosa es sometida a un lavado con agua y algún blanqueador. Este último proceso tiene como objetivo la

eliminación total de la lignina remanente de los procesos anteriores con tratamientos químicos con oxígeno, ozono o peróxido de hidrógeno para poder obtener un papel de un tono claro.

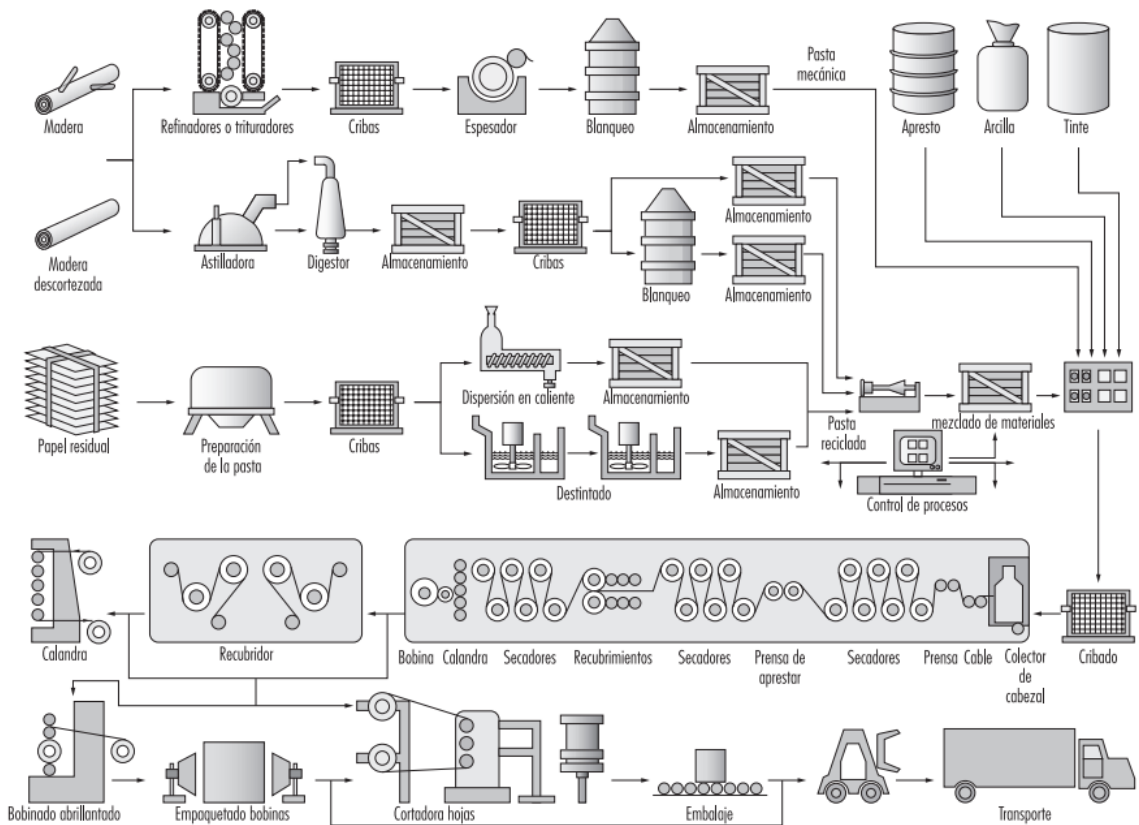
Posterior al proceso de blanqueo, se procede a adicionar en cantidad grande de agua a la pasta y se procede a realizar la hoja de papel como una tela fina. Finalmente, el proceso de papel termina en el prensado, corte, enrollado y acondicionado final de la hoja de papel donde se fijan características específicas como el brillo, suavidad y el tamaño de la hoja (López, 2005).

### ***F.2.1. Operaciones unitarias utilizadas en el proceso de producción de papel.***

Para el proceso de producción de papel, se inicia con la recepción de la materia prima, posterior a esto se realiza una preparación de la materia prima, iniciando con un lavado para poder eliminar las impurezas presentes. Luego de la preparación de la materia prima se realizan varios procesos para la elaboración de la pasta celulósica y posterior la fabricación de la hoja de papel, que son:

1. Trituración de la materia prima: la materia prima se pica en pequeñas partes por una máquina llamada chipeadora.
2. Impregnación de las fibras: se realiza una impregnación para poder empapar las fibras de la solución y que penetren de mejor manera por el tiempo necesario, esto se realiza en un recipiente denominado pulper.
3. Cocción de las fibras: luego de la impregnación, se realiza una cocción de las fibras para poder obtener la pasta celulósica.
4. Lavado de las fibras: en este proceso se eliminan los componentes que no son necesarios en el proceso, dejando únicamente la pasta celulósica.
5. Formación y prensado de la hoja: luego la pasta celulósica se deja caer sobre una tela para formar la hoja que posterior a eso se pasa por un proceso de calandrado y estucado para proporcionar el gramaje requerido y alisarlo, para posteriormente enrollarlo para ser bobinado y/o cortado a las medidas requeridas. (Gredilla, 2019).

**Figura 4.**  
*Proceso de fabricación de pasta celulósica y papel.*



(Teschke y Demers, 2001).

### F.2.2. Pruebas de calidad para papel.

Debido a los procesos que es sometida la fibra de celulosa para la producción de papel, resulta difícil describir las características de una hoja de papel, ya que existe una gran variedad de tipos de papel en el mercado. Gran parte de las propiedades que definen un producto exitoso en el mercado no poseen valores absolutos, sino más bien subjetivos. Propiedades como la resistencia a la tensión no solo dependen de la carga sino de la longitud de la muestra.

Las características típicas de una hoja de papel y que serán de interés durante el estudio, haciendo referencia a la Technical Association of the Pulp y Paper Industry US (TAPPI) son:

1. Masa base: hace referencia al peso por unidad de área, generalmente se mide en gramos por metro cuadrado.
2. Calibre o grosor: este debe ser de 0.15mm y se manejan tolerancias de operación menores a 0.05mm, y si fuera mucho mayor, se estaría trabajando con papel de alta resistencia.

3. Propiedades evidentes al tacto:
  - 3.1. Suavidad: esta es una propiedad subjetiva del papel declarada por la sensación de suavidad cuando una hoja es sometida al tacto humano, en ausencia de arrugas sobre la superficie de esta.
  - 3.2. Textura superficial del papel: debe ser atractiva al tacto, con una textura similar a la de la tela, no áspera y abrasiva.
4. Tonalidad: la determinación o el cálculo de los valores triestímulo a partir de la determinación de la reflectancia espectral permite obtener las coordenadas de color en las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en el espacio de color.

El parámetro  $a^*$  mide el tinte en el eje rojo (+) - verde (-) y el parámetro  $b^*$  mide el tinte en el eje amarillo (+) azul (-). Ambos pueden alcanzar valores máximos de 80-90. Ausencia de color significa valores nulos de los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ . El equipo utilizado para realizar estas mediciones es un colorímetro.

### ***F.3. Diferencia entre papel y cartón***

Una de las características más importantes del papel es el gramaje, el cual es el peso medido en gramos por metro cuadrado ( $g/m^2$ ) de un papel. La diferencia entre papel y cartón viene dada básicamente por el gramaje de fabricación, en la tabla 1, se describen los tipos de gramajes más utilizados en la industria.

**Tabla 1.**

*Ejemplos de gramajes utilizados en la industria.*

<b>Ejemplos de gramajes utilizados en la industria</b>	
<b>Gramaje (<math>g/m^2</math>)</b>	<b>Tipo de papel</b>
45 – 60	Papel periódico
80	Papel blanco
160 - 600	Cartón

*Adaptado de Consejería de Medio Ambiente, 2014.*

## **G. Economía circular**

La economía circular busca cambiar la forma en que diseñamos, producimos y consumimos bienes y servicios. A diferencia del modelo económico lineal tradicional, en el que los productos se fabrican, utilizan y luego se descartan, la economía circular promueve la idea de cerrar el ciclo de vida de los productos, minimizando el desperdicio y maximizando la eficiencia (Parlamento Europeo, 2023).

La economía circular se basa en estos pilares centrales:

1. Diseño sostenible: se busca un diseño teniendo en cuenta la sostenibilidad desde el inicio, creando los productos duraderos, reparables y reciclables para la minimización de los desechos.
2. Reutilización y reciclaje: se busca extender la vida útil de los productos y cuando se dejen de utilizar, reciclarlos para reintroducirlos en la cadena productiva.
3. Uso eficiente de los recursos: se busca reducir la generación de residuos en la fuente y gestionar eficientemente los residuos que se generan.
4. Educación y conciencia: se busca sensibilizar y educar para involucrar a la sociedad en prácticas más sostenibles.

## VI. Metodología

### A. Caracterización de la materia prima

#### A.1. Preparación de la materia prima y determinación de humedad

**Equipo:**

Balanza  
Secador de bandeja  
Molino de rodillos

**Materiales y cristalería:**

Bandejas perforadas de  
metal

**Procedimiento:**

1. Precalentar el secador de bandejas a una temperatura de 120°C.
2. Asegurarse que la materia prima esté limpia y no contenga impurezas.
3. Pesar las muestras.
4. Distribuir toda la pulpa de café de una forma uniforme sobre una bandeja de metal perforada para tener un mejor secado.
5. Identificar las bandejas con cada una de las muestras utilizadas para tener un mejor control.
6. Cuando el horno llegue a la temperatura deseada, ingresar las muestras.
7. Secar las muestras por 3 horas a 120°C, revisando las muestras cada 30 minutos aproximadamente.
8. Cuando las muestras estén secas, dejar que se enfríen.
9. Moler la muestra en el molino de rodillos para disminuir su tamaño.
10. Pesar las muestras secas, posterior a esto, la materia prima está lista para utilizarse en los procesos posteriores.

Para la determinación del porcentaje de humedad en la muestra, se utilizó la Ecuación 1, la cual se aplica utilizando la siguiente forma:

$$\% \text{ de humedad} = \left( \frac{\text{peso muestra húmeda (g)} - \text{peso seco (g)}}{\text{peso de la muestra seca (g)}} \right) \times 100$$

## A.2. *Determinación y eliminación de extraíbles*

### **Reactivos:**

240 mL de Etanol  
170 mL de Tolueno  
  
7 g de pulpa de café

### **Materiales y cristalería:**

Papel filtro 150 mm Ø  
Matraz de fondo plano de 250 mL  
Equipo de soxhlet  
Equipo de reflujo  
Probeta de 100 mL  
Beaker de 500 mL  
Agitador magnético

### **Equipo:**

Balanza analítica  
Plancha de agitación y calentamiento  
Campana de extracción

### **Procedimiento:**

#### **Primera extracción:**

1. Pesar la muestra previamente triturada.
2. Pesar el cartucho solo y con la muestra.
3. Colocar en un cartucho de extracción fabricado con papel filtro cortado en un cuadrado de aproximadamente 10 cm, formando una pequeña bolsa con la muestra dentro que se colocará en el extractor de soxhlet en el compartimento de la muestra.
4. Medir el solvente, se utilizarán dos tipos de solventes, etanol y tolueno en relaciones de 1:2 por volumen.
5. Ensamblar el equipo; colocar el balón, con un agitador magnético dentro, el extractor de soxhlet con la muestra dentro y el equipo de refrigeración. Se debe ensamblar colocando un soporte debajo, luego una estufa para calentamiento, el matraz y el soxhlet (Figura 5).
6. Agregar por la parte superior del soxhlet 200 ml del disolvente a utilizar (es necesaria una cantidad tal que llene el asa de la parte intermedia para que durante el proceso de extracción sifone y recircule). Teniendo esto, se procede a terminar el montaje con el equipo de recirculación.
7. Luego de realizar todo el montaje, calentar el sistema a una temperatura de 135°C, agitación constante media y se empieza con el reflujo de agua. Para la extracción es necesario realizarla por aproximadamente 5 horas para que la extracción se complete totalmente o se puede observar cuando se vacíe el espacio de extracción (compartimento de la muestra) o hasta que la solución al interior del extractor se torne incolora.
8. Posterior a esto, el residuo se debe lavar con etanol al 95% (v/v).

#### **Segunda extracción:**

1. Ensamblar el equipo; colocar el balón, con un agitador magnético dentro, el extractor de soxhlet con la muestra dentro y el equipo de refrigeración. Se debe ensamblar colocando un soporte debajo, luego una estufa para calentamiento, el matraz y el soxhlet.
2. Agregar por la parte superior del soxhlet 200 mL de etanol al 95% (v/v).
3. Luego de realizar todo el montaje, calentar el sistema a una temperatura de 135°C, agitación constante media y se empieza con el reflujo de agua, se realiza la extracción durante 2 horas hasta que la solución se torne incolora de nuevo.
4. Finalmente lavar el residuo con 500 ml de agua destilada.

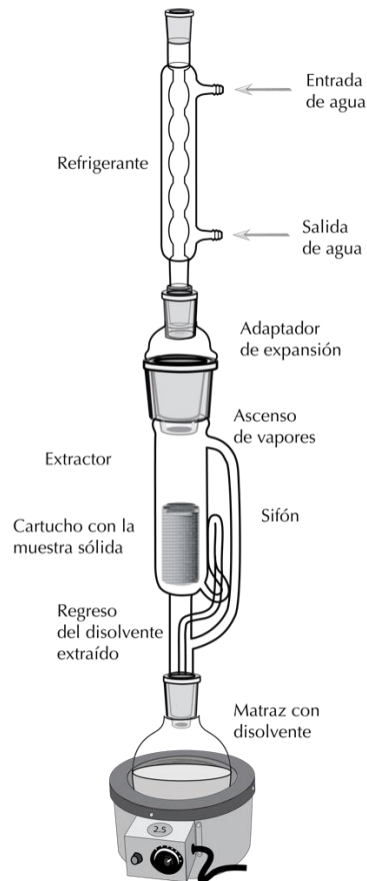
**Secado:**

1. Secar la muestra a 120°C por 30 minutos.
2. Pesar la muestra.

Para determinar el porcentaje de extraíbles presentes en la muestra, se utilizó la Ecuación 2, en donde: PRAE: es el peso del residuo antes de la extracción (g), PRDE: es el peso del residuo después de la extracción (g), (González, et al. 2006; Ordoñez Pineda y Sepúlveda Monroy, 2019).

$$\% \text{ Extraíbles} = \left( \frac{PRAE - PRDE}{PRDE} \right) \times 100$$

**Figura 5.**  
*Equipo de Soxhlet.*



(González, et al. 2006; Ordoñez y Sepúlveda, 2019).

### A.3. *Determinación de lignina*

**Reactivos:**

10 mL de Ácido sulfúrico  
1 g de pulpa de café

**Materiales y cristalería:**

Baño de agua  
Termómetro  
Erlenmeyer de 125 mL  
Erlenmeyer de 500 mL  
Beaker de 50 mL  
Beaker de 100 mL  
Beaker de 600 mL  
Papel filtro 150 mm Ø

**Equipo:**

Balanza analítica  
Bomba de vacío  
Plancha de agitación y calentamiento

**Procedimiento:****Eliminación de lignina:**

La muestra utilizada será la muestra luego del proceso de eliminación de extraíbles.

1. En un erlenmeyer agregar la muestra previamente triturada y agregar 15 mL de ácido sulfúrico al 72% (v/v) y un agitador magnético.
2. Agitar por 2 horas en un baño con agua a 20°C en una plancha con agitación.
3. Transferir a un balón de 500 ml agregando 360 ml de agua destilada.
4. Dejar hervir por 3 horas en una plancha de calentamiento.
5. Filtrar la solución con un filtro previamente pesado.
6. Lavar con agua a 50°C.

**Secado:**

1. Secar la muestra a 120°C por 30 minutos.
2. Pesar la muestra.

Para determinar el porcentaje de lignina en la muestra se utilizó la Ecuación 3, como se indica a continuación (González, et al. 2006; Ordoñez y Sepúlveda, 2019).

$$\% \text{ Lignina} = \left( \frac{\text{Peso de lignina contenida en el residuo (g)}}{\text{Peso residuo libre de extraíbles (g)}} \right) \times 100$$

#### A.4. Determinación de celulosa en pulpa de café

<b>Reactivos:</b>	<b>Materiales y cristalería:</b>	<b>Equipo:</b>
2 mL de Ácido acético	Beaker de 100 mL	Baño de agua
20 g de Hidróxido de sodio	Papel filtro 150 mm Ø	Bomba de vacío
1 g de pulpa de café		

#### **Procedimiento:**

##### **Cuantificación de celulosa:**

La muestra utilizada será la muestra luego del proceso de eliminación de extraíbles.

La concentración de hidróxido de sodio que se utilizará será de 17.5% (v/v).

1. Tomar 1g de muestra de pulpa de café en un beaker de 100 ml.
2. Agregar 10 ml de hidróxido de sodio, agitar y dejar reposar por 2 minutos aproximadamente, luego agitar nuevamente y reposar por 3 min.
3. Agregar 5 ml de hidróxido de sodio, agitar y dejar reposar por 5 min.
4. Repetir el paso 3.
5. Agregar 5 ml de hidróxido de sodio, agitar y dejar reposar por 30 min a temperatura ambiente.
6. Agregar 30 ml de agua destilada, agitar y dejar reposar por 1 hora.
7. Filtrar al vacío la muestra con el papel previamente tarado y lavar con una solución de hidróxido de sodio al 7.5% (v/v).
8. Luego lavar con agua destilada y detener el vacío. Agregar 15 ml de una solución el 10% (v/v) de ácido acético y después de 3 min aplicar el vacío. Luego lavar con agua destilada aplicando vacío.

##### **Secado:**

1. Secar la muestra a 120°C por 30 minutos.
2. Pesar la muestra.

Para determinar el porcentaje de celulosa presente en la muestra, se utilizó la Ecuación 4, en donde: PR; es el peso bruto del residuo (g), PL; es el peso de lignina en 1g de residuo (g), PLE; es el peso del residuo libre de extraíbles (g), PTM; es el peso del residuo antes de la extracción (g) (González, et al. 2006; Ordoñez y Sepúlveda, 2019).

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(PR - PL) \times PLE}{PMT} \times 100$$

## B. Producción de papel

**Reactivos:**

0.45 kg Hidróxido de sodio

**Materiales:**

0.3 kg Pulpa de café

**Equipo:**

Licadora industrial

Estufa y horno

**Procedimiento:**

1. Lavar la pulpa con 1L de agua para eliminar impurezas.
2. Colocar la de pulpa de café en una licadora industrial con agua y licuar a velocidad media por 5 minutos para romper las fibras.
3. Se procede a la impregnación de la fibra, esto se hace al someter la pulpa en una solución de hidróxido de sodio al 15% (v/v) (licor blanco) por al menos 24 horas.
4. Luego se realiza el cocimiento de la fibra a temperatura de 130-150°C por 3 horas, se obtiene la pasta y licor negro.
5. Para el lavado de la fibra se realizan 10 etapas de lavado en serie con agua para eliminar los rastros de licor negro.

**Modelado y secado:**

1. Terminado los pasos anteriores, la muestra está lista para modelarla, con ayudar de un marco de tamaño A5 con mesh, sumergir en la muestra de solución de pulpa en agua.
2. Modelar la hoja haciendo movimientos para que la hoja quede de un grosor adecuado.
3. Luego sacar la hoja de la solución.
4. Secar la hoja en un horno a una temperatura de 120°C por 90 minutos.

(González, et al. 2006; Ordoñez y Sepúlveda, 2019; Velázquez, et al., 2016).

## VII. Resultados

En la Tabla 2, 3 y 4 se presentan los datos obtenidos experimentalmente en cuanto a la composición química y características físicas de la hoja de papel fabricada con pulpa de café.

**Tabla 2.** Comparación de contenido de extraíbles, lignina y celulosa promedio para pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.

<b>Media de resultados de contenido de extraíbles, lignina y celulosa de la pulpa de café</b>			
<b>Contenido de</b>	<b>Extraíbles (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Celulosa (%)</b>
<b>Pulpa 1 (1560 msnm)</b>	11.82 ± 0.00016	26.45 ± 0.00015	54.06 ± 0.00015
<b>Pulpa 2 (1290 msnm)</b>	15.52 ± 0.00017	29.95 ± 0.00017	52.92 ± 0.00015

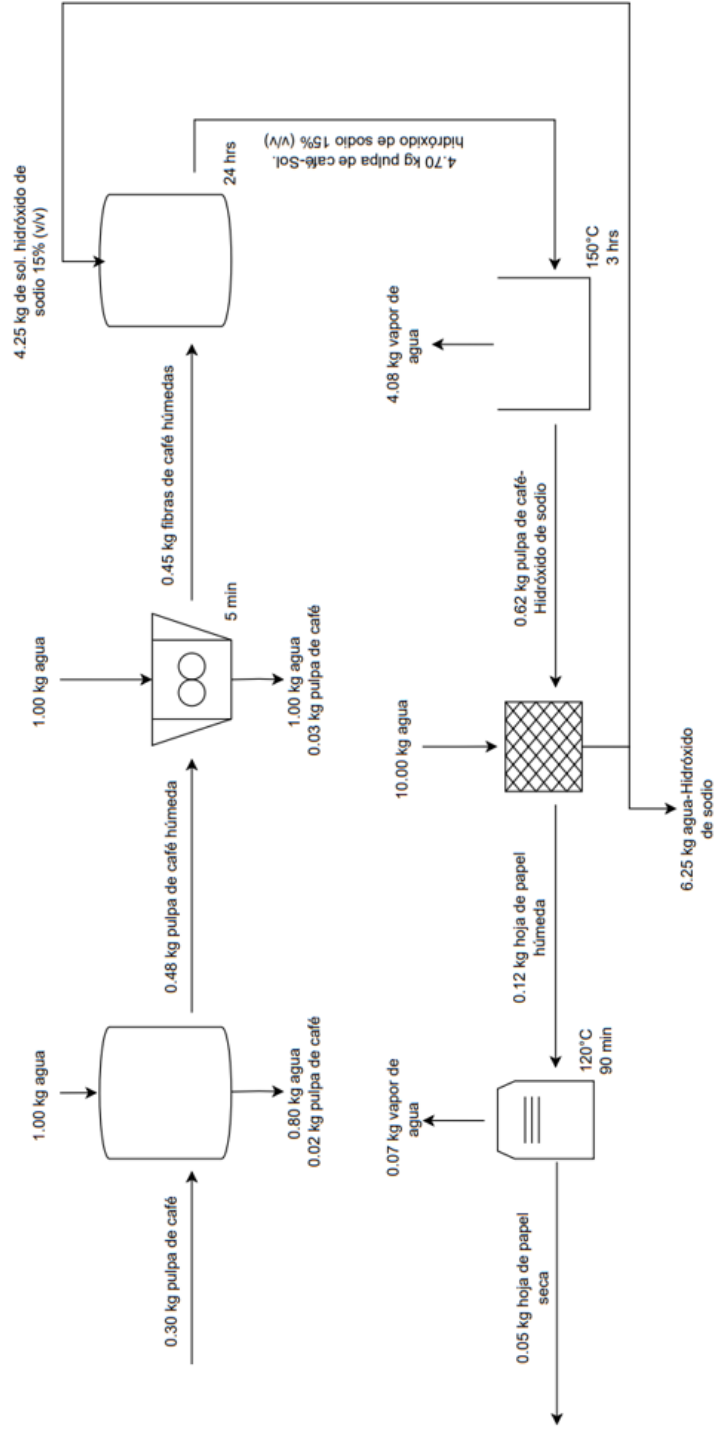
**Tabla 3.** Desviación estándar del contenido de extraíbles, lignina y celulosa para pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.

<b>Desviación estándar de los resultados de contenido de extraíbles, lignina y celulosa de la pulpa de café</b>			
<b>Contenido de</b>	<b>Extraíbles</b>	<b>Lignina</b>	<b>Celulosa</b>
<b>Pulpa 1 (1560 msnm)</b>	0.045	0.042	0.042
<b>Pulpa 2 (1290 msnm)</b>	0.048	0.100	0.053

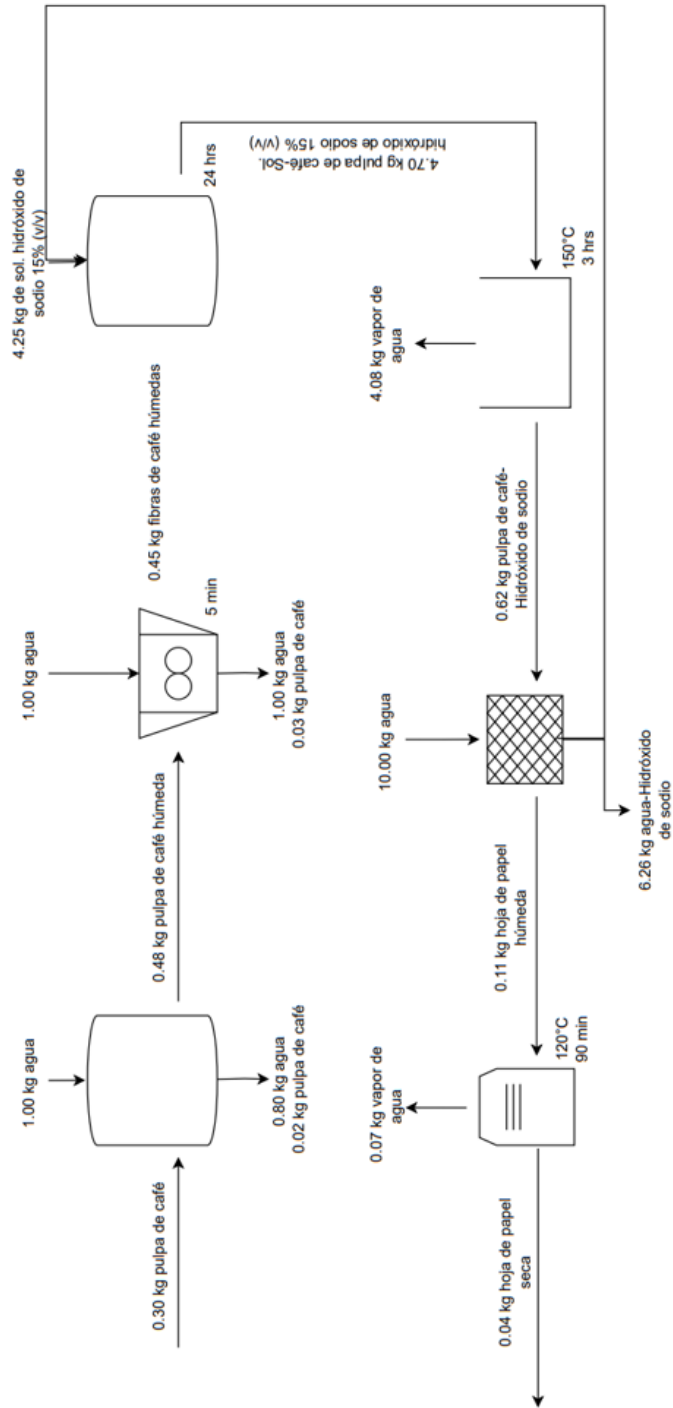
**Tabla 4.** Características físicas promedio de la hoja de papel fabricada con pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.

<b>Media de características físicas</b>		
<b>Característica</b>	<b>Masa base (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Grosor (mm)</b>
<b>Pulpa 1 (1560 msnm)</b>	2.85 ± 0.014	1.18 ± 0.005
<b>Pulpa 2 (1290 msnm)</b>	2.68 ± 0.014	1.19 ± 0.005

**Figura 6:** Balance de masa del proceso de producción de papel con pulpa de café sembrada a 1560 msnm trabajada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala a una temperatura de 21.5°C y presión atmosférica constantes.



**Figura 7:** Balance de masa del proceso de producción de papel a partir de pulpa de café sembrada a 1290 msnm trabajada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala a una temperatura de 21.5°C y presión atmosférica constantes.



En la Tabla 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos en relación con los costos de producción y rendimiento de la fabricación de la hoja de papel hecha a base de pulpa de café.

**Tabla 5.** Rendimiento de la pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente para la producción de hojas de papel.

	<b>Rendimiento (% ± 0.05)</b>
<b>Pulpa 1 (1560 msnm)</b>	16.67
<b>Pulpa 2 (1290 msnm)</b>	13.33

**Tabla 6.** Costo de fabricación de una hoja tamaño A5 a partir de pulpa de café tomando en cuenta los costos de materia prima y consumo de equipos.

<b>Costo de la hoja de papel a base de pulpa de café</b>	
<b>Materia prima</b>	<b>Costo (Q)</b>
Pulpa de café	2.67
Energía	0.75
Agua	0.02
Hidróxido de sodio	0.19
<b>Precio por hoja</b>	<b>3.65</b>

**Tabla 7.** Resultados de color medido con un colorímetro para varias muestras de papel.

<b>Resultados medidos con el colorímetro</b>			
<b>Muestra</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
Papel periódico	40.52	0.40	-11.49
Papel Kraft	28.58	1.70	-3.08
Papel blanco	46.94	0.34	-17.82
Hoja pulpa 1	39.75	0.54	-10.89
Hoja pulpa 2	35.86	0.96	-10.96

## VIII. Análisis de resultados

Con el objetivo principal de determinar el contenido de extraíbles, celulosa y lignina presente en la pulpa de café sembrado en altitudes de 1,300 y 1,500 msnm aproximadamente, proveniente de Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala para la fabricación de papel, se realizó la caracterización de la materia prima de la pulpa de café utilizada, la cual fue un blend de variedad Arábica (Bourbon, Caturra, Sarchimor). Para lo cual se realizaron mediciones experimentales en triplicados de aspectos anteriormente mencionados para la elaboración de papel.

La elaboración de este trabajo de graduación surgió con la idea de poder brindar una posible alternativa de un subproducto o desecho de uno de los procesos productivos más importantes del país, ya que el café es una de las bebidas de mayor consumo en el mundo entero. Guatemala es un país con una gran presencia en producción y exportación de café, las exportaciones alcanzaron un total de US\$887.3 millones de dólares para septiembre del 2023. Esto debido a sus diferentes altitudes de terreno, climas y calidad del suelo que crean condiciones favorables para la producción de café de alta calidad.

La caracterización de la materia prima inició con la cuantificación de extraíbles que se realizó mediante una prueba de extraíbles solubles en etanol-tolueno en el equipo de soxhlet, según la Norma TAPPI T-264 cm-97 (Anexo 62), ya que esta norma describe el procedimiento para la caracterización de manera para análisis en la producción de papel y cartón, para lo que se obtuvo un porcentaje de extraíbles en promedio de  $11.82\% \pm 0.00017\%$  para la muestra de pulpa de café a 1560 msnm y  $15.52\% \pm 0.00016\%$  para la muestra de pulpa de café a 1290 msnm. Para la elaboración de papel es importante tener porcentajes de extraíbles bajos ya que estos al ser compuestos que tienden a separarse de las fibras celulósicas generan un producto final de baja calidad que tienen a presentar una menor resistencia y durabilidad, además de presentar un aspecto visual indeseado.

Debido a esto, se desea tener un contenido de extraíbles bajos para la producción de papel ya que tener porcentajes altos presentarían altos costos de producción para su eliminación además de reducir los niveles de producción. Con los datos experimentales obtenidos se determinó que los porcentajes de extraíbles se encuentran por arriba de los parámetros ideales (0.2 a 8%) (Fonseca, 2006). A pesar de esto los porcentajes no se consideran altos, por lo que con la materia prima utilizada si es posible realizar las hojas de papel. Para ello no será necesario realizar un procedimiento previo para la eliminación de estos, pero al no estar dentro de los parámetros ideales si se desea obtener un producto de calidad alta se recomienda realizar un proceso de eliminación de estos.

Posterior a la cuantificación de extraíbles se procedió a la determinación de lignina presente en las muestras, esto se realizó para determinar la viabilidad de uso de pulpa de café como materia prima para la producción de café, los resultados obtenidos fueron de  $26.45\% \pm 0.00015\%$  para para la muestra de pulpa de café a 1560 msnm y  $29.95\% \pm 0.00017\%$  para la muestra de pulpa de café a 1290 msnm, el porcentaje de lignina experimental analizado es aceptable y se encuentra dentro de los parámetros ideales para la elaboración de papel (14 a 37%) (Fonseca, 2006). Esto es importante ya que tener porcentajes de lignina altos presentaría costos de producción altos para la producción de papel.

Para la fabricación de papel se requieren tener porcentajes de lignina bajos debido a que aporta una rigidez alta a las fibras y, además, le proporciona una tonalidad oscura al papel con disminución de la calidad final del producto. Los resultados experimentales obtenidos presentan un buen indicio sobre la calidad de la materia prima para su uso posterior para la elaboración de papel.

La cuantificación de celulosa se realizó con el fin de cuantificar que el porcentaje de celulosa presente en residuos estudiados para que este fuera igual al que se encuentra presente en las materias primas utilizadas para la fabricación de papel, para que utilizar pulpa de café sea una propuesta factible. El contenido de celulosa debe ser alto ya que entre más alto sea el porcentaje, mayor será el contenido de fibra celulósica disponible para utilizarla como materia prima para la producción de papel.

Experimentalmente se obtuvo un  $54.06\% \pm 0.00015\%$  de celulosa presente en la muestra de pulpa de café a 1560 msnm y  $52.92\% \pm 0.00015\%$  para la muestra de pulpa de café a 1290 msnm, en promedio, lo que lo hace una materia prima ideal para la fabricación de papel en relación con los parámetros aceptables (30 a 60%) (Fonseca, 2006). La estructura básica del papel son las fibras celulósicas que la componen, estas se caracterizan por ser altamente resistentes a la tracción, absorbentes, flexibles y ser químicamente estables. Por lo que los porcentajes obtenidos hacen a la pulpa de café una materia prima adecuada, ya que presentan contenido de celulosa altos, obteniendo un producto final flexible y de buena calidad.

De acuerdo con a la caracterización de la materia prima experimental, se determinó que presenta contenidos aceptables de contenido de extraíbles, ya que contenidos altos de extraíbles tienden a separar las fibras celulósicas generando un producto final de baja calidad ya que presentan una menor resistencia y durabilidad, además de presentar un aspecto visual indeseado. En cuanto al contenido de lignina, se determinaron porcentajes bajos que se encuentran dentro de los parámetros ideales, esto es importante ya que porcentajes altos presenta tonalidades más oscuras en el producto final. Con los porcentajes de celulosa obtenidos se determinó que la materia prima presentará un producto final flexibles y de buena calidad, por lo que se determinó que la pulpa de café es una buena materia prima para la fabricación de papel.

En base a los resultados obtenidos experimentalmente, presentados en la Tabla 2, de los contenidos promedios de celulosa, lignina y extraíbles, se puede notar que la pulpa sembrada a una altitud de 1560 msnm presenta menores valores de lignina y extraíbles y mayores valores de contenido de celulosa, que la pulpa sembrada a 1290 msnm, por lo que se demuestra mediante estas características fisicoquímicas la influencia de la altitud de siembra en la calidad del café. Se analizó que la altitud de siembra del café incide directamente en la calidad del café y en las propiedades físicas de la pulpa del café, por lo que al estar a mayores altitudes de siembra se obtendrán hojas de papel de mayor calidad presentando una buena resistencia, durabilidad y una menor coloración.

Además de los tres parámetros analizados anteriormente se realizó un análisis de contenido de humedad de cada muestra, para conocer la estabilidad de la materia prima durante la producción y en el producto final, ya que si se tienen parámetros altos de humedad la hoja de papel tiene a quebrarse fácilmente, además que la humedad nos ayuda con la flexibilidad de las hojas de papel, se determinó un contenido de humedad de  $40.91\% \pm 0.005\%$  para para la muestra de pulpa de café a 1560 msnm y  $45.52\% \pm 0.005\%$  para la muestra de pulpa de café a 1290 msnm en promedio.

Posterior a las pruebas realizadas, se comprobó que la pulpa de café es una materia prima apta para la fabricación de papel, si se sabe que para la elaboración de una taza de café se necesitan aproximadamente ocho gramos de café tostado y molido y para producir esos ocho gramos de café se necesitan cosechar al menos 40g de café, lo cual produce alrededor de 12g de pulpa de café, por lo que podríamos producir alrededor de 40 hojas de papel hechas a base de pulpa de café.

Para la producción de las hojas de papel hechas a base de la pulpa de café es muy importante iniciar rompiendo las fibras, esto se logra triturando la materia prima, con la trituración se genera una mayor superficie de contacto que ayuda a penetrar de mejor manera las fibras en la etapa de cocción. La trituración se realizó en una licuadora por un tiempo y velocidad determinados, para romper las fibras, ya que se necesita disminuir el tamaño de la fibra, pero no es necesario un tamaño de partícula determinado. Luego las fibras se dejan en un proceso de impregnación en el cual se dejan por 24hrs en una solución de hidróxido de sodio al 15% (v/v), que posteriormente se llevará a un proceso de cocción.

La cocción se llevó a cabo a temperaturas de entre 130 y 150°C ya que a esta temperatura se tiene un rompimiento de las fibras y se usó hidróxido de sodio al 15% (v/v) se utilizó este proceso debido a que con este se obtienen pastas más resistentes, además que es el más utilizado en el mundo. Posterior a la cocción se realizaron lavados en serie para que los licores de cocción utilizados se separen de las fibras de celulosa y poder posteriormente realizar el modelado de la hoja de papel. Se realizaron 10 lavados en serie con un litro de agua en cada lavado, esto con el fin de poder conocer cuanto pigmento se puede eliminar, los lavados pueden reducirse dependiendo de la tonalidad final que se requiera, además el agua de lavado puede utilizarse de nuevo en el proceso de impregnación de las fibras para poder reducir el consumo de agua en el proceso.

Las hojas se modelaron en un molde de madera con mesh, el mesh debe ser lo suficientemente pequeño para no dejar pasar las fibras, pero no completamente cerrado para que la muestra pueda ser secada, se utilizan mesh desde 50 hasta 80 hilos por pulgada, como se observa en el Anexo 20. Se utilizó un molde de tamaño de hoja A5 (149x210mm) ya que por su tamaño facilita su manejo y se pueden hacer comparaciones con dicho tamaño de hoja comercial.

Posterior al modelado de la hoja, estas se secan en un horno a una temperatura de 120°C por 90 minutos aproximadamente para eliminar el exceso de humedad de la hoja, el tiempo de secado puede reducirse al implementar un proceso de prensado de la hoja, ya que se eliminará gran parte del agua presente, además de ayudar a tener menor textura en las hojas y tener un gramaje determinado para las condiciones que se requieran.

Con las hojas fabricadas a partir de pulpa de café realizadas experimentalmente, se puede observar en el Anexo 26, en el que se hace una comparación de las características, que ambas hojas de papel son muy similares, pero presenta una mejor puntuación la pulpa 1 (1560msnm), por lo que se confirma que la calidad de la pulpa de café sembrada a mayores altitudes, presenta mejores resultados, además de la diferencia considerable del color que va de la mano al contenido de lignina en la misma, como se aprecia en el Anexo 22. En base al Anexo se realizó una ponderación de las hojas de papel obtenidas, para evaluar de manera cualitativa la calidad de las hojas de papel a base de pulpa de café en cuanto a las características evidentes al tacto observadas.

Además, se midieron las características físicas de la hoja como lo es la masa base y el grosor, la masa base se midió con la masa de la hoja seca y sus medidas, estas propiedades no son iguales ya que las hojas se realizaron de forma manual por lo que la masa y grosor de estas varían. Con estos resultados se comprobó que la muestra de pulpa de café a 1560msnm presenta hojas de papel más compactas, por lo que se tiene una mejor calidad.

En el Anexo 26 se muestran los parámetros de las características evidentes al tacto que son textura y nivel de textura, dependiendo a si es lisa, rugosa, áspera o granulada, haciendo referencia a una textura similar a algo para poder comparar la y describir cualitativamente el aspecto que mejor se asemeja, además se midió el nivel de presencia de textura ya sea alto, medio o bajo, dependiendo del aspecto medido anteriormente. Es importante tomar en cuenta que al ser un parámetro cualitativo esta medición depende del evaluador, por lo que esta medición es una referencia al aspecto físico de la hoja de papel obtenida realizada a base de pulpa de café.

En la Tabla 7 se puede observar la comparación del estudio de la tonalidad de las hojas hechas a base de pulpa de café en comparación a hoja de papel blanco, papel periódico y papel kraft medido con un colorímetro para poder determinar de manera cuantitativa la diferencia de color además de comparar las hojas hechas con la pulpa sembrada a una altitud de 1560msnm y la pulpa sembrada a 1290msnm, adicional se contrastaron los colores de la hoja hecha a base de pulpa de café con un sistema de color Pantone para analizar la tonalidad obtenida.

En el Anexo 38 se presentan los resultados obtenidos para la calificación por puntos de las hojas de papel, para lo que se determinó que la calidad del producto final obtenido se determinó mediante las características evidentes al tacto y se calificaron las muestras como rugosas con un nivel de 1.6 y 2.3 en promedio para para la muestra de pulpa de café a 1560 msnm y 1290 msnm respectivamente, por lo que se calificó el producto obtenido como de una calidad media-baja, para lo que se observa que ambas hojas de papel presentan una textura similar, pero la pulpa de café a 1560 msnm presenta menores niveles, por lo que la pulpa 1 tiene mejor aspecto visual y mejor calidad, con esto también se comprobó que la altitud de siembra influye directamente en la calidad del producto.

Para la determinación del rendimiento de la producción de la hoja de papel a partir de pulpa de café se realizó un balance de masa del proceso, tomando en cuenta los procesos de lavado, trituración, impregnación, cocción, lavado y secado para analizar la utilidad de la materia prima como se muestra en la Figura 6 y Figura 7. En base a estos se determinó que la materia prima utilizada es apropiada para la producción de hojas de papel ya que al no tener un contenido alto de extraíbles y lignina, además de tener un contenido alto de celulosa se obtiene un rendimiento aceptable con resultados finales adecuados. En base a los resultados obtenidos en el balance de masa se determinó que se tiene un rendimiento de  $16.67\% \pm 0.05\%$  para para la muestra de pulpa de café a 1560 msnm y  $13.33\% \pm 0.05\%$  para la muestra de pulpa de café a 1290 msnm en promedio, tomando en cuenta únicamente la masa inicial de la materia prima y el producto final obtenido.

En cuanto a los costos de producción de la hoja, se obtuvo un costo de Q.3.65 por cada hoja tomando en cuenta el costo de energía, agua e hidróxido de sodio y el costo de la pulpa de café. Los costos de energía tomaron en cuenta el tiempo de uso y el consumo por equipo en los procesos de trituración, cocción y secado. Los costos analizados se tomaron en base a los costos de energía y agua en Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala. Los costos se realizaron tomando en cuenta el consumo de potencia y tiempo de uso de cada equipo como se observa en el Anexo 37.

Comparado con el precio de una hoja tamaño A5 de papel Kraft comercial (Q 0.50) el precio es mayor por lo que al trabajar a escala industrial se pueden disminuir costos asociados, ya que la producción de papel se realizaría en el mismo lugar de la producción de café y se realizaría una recirculación del gua de proceso, lo que podría disminuir el costo de producción de la hoja a base de pulpa de café por lo que se determinó que económicamente también es un producto factible.

## IX. Conclusiones

- Se determinó que la pulpa de café sembrada a 1290 msnm tiene un contenido promedio de  $15.52\% \pm 0.00016\%$  de extraíbles,  $29.95\% \pm 0.00017\%$  de lignina y  $52.92\% \pm 0.00015\%$  de celulosa
- Se determinó que la pulpa de café sembrada a 1560 msnm tiene un contenido promedio de  $11.82\% \pm 0.00017\%$  de extraíbles,  $26.45\% \pm 0.00015\%$  de lignina y  $54.06\% \pm 0.00015\%$  de celulosa
- En base a los parámetros analizados se determinó que la pulpa de café es una materia prima adecuada para la fabricación de papel, además se comprobó que la altitud de siembra influye directamente en la calidad del producto.
- Por medio de las características físicas analizadas se determinó que el producto final obtenido es un producto de calidad media-baja.
- En base al balance de masa del proceso se determinó que la pulpa de café sembrada a 1560 msnm posee un rendimiento promedio de  $16.67\% \pm 0.05\%$  y la pulpa de café sembrada a 1290 msnm tiene un rendimiento promedio de  $13.33\% \pm 0.05\%$ .
- Se determinó que el costo de la hoja de papel hecha a partir de pulpa de café es de Q.3.65, tomando en cuenta la materia prima, consumo energético, consumo de agua y materiales asociados, basado en el costo experimental de producción se determinó la viabilidad de elaboración de la hoja.

## **X. Recomendaciones**

- Evaluar posibles usos de las hojas de papel hechas a partir de pulpa de café en embalaje y empaque de café.
- Evaluar agregar un proceso de prensado de la hoja de papel para disminuir el tiempo de secado y los costos asociados, además de poder obtener una mejor textura de la hoja final.
- Realizar una prueba de biodegradabilidad de la hoja a base de pulpa de café para determinar su persistencia ambiental.
- Proponer una planta de producción piloto situada en cercanía a la finca de café para proponer un proceso de fabricación de papel en simultaneo y dar un mayor aprovechamiento de los recursos.

## XI. Bibliografía

- Anacafé. (2020). *Guía de variedades de café en Guatemala*. Obtenido de:  
<https://www.anacafe.org/uploads/file/8ee92f426ab648318001477e70d0bbe1/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9-2020.pdf>
- Banco de Guatemala. (2023). *Guatemala: Valor (FOB), volumen y precio medio de los 25 principales productos de exportación*. Obtenido de:  
<https://banguat.gob.gt/es/page/cuadro-1-0>
- Braham, J. E. y Bressani, R. (2008). *Pulpa de café: Composición, tecnología y utilización*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP. ISBN: 0-88936-172-X.
- Chávez, M. y Domine, M. (2013). *Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial*. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (2014). *Manual de ecoedición*. Obtenido de: [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset\\_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/manual-de-ecoedici-c3-b3n/20151](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/manual-de-ecoedici-c3-b3n/20151)
- Figuroa, E. Pérez, F. y Godínez, L. (2015). *La producción y el consumo del café*. Ecorfan. ISBN 13: 978-607-8324-49-1; ISBN 10: 607-8324-49-7.
- Fonseca, M. (2006). *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz*.
- González, K., Daza, D., Caballero, P. y Martínez, C. (2016). *Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel*. Luna azul. DOI: 10.17151/luaz.2016.43.21.
- Gredilla, A. (2019). *Proceso de fabricación de papel. Aplicación de EERR*. Obtenido de:  
<https://addi.ehu.es/handle/10810/37121>
- Guevara, M., Bernales, C., Saavedra, J. y Owaki, J. (2019). *Efecto de la altitud en la calidad del café (Coffea arabica L.): comparación entre secado mecánico y tradicional*. Obtenido de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v10n4/a07v10n4.pdf>

- Juárez, F. (2018). *El café guatemalteco: Un enfoque en el mercado mundial y su productividad*. Obtenido de: <https://camcig.org/userfiles/2019/01/2018.-DICE-El-caf%C3%A9-guatemalteco-un-enfonque-en-el-mercado-mundial-y-su-productividad-1.pdf>
- López, E. (2005). *Fabricación de pasta celulosa. Aspectos técnicos y contaminación ambiental*. Obtenido de: <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT6/6CyT%2005.pdf>
- Ministerio de Economía. (2019). *Café en Guatemala*. Obtenido de: [https://portal.mineco.gob.gt/sites/default/files/cafe\\_en\\_guatemala.pdf](https://portal.mineco.gob.gt/sites/default/files/cafe_en_guatemala.pdf)
- Ordóñez, K. y Sepúlveda, C. (2019). *Caracterización fisicoquímica de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación de papel*. Obtenido de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24795/Ordo%c3%b1ezPinedaKarenLizethSep%c3%balvedaMonroyCamila2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] y Organización para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1955). *Perspectivas de la industria de papel y celulosa en América Latina*. Obtenido de: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/13222>
- Parlamento Europeo. (2023). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. Obtenido de: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20es%20un,de%20los%20productos%20se%20extiende.>
- Sampedro, R. (2012). *Integración del proceso Kraft de obtención de pasta de celulosa en el esquema de una biorefinería*. Obtenido de: <https://docta.ucm.es/entities/publication/de09bab3-7b1a-49f9-8dce-592a5f7c221a>
- Teschke, K. y Demers, P. (2001). *Industria del papel y de la pasta de papel*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: Centro de Publicaciones.
- Velásquez, A., Mendizábal, M., Ramos, M. y Guarcax, S. (2016). *Diseño de una toalla sanitaria biodegradable a partir del tallo de la planta de banano. Fase desarrollo*. Obtenido de: <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/2802/Megaproyecto%20Revisi%c3%b3n%201%20APROBADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## XII. Anexos

### A. Imágenes de experimentación

Las siguientes imágenes fueron obtenidas durante el proceso de caracterización de la materia prima y proceso de fabricación de la hoja de papel hecha a base de pulpa de café, además de los datos obtenidos.

#### Anexo 8.

*Pulpa de café.*



#### Anexo 9.

*Secado de la pulpa de café en el secador de bandejas.*



#### Anexo 10.

*Molienda de la pulpa de café en el molino de rodillos.*



**Anexo 11.**  
*Muestra de pulpa de café para caracterización.*



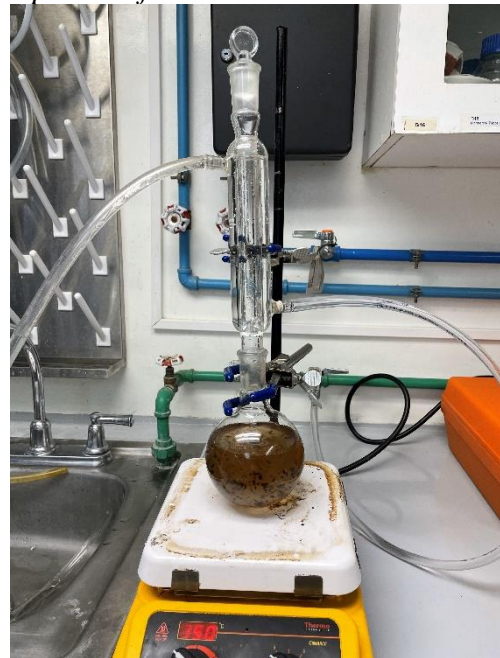
**Anexo 12.**  
*Impurezas presentes en la pulpa de café analizada.*



**Anexo 13.**  
*Equipo de Soxhlet para determinación de contenido de extraíbles.*



**Anexo 14.**  
*Sistema para determinación de lignina en pulpa de café.*



**Anexo 15.**

*Muestra de pulpa de café libre de lignina.*



**Anexo 17.**

*Determinación de celulosa en pulpa de café.*



**Anexo 16.**

*Sistema de filtración al vacío para determinación de celulosa.*



**Anexo 18.**

*Impregnación de la pulpa de café con la solución de hidróxido de sodio (licor blanco).*



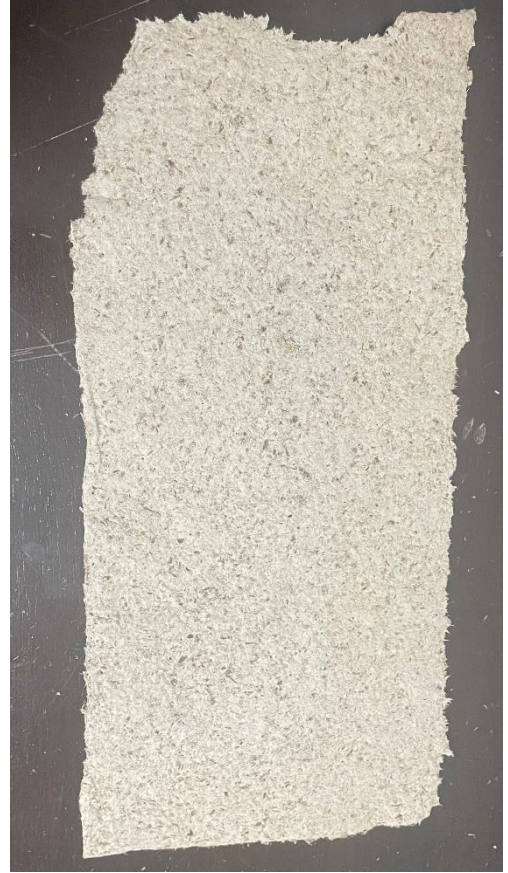
**Anexo 19.**

*Lavado de la pulpa de café luego de la impregnación y cocción.*



**Anexo 21.**

*Hoja realizada con pulpa de café.*



**Anexo 20.**

*Elaboración de la hoja con pulpa de café.*



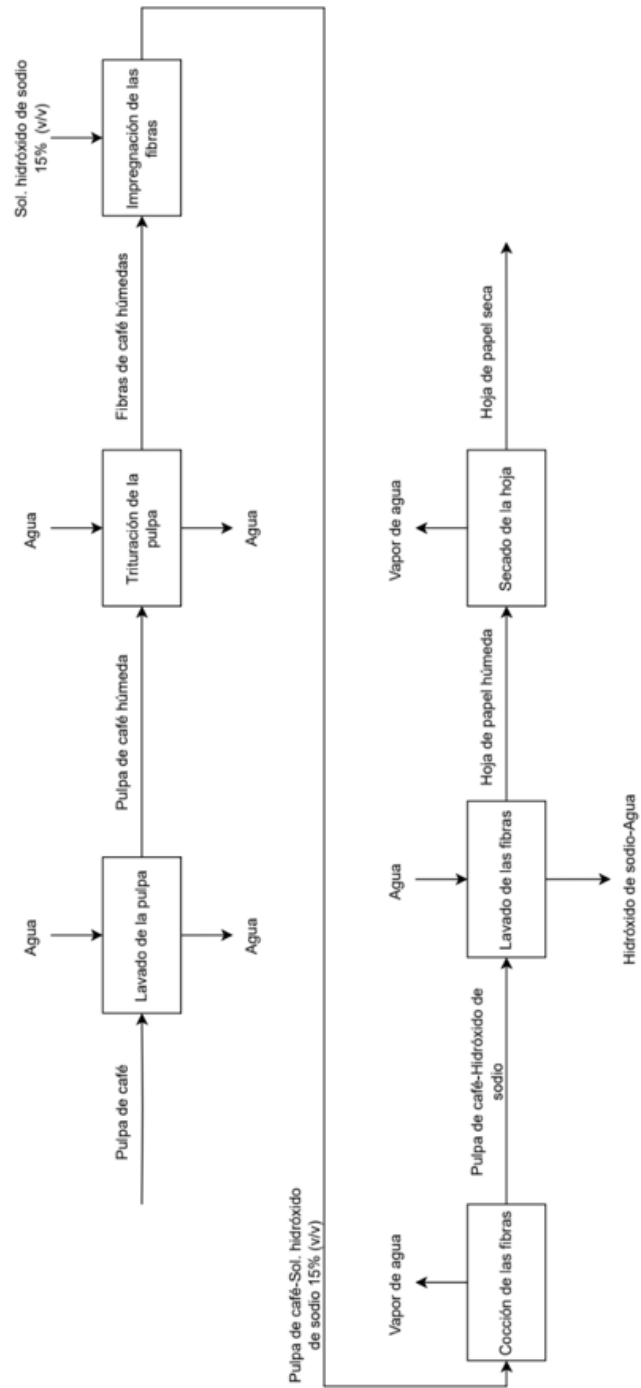
**Anexo 22.**

*Comparación de hojas realizadas con pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*



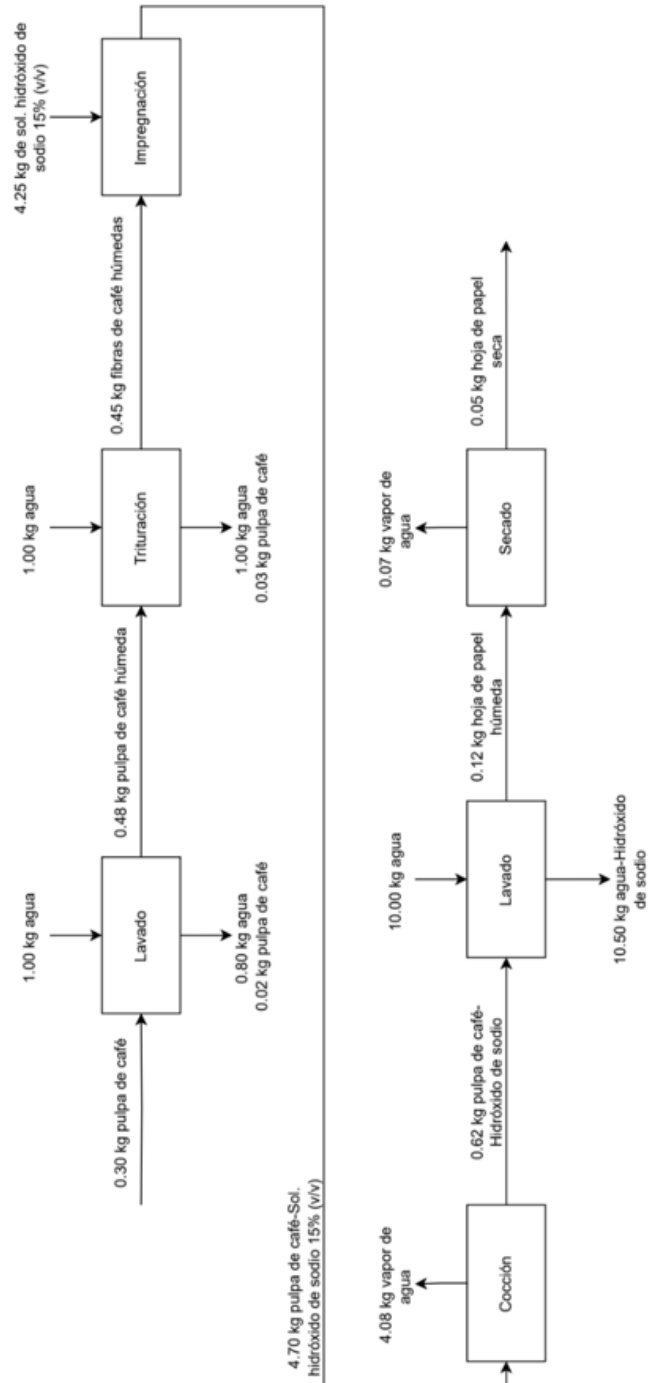
**Anexo 23.**

*Diagrama de funciones del proceso de producción de papel a partir de pulpa de café.*

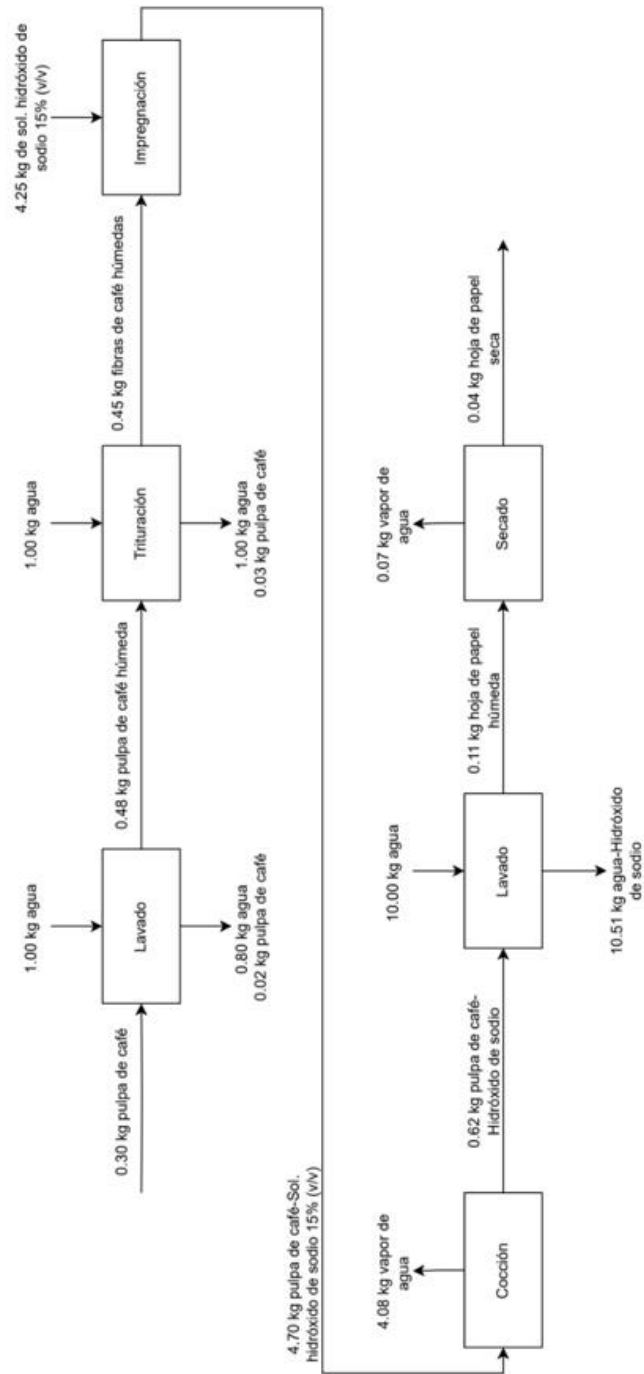


## Anexo 24.

Balance de masa del proceso de producción de papel a partir de pulpa de café sembrada a 1560 msnm.



**Anexo 25.**  
*Balance de masa del proceso*



**Anexo 26.**

*Descripción de calificación por puntos de las características evidentes al tacto para la textura superficial con su respectiva descripción para evaluación y su nivel de evaluación.*

<b>Textura superficial</b>	<b>Descripción</b>
Lisa	Textura similar a la seda o terciopelo
Rugosa	Textura similar a una pared de ladrillo
Áspera	Textura similar a una lija
Granulada	Textura similar a la arena
<b>Nivel</b>	<b>Puntaje</b>
Alta presencia de textura	1
Media presencia de textura	2
Poca presencia de textura	3

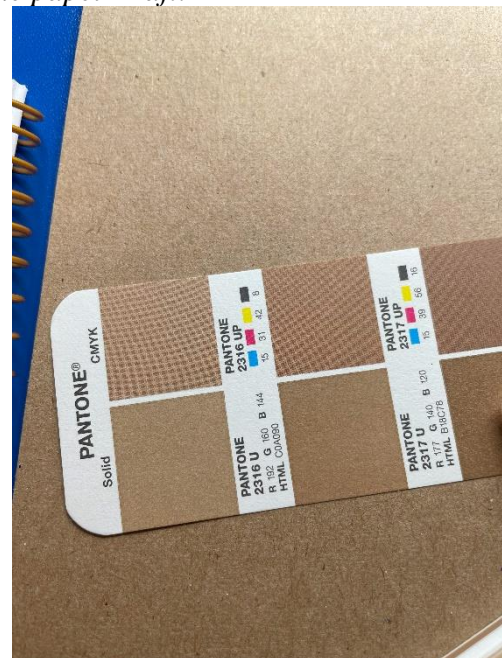
**Anexo 27.**

*Medición de la tonalidad utilizando colorímetro.*



**Anexo 28.**

*Sistema de color Pantone para muestra de papel Kraft.*



**Anexo 29.**

*Sistema de color Pantone para muestra de papel periódico.*



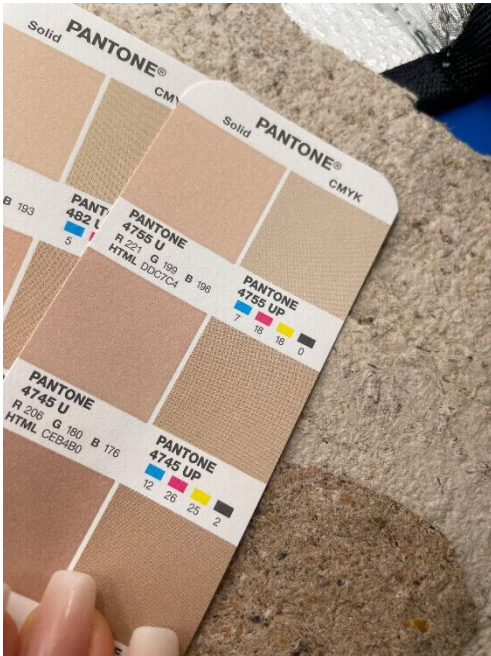
**Anexo 31.**

*Sistema de color Pantone para muestra de papel hecho a base de pulpa de café sembrado a 1290 msnm.*



**Anexo 30.**

*Sistema de color Pantone para muestra de papel hecho a base de pulpa de café sembrado a 1560 msnm.*



## B. Datos originales

Las siguientes tablas son datos no procesados obtenidos durante la experimentación.

### Anexo 32.

*Contenido de humedad de la pulpa de café medido con la balanza de humedad en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Contenido de humedad (% <math>\pm</math> 0.005 %)</b>		
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	42.22
	Corrida 2	34.52
	Corrida 3	45.98
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	42.11
	Corrida 2	49.49
	Corrida 3	44.97

### Anexo 33.

*Peso de la pulpa de café para la determinación de extraíbles presentes en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Peso de la pulpa de café para la prueba de contenido de extraíbles</b>			
<b>Muestra</b>		<b>Peso antes de la extracción (g <math>\pm</math> 0.0005 g)</b>	<b>Peso después de la extracción (g <math>\pm</math> 0.0005 g)</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	7.000	6.300
	Corrida 2	7.000	6.500
	Corrida 3	7.000	6.000
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	7.000	5.800
	Corrida 2	7.000	6.300
	Corrida 3	7.000	6.100

### Anexo 348.

*Peso de la pulpa de café para la determinación de lignina presente en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Peso de la pulpa de café para la prueba de contenido de lignina</b>			
<b>Muestra</b>		<b>Peso libre de extraíbles (g <math>\pm</math> 0.0005 g)</b>	<b>Peso de lignina en el residuo (g <math>\pm</math> 0.0005 g)</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	1.000	0.2229
	Corrida 2	1.000	0.3068
	Corrida 3	1.000	0.2639
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	1.000	0.1841
	Corrida 2	1.000	0.3472
	Corrida 3	1.000	0.3673

**Anexo 35.**

*Peso de la pulpa de café para la determinación de celulosa presente en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Peso de la pulpa de café para la prueba de contenido de celulosa</b>				
<b>Muestra</b>		<b>Peso antes de la extracción (g ± 0.0005 g)</b>	<b>Peso de lignina (g ± 0.0005 g)</b>	<b>Peso del residuo (g ± 0.0005 g)</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	1.000	0.2229	0.8782
	Corrida 2	1.000	0.3068	0.8476
	Corrida 3	1.000	0.2639	0.9121
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	1.000	0.1841	0.9270
	Corrida 2	1.000	0.3472	0.9193
	Corrida 3	1.000	0.3673	0.9421

**Anexo 36.**

*Características físicas de la hoja de papel a base de pulpa de café sembradas a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Características físicas de la hoja a base de pulpa de café</b>			
<b>Muestra</b>		<b>Peso (g ± 0.0005 g)</b>	<b>Dimensiones (mm ± 0.0005 mm)</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	12.60	0.294 x 0.135
	Corrida 2	12.70	0.304 x 0.137
	Corrida 3	9.40	0.298 x 0.135
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	11.80	0.300 x 0.136
	Corrida 2	9.40	0.300 x 0.134
	Corrida 3	11.40	0.300 x 0.135

**Anexo 37.**

*Costo de la fabricación de una hoja de papel a base de pulpa de café tomando en cuenta el consumo energético de la licuadora, estufa y secador industrial, materia prima, consumo de agua e hidróxido de sodio.*

<b>Costo de la hoja de papel a base de pulpa de café</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad utilizada</b>	<b>Costo</b>
Pulpa de café	Q 80.00/kg	0.03 kg	Q 2.67
Agua	Q 0.002/L	1.67 L	Q 0.02
Hidróxido de sodio	Q 1.79/kg	0.11 kg	Q 0.199
Energía	Q 1.47/kWh	0.51 kWh	Q 0.75
<b>Costo de la hoja</b>			<b>Q 3.65</b>

**Anexo 38.**

*Descripción de las características evidentes al tacto de la hoja de papel fabricada con pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente, basado en una calificación descrita en el Anexo .*

<b>Características físicas analizadas</b>		
<b>Característica</b>	<b>Textura superficial</b>	<b>Nivel</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	Rugosa
	Corrida 2	Granulada
	Corrida 3	Rugosa
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	Rugosa
	Corrida 2	Rugosa
	Corrida 3	Rugosa

**C. Datos calculados****Anexo 39.**

*Porcentaje de humedad medido experimentalmente en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Contenido de humedad</b>		
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	42.22% $\pm$ 0.005%
	Corrida 2	34.52% $\pm$ 0.005%
	Corrida 3	45.98% $\pm$ 0.005%
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	42.11% $\pm$ 0.005%
	Corrida 2	49.49% $\pm$ 0.005%
	Corrida 3	44.97% $\pm$ 0.005%

**Anexo 40.**

*Porcentaje de extraíbles medido experimentalmente en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Contenido de extraíbles</b>		
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	11.11% $\pm$ 0.00017%
	Corrida 2	7.69% $\pm$ 0.00017%
	Corrida 3	16.67% $\pm$ 0.00017%
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	20.69% $\pm$ 0.00016%
	Corrida 2	11.11% $\pm$ 0.00016%
	Corrida 3	14.75% $\pm$ 0.00016%

**Anexo 41.**

*Porcentaje de lignina medido experimentalmente en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Contenido de lignina</b>		
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	22.29% ± 0.00015%
	Corrida 2	30.68% ± 0.00015%
	Corrida 3	26.39% ± 0.00015%
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	18.41% ± 0.00017%
	Corrida 2	34.72% ± 0.00017%
	Corrida 3	36.73% ± 0.00017%

**Anexo 42.**

*Porcentaje de celulosa medido experimentalmente en pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Contenido de celulosa</b>		
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	58.25% ± 0.00015%
	Corrida 2	31.46% ± 0.00015%
	Corrida 3	29.02% ± 0.00015%
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	58.13% ± 0.00015%
	Corrida 2	33.08% ± 0.00015%
	Corrida 3	31.95% ± 0.00015%

**Anexo 43.**

*Contenido de humedad promedio de la pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

<b>Contenido de humedad promedio (% ± 0.005%)</b>	
Corrida 1	42.22
Corrida 2	34.52
Corrida 3	45.98
<b>Promedio</b>	<b>40.91</b>

**Anexo 44.**

*Contenido de humedad promedio de la pulpa de café para la muestra de pulpa 2 a 1290 msnm.*

<b>Contenido de humedad promedio (% ± 0.005%)</b>	
Corrida 1	42.11
Corrida 2	49.49
Corrida 3	44.97
<b>Promedio</b>	<b>45.52</b>

**Anexo 45.**

*Contenido de extraíbles promedios de la pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

<b>Contenido de extraíbles promedios (% ± 0.00017%)</b>	
Corrida 1	11.11
Corrida 2	7.69
Corrida 3	16.67
<b>Promedio</b>	<b>11.82</b>

**Anexo 46.**

*Contenido de extraíbles promedios de la pulpa de café para la muestra de pulpa 2 a 1290 msnm.*

<b>Contenido de extraíbles promedios (% ± 0.00016%)</b>	
Corrida 1	20.69
Corrida 2	11.11
Corrida 3	14.75
<b>Promedio</b>	<b>15.52</b>

**Anexo 479.**

*Contenido de lignina promedio de la pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

<b>Contenido de lignina promedio (% ± 0.00015%)</b>	
Corrida 1	22.29
Corrida 2	30.68
Corrida 3	26.39
<b>Promedio</b>	<b>26.45</b>

**Anexo 49.**

*Contenido de lignina promedio de la pulpa de café para la muestra de pulpa 2 a 1290 msnm.*

<b>Contenido de lignina promedio (% ± 0.00017%)</b>	
Corrida 1	18.41
Corrida 2	34.72
Corrida 3	36.73
<b>Promedio</b>	<b>29.95</b>

**Anexo 50.**

*Peso libre de extraíbles experimental para pulpas de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Peso libre de extraíbles (g ± 0.00005g)</b>		
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	0.8889
	Corrida 2	0.9231
	Corrida 3	0.8333
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	0.7931
	Corrida 2	0.8889
	Corrida 3	0.8525

**Anexo 51.**

*Contenido de celulosa promedio de la pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

<b>Contenido de celulosa promedio (% ± 0.00015%)</b>	
Corrida 1	58.25
Corrida 2	49.92
Corrida 3	54.02
<b>Promedio</b>	<b>54.06</b>

**Anexo 52.**

*Contenido de celulosa promedio de la pulpa de café para la muestra de pulpa 2 a 1290 msnm.*

<b>Contenido de celulosa promedio (% ± 0.00015%)</b>	
Corrida 1	58.92
Corrida 2	50.85
Corrida 3	49.00
<b>Promedio</b>	<b>52.92</b>

**Anexo 10.**

*Características físicas de la hoja de papel a base de pulpa de café sembradas a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Características físicas de la hoja de papel a base de pulpa de café</b>		
<b>Muestra</b>		<b>Área (m<sup>2</sup> ± 0.005m<sup>2</sup>)</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	3.97
	Corrida 2	4.16
	Corrida 3	4.02
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	4.08
	Corrida 2	4.02
	Corrida 3	4.05

**Anexo 53.**

*Características físicas de la hoja de papel fabricada con pulpa de café a 1560 y 1290 msnm para la pulpa 1 y 2 respectivamente.*

<b>Características físicas</b>			
<b>Característica</b>		<b>Masa base (g/m<sup>2</sup> ± 0.014 g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Grosor (mm ± 0.005 mm)</b>
<b>Pulpa 1</b>	Corrida 1	3.17	1.72
	Corrida 2	3.05	1.31
	Corrida 3	2.34	0.51
<b>Pulpa 2</b>	Corrida 1	2.89	1.00
	Corrida 2	2.34	1.34
	Corrida 3	2.81	1.23

**Anexo 54.**

*Costo de fabricación experimental de una hoja de papel hecha a base de pulpa de café tomando en cuenta el costo de energía en el proceso de triturado, cocción y secado, utilizando los costos de agua y energía en Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala.*

<b>Costo de fabricación de la hoja de papel a base de pulpa de café</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Precio (Q)</b>	<b>Cantidad utilizada</b>	<b>Costo (Q)</b>
Pulpa de café	80.00/kg	0.03 kg	2.67
Agua	0.02/L	1.67 L	0.03
Hidróxido de sodio	1.79/kg	0.11 kg	0.19
Energía	1.47/kWh	0.51 kWh	0.75
<b>Costo total</b>			<b>3.65</b>

**D. Cálculo de muestra**

Las siguientes ecuaciones son cálculos realizados durante la experimentación para la obtención de los resultados presentados en la investigación.

**Anexo 55.**

*Cálculo del contenido de extraíbles de la pulpa de café para la corrida 1 de la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm, utilizando la Ecuación 2.*

$$\% \text{ Extraíbles} = \left( \frac{7.000 \text{ g} - 6.300 \text{ g}}{6.300 \text{ g}} \right) \times 100 = 11.11\%$$

Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo del contenido de extraíbles para cada una de las corridas de la pulpa 1 y 2.

**Anexo 56.**

*Cálculo del contenido de lignina de la pulpa de café para la corrida 1 de la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm, utilizando la Ecuación 3.*

$$\% \text{ Lignina} = \left( \frac{0.2229 \text{ g}}{1.000 \text{ g}} \right) \times 100 = 22.29 \%$$

*Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo del contenido de extraíbles para cada una de las corridas de la pulpa 1 y 2.*

**Anexo 57.**

*Cálculo del peso libre de extraíbles de la pulpa de café para la corrida 1 de la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

$$\text{Peso libre de extraíbles} = 1.000 \text{ g} \times (100\% - 11.11\%) = 0.8889 \text{ g}$$

*Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo del peso libre de extraíbles para cada una de las corridas de la pulpa 1 y 2.*

**Anexo 58.**

*Cálculo del contenido de celulosa de la pulpa de café para la corrida 1 de la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm, utilizando la Para determinar el porcentaje de celulosa presente en la muestra, se utilizó la Ecuación 4.*

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(0.8782 \text{ g} - 0.2229 \text{ g}) \times 0.8889 \text{ g}}{1.000 \text{ g}} \times 100 = 58.25\%$$

*Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo del contenido de extraíbles para cada una de las corridas de la pulpa 1 y 2.*

**Anexo 59.**

*Cálculo del promedio de contenido de humedad de la pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm, utilizando la Ecuación 1.*

$$\text{Humedad promedio} = \left( \frac{42.22\% + 34.52\% + 45.98\%}{3} \right) = 40.91\%$$

*Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo promedio de humedad de la pulpa 2, porcentaje promedio de extraíbles de la pulpa 1 y 2, porcentaje promedio de lignina de la pulpa 1 y 2 y porcentaje promedio de celulosa de la pulpa 1 y 2.*

**Anexo 10.**

*Cálculo del área de la hoja de papel a base de pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

$$29.4 \text{ m} \times 13.5 \text{ m} = 3.97 \text{ m}^2$$

*Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo de área de la hoja a base de pulpa de café para cada una de las corridas de la pulpa 1 y 2.*

**Anexo 11.**

*Cálculo de la masa base de la hoja de papel a base de pulpa de café para la muestra de pulpa 1 a 1560 msnm.*

$$12.60 \text{ g} \times 3.97 \text{ m}^2 = 3.17 \text{ g/m}^2$$

*Se utilizó el mismo procedimiento para el cálculo de área de la hoja a base de pulpa de café para cada una de las corridas de la pulpa 1 y 2.*

**E. Documentos utilizados**

El siguiente documento describe la Norma TAPPI T 264 cm-97, en la que se detalla el procedimiento para la preparación adicional de la madera que ha sido muestreada para su análisis de acuerdo con TAPPI T 257 “Muestreo y preparación de madera para análisis” que se tomó como referencia para el proceso de preparación de la materia prima para la fabricación de la hoja de papel hecha a base de pulpa de café.

**Anexo 62.**  
*Norma TAPPI T 264 cm-97*

**T 264 cm-97**

TENTATIVE STANDARD – 1942  
OFFICIAL STANDARD – 1945  
OFFICIAL TEST METHOD – 1982  
REVISED – 1988  
CLASSICAL METHOD – 1997  
FORMERLY – T 12  
© 1997 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.

## Preparation of wood for chemical analysis

### 1. Scope

- 1.1 This method describes a procedure for further preparation of wood that has been sampled for analysis in accordance with TAPPI T 257 "Sampling and Preparing Wood for Analysis."
- 1.2 A method for determination of moisture content in wood is described.
- 1.3 Due to the highly hazardous nature of the solvents used in this procedure, the committee is working on a new procedure that will replace this method at a later date utilizing alternative solvents.

### 2. Summary

The neutral solvents, ethanol and benzene, are employed to remove materials which are not part of the wood substance or which may interfere with some analysis (see 11.2).

### 3. Significance

#### 3.1 *Classification*

3.1.1 Wood for chemical analysis should be ground to a fine particle size to permit complete reaction of the wood with the reagents used in the analysis. T 257 specifies that the wood should be ground to pass a 0.4 mm (40 mesh) screen.

3.1.2 Chemical methods for analysis of wood typically call for utilization of the entire amount of material without further fractionation. The fine material might contain a disproportionate quantity of some wood constituents, and its removal could alter the chemical composition as analyzed.

3.1.3 In some chemical methods, the fine material interferes with the analysis. It clogs fine filters or passes through coarse filters, producing erroneous results. UM 249 "Holocellulose in Wood" requires comminuted wood samples to have fines removed by fractionation.

#### 3.2 *Extraction*

---

Approved by the Pulp Properties Committee of the Process and Product Quality Division  
TAPPI

3.2.1 Wood extractives are materials soluble in neutral solvents and are not generally considered as part of the wood substance. These materials should be removed before any chemical analysis of wood substance, except where the extraction process and subsequent washing could interfere with certain chemical analysis.

3.2.2 Ethanol-benzene is used to extract waxes, fats, some resins, and possibly some portions of wood gums. Hot water is used to extract tannins, gums, sugars, starches, and coloring matter.

**NOTE 1:** Significant quantities of benzene and ethanol are absorbed by the treated material; these are difficult to remove.

#### 4. Apparatus

- 4.1 *Extraction thimbles*, alundum or fritted glass, coarse porosity; or pre-extracted paper.
- 4.2 *Extraction apparatus*, with ground glass joints, consisting of:
  - 4.2.1 *Extraction flask*, 250 mL.
  - 4.2.2 *Soxhlet extraction tube*, inside diameter 30-40 mm, capacity to top of siphon about 100 mL.
  - 4.2.3 *Graham or Allihn type condenser*.
- 4.3 *Glassware*, weighing bottle, glass, preferably "shallow" type or weighing dish, aluminum; filtering flask, 1000 mL; Büchner funnel.
- 4.4 *Heating device*, to contain hot water; or steambath or electric heating mantle.
- 4.5 Chemical fume hood, having a face velocity of at least 24.4 m/min (80 ft/min) or as required by local safety regulations.

#### 5. Reagents and materials

- 5.1 *Ethanol (ethyl alcohol)*, approximately 95% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH by volume, or denatured with 5% methanol or isopropanol, having a residue after evaporation not more than 0.001%.
- 5.2 *Benzene*, reagent grade or purified C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, having a residue after evaporation not more than 0.001%.
- 5.3 *Ethanol-benzene mixture*, mix together one volume of the ethanol and two volumes of the benzene.

#### 6. Safety precautions

- 6.1 Avoid any contact of benzene with skin and inhalation of benzene vapor. Use plastic gloves and a respirator suitable for removal of benzene vapor. Carry out the procedure of extraction in a chemical fume hood with good ventilation.
- 6.2 Ethanol and benzene are flammable and constitute a fire and explosion hazard. Use water, steam, or oil baths or electric heating mantles. Avoid open flame in the vicinity of the extraction.

#### 7. Sampling and test specimens

- 7.1 In accordance with T 257, obtain a composite sample of wood meal.
- 7.2 Take a specimen for extraction, sufficient for the chemical analyses to be performed including moisture determination.

#### 8. Procedures

- 8.1 *Preparation of extractive-free wood*
  - 8.1.1 Clean and dry the extraction flask. Place the material to be extracted in the extraction thimble and place the thimble in position in the Soxhlet apparatus. Place a small cone of fine mesh screen wire in the top of the thimble to prevent any loss of the specimen.
  - 8.1.2 Extract with 200 mL of solvent for 6 to 8 h, keeping the liquid boiling briskly so that siphoning from the extractor is no less than four times per hour.
  - 8.1.3 After extraction with ethanol-benzene, transfer the wood to a Büchner funnel, remove the excess solvent with suction, and wash the thimble and wood with ethanol to remove the benzene. Return the wood to the extraction thimble and extract with 95% ethanol for 4 h or longer if necessary, until the alcohol siphons over colorless.

8.1.4 Again transfer the sample to a Büchner funnel, remove the excess solvent with suction, and wash the thimble and wood sample with distilled water to remove the ethanol. Transfer the sample to a 1000-mL Erlenmeyer flask and add 500 mL of boiling distilled water. Heat the flask for 1 h in the hot water bath. Keep the water at boiling temperature and surround the flask in the bath with boiling water. After extraction, filter on a Büchner funnel and wash with 500 mL of boiling distilled water. Allow the wood to air-dry thoroughly.

8.1.5 Mix and store in an air tight container. Determine the moisture content in wood (8.2) and withdraw specimens for analysis as required.

#### 8.2 Moisture content

8.2.1 Weigh a specimen from 8.1.5 of approximately 2 g to the nearest 0.001 g (*A*) in a tared weighing bottle. Dry for 2 h in an oven at  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  cool in a desiccator, replace stopper, and open the stopper momentarily to equalize the air pressure and weigh. Return bottle to the oven for 1 h; repeat the cooling and weighing as above for successive hourly periods until constant weigh (*B*) is reached, that is, until successive weighings do not change by more than 0.002 g.

8.2.2 Calculate the percentage of moisture in wood to the nearest 0.1%:

$$\text{Moisture content, \%} = [(A-B)/A] \cdot 100$$

where A and B are the sample weights after subtracting the weight of the sample bottles.

### 9. Keywords

Sample preparation, Wood, Analysis, Chemical analysis, Moisture content, Ethanol, Benzene

### 10. Precision

10.1 Precision, in accordance with the definitions in TAPPI T 1206 "Precision Statement for Test Methods," is not applicable to the preparation of extractive-free wood.

10.2 Repeatability of moisture content by oven-drying was found in one laboratory to be 0.2% in terms of moisture content. Reproducibility and comparability = not known.

### 11. Additional Information

11.1 Effective date of issue: April 7, 1997.

11.2 A mixture of ethanol and toluene,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ , was found in some laboratories as removing the same materials from wood as ethanol-benzene. However, the boiling point of toluene is higher than that of benzene, and the mixture of ethanol-toluene does not boil and reflux at a constant temperature and rate.

11.3 Related methods: ASTM D1105 (ANS) "Preparation of Extractive-Free Wood;" CPPA G.31P, "Preparation of Wood for Chemical Analysis."

11.4 This method was reclassified as Classical by committee action in 1997.

*Your comments and suggestions on this procedure are earnestly requested and should be sent to the TAPPI Technical Divisions Administrator.*

### XIII. Glosario

- a. **Altitud:** medición de la distancia vertical entre cualquier punto determinado de la tierra en la relación con el nivel del mar, medido en metros sobre el nivel del mar [msnm].
- b. **Celulosa:** homopolímero lineal con elevado peso molecular y grado de polimerización entre 200-10,000 unidades. Es el componente principal de las paredes celulares de los vegetales y el polímero mayoritario en el planeta.
- c. **Extraíbles:** denominados así debido a que se pueden extraer con agua u otro solvente orgánico, estos influyen en la caracterización, consisten en ácidos resinosos y ácidos grasos.
- d. **Hemicelulosa:** es un componente de la pared celular y es un polímero corto ramificado de varios monosacáridos de 5-6 carbonos.
- e. **Hidrólisis:** reacción química entre una molécula de agua y otra macromolécula, en la que la molécula de agua se divide y rompe uno o más enlaces químicos, para formar otra especie química.
- f. **Lignina:** es un componente de la pared celular y es un polímero abundante en las plantas, añade fuerza estructural y protege a los polisacáridos mediante una barrera resistente a la degradación.
- g. **Mucílago:** capa de consistencia gelatinosa que queda adherida al café despulpado que recubre la semilla del café.
- h. **Pulpa:** es la capa de fruta exterior, la cáscara de la cereza del café.
- i. **Soxhlet:** aparato de laboratorio diseñado para extraer sustancias de baja solubilidad en el disolvente de extracción.
- j. **Subproducto:** sustancia resultante de un proceso de producción.