

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



---

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS POR VÍA  
ALCALINA Y ÁCIDA PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA DE  
PAPEL A PARTIR DE CÁLIZ DE AGUAYMANTO (*Physalis  
peruviana L.*)”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**TESISTAS:**

Bach. CHAVEZ BUSTAMANTE, Erika Elvira

Bach. CRUZ SANTACRUZ, Efraín

**ASESOR:**

Mg. Roger Estacio Laguna

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darnos la vida, salud, sabiduría, y habernos permitido llegar hasta este punto para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres, quienes con sacrificio nos brindaron su apoyo incondicional con su ejemplo, consejos y dedicación nos supieron inculcar valores.

Asimismo, por ser el pilar fundamental de todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida.

A los docentes y compañeros estudiantes de la Universidad, que día a día durante nuestra formación nos han permitido ser parte fundamental de la familia universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darnos la vida, salud y estar presente en cada paso de nuestras vidas.

A nuestros padres y familiares por el invaluable apoyo que siempre nos brindaron para lograr nuestro objetivo en la carrera profesional.

A la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, en especial a la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias, en donde aprendimos y logramos la formación profesional.

Al Mg. Roger Estacio Laguna por su asesoramiento y apoyo para el desarrollo y ejecución del presente trabajo de investigación.

A los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial por brindarnos sus consejos, enseñanza y dedicación durante nuestra formación profesional.

A nuestros amigos, quienes incondicionalmente nos apoyaron para hacer realidad nuestro proyecto.

## RESUMEN

La investigación se evaluó el efecto de la concentración y tiempo en la obtención de pulpa de papel a partir del cáliz de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), por vía ácida (Ac), teniendo como variable la concentración (1 %, 2 % y 3 %), y vía alcalina (AL) con su respectiva concentración (4 %, 6 % y 8 %) y tiempos por ambos métodos (10, 15 y 20 min), (6, 12 y 24 horas); Obteniendo un total de 54 tratamientos a los que se les realizó el análisis de sus características físicas (espesor, pH, gramaje, contenido de celulosa y rendimiento), en el resultados se observó que existen diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento con mejores características físicas es (Ac 3 %, Ac 10 min), con respecto al contenido de celulosa se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos, donde hay mayor contenido de celulosa son los tratamientos (Ac 3 %, Ac 10 min, Ac 3 %, Ac 15 min, Ac 3 %, Ac 20 min), con respecto al rendimiento los mejores tratamientos fueron Ac 2 %, Ac 10 min (27 %), Ac 2 %, Ac 15 min (27,17 %) Ac 2 %, Ac 20 min (27,17 %) y Ac 3 %, Ac 20 min (27,50 %). Los tratamientos por vía alcalina, características físicas, todos los tratamientos son iguales estadísticamente, pH existen diferencias significativas entre los tratamientos, el que obtuvo mayor pH son los tratamientos (AL 4 %, AL 12 h y AL 6 %, 6 h), gramaje no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en cuanto al rendimiento no existen diferencias significativas entre los tratamientos, estadísticamente todos los tratamientos son iguales. Se concluye que el mejor tratamiento es por la vía alcalina para ser usados en la pulpa de papel, ya que estas propiedades condicionan los procesos de producción de papel y son importantes para conocer la viabilidad de su uso.

Palabras claves: Extracción, celulosa, lignina, residuos orgánicos.

## ABSTRACT

The investigation evaluated the effect of concentration and time in obtaining paper pulp from the calyx of aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), by acidic route (AC), having as variables the concentration (1%, 2% and 3%), and alkaline route (AL) with its respective concentration (4%, 6% and 8%) and times by both methods (10, 15 and 20 min), (6, 12 and 24 hours); Obtaining a total of 54 treatments that were analyzed for their physical characteristics (thickness, pH, weight, cellulose content and yield), the results showed that there are significant differences between treatments. The treatment with the best physical characteristics is (Ac 3%, Ac 10 min), with respect to the cellulose content it is observed that there are significant differences between the treatments, where there is greater cellulose content are the treatments (AC3%, AC 10 min, AC3%, AC 15 min AC3%, AC 20 min), with respect to performance the best treatments were AC 2%, AC 10 min (27%), AC 2%, AC 15 min (27.17%) AC 2% , AC 20 min (27.17%) and AC3%, AC 20 min (27.50%). The treatments by alkaline route, physical characteristics, all the treatments are statistically equal, pH there are significant differences between the treatments, the one that obtained the highest pH are the treatments (AL4%, AL12 h and AL6%, 6 h), grammage there are no significant differences Among treatments, in terms of performance there are no significant differences between treatments, statistically all treatments are equal. It is concluded that the best treatment is by the alkaline route to be used in the paper pulp, since these properties condition the paper production processes and are important to know the feasibility of their use.

Keywords: Extraction, cellulose, organic waste.

## ÍNDICE

	pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
I. INTRODUCCIÓN	x
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Fundamento teórico	11
2.1.1. Aguaymanto ( <i>Physalis peruviana L.</i> )	11
2.1.1.1. Descripción taxonómica	11
2.1.1.2. Características	12
2.1.1.3. Producción nacional por regiones	12
2.1.1.4. Morfología	13
2.1.1.5. Propiedades o beneficios	14
2.1.1.6. Usos y consumo	14
2.1.2. Descripción del papel	14
2.1.2.1. Estructura del papel	15
2.1.2.2. Características físicas del papel	15
2.1.2.3. Fibras utilizadas para la producción de papel	16
2.1.2.4. Disolventes utilizados en la obtención de papel	18
2.1.2.5. Composición química de las fibras celulósicas	18
2.1.2.6. Tipos de papel	20
2.1.2.7. Blanqueo de la pasta	21
2.1.2. 8. Aplicación de las enzimas en la industria de celulosa y papel	21
2.1.3. La celulosa	22
2.1.3.1. Estructura de la celulosa	22
2.1.3.2. Tipos de celulosa	23
2.1.3.3. Derivados de la celulosa	24
2.1.4. Lignina	24
2.1.4.1. Funciones de la lignina	25
2.1.5. Normatividad	25
2.2. Antecedentes	25
	6

2.3. Hipótesis	28
2.3.1. Hipótesis general	28
2.3.2. Hipótesis específicas	28
2.4. Variables	28
2.4.1. Variable independiente	28
2.4.2. Variables dependientes	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS	<b>30</b>
3.1. Tipo y nivel de investigación	30
3.1.1. Tipo de investigación	30
3.1.2. Nivel de investigación	30
3.2. Lugar de ejecución	30
3.3. Población, muestra y unidad de análisis	30
3.3.1. Población	30
3.3.2. Muestra	30
3.3.3. Unidad de análisis	30
3.4. Tratamientos de estudio	30
3.4.1. Factores de estudio – ácido	30
3.4.2. Factores de estudio - alcalina	31
3.5. Prueba de hipótesis	32
3.5.1. Diseño de la investigación	32
3.5.2. Datos registrados	33
3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección	33
3.6. Materiales y equipos	34
3.6.1. Materia prima	34
3.6.2. Materiales	34
3.6.3. Reactivos	34
3.6.4. Equipos	35
3.7. Conducción de la investigación	35
3.7.1. Caracterización del cáliz de aguaymanto	36
3.7.2. Evaluación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de la pulpa de papel con diferentes parámetros de concentración y tiempo por vía ácida	37

3.8. Evaluación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de la pulpa de papel con diferentes parámetros de concentración y tiempo por vía alcalina	41
IV. RESULTADOS	46
4.1. Caracterización del cáliz del aguaymanto	46
4.2. Evaluación de la concentración y el tiempo para la obtención de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía ácida	46
4.2.1. Efecto del factor A (concentración)	46
4.2.2. Efecto del factor B (tiempo)	47
4.2.3. Efecto de los niveles del factor A (concentración) en cada uno de los niveles del factor B (tiempo)	48
4.3. Evaluación de la concentración y el tiempo para la obtención de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía alcalina	50
4.3.1. Efecto del factor A (concentración)	50
4.2.2. Efecto del factor B (tiempo)	51
4.2.3. Efecto de los niveles del factor A (concentración) en cada uno de los niveles del factor B (tiempo)	51
V. DISCUSIÓN	53
5.1. Caracterización del cáliz del aguaymanto	53
5.2. Determinación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía ácida	53
5.3. Determinación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía alcalina	56
VI. CONCLUSIONES	59
VII. RECOMENDACIONES	60
VIII. LITERATURA CITADA	61
IX. ANEXO	64



## ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica. ....	12
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de variables. ....	29
<b>Tabla 3.</b> Los tratamientos de trabajo de investigación vía ácida.....	31
<b>Tabla 4.</b> Los tratamientos de trabajo de investigación vía alcalina. ....	31
<b>Tabla 5.</b> Análisis morfológico del cáliz de aguaymanto. ....	46
<b>Tabla 6.</b> Resultado de tratamiento, factor concentración por vía ácida para la obtención de pulpa de papel. ....	47
<b>Tabla 7.</b> Resultado de tratamiento, factor tiempo por vía ácida para la obtención de pulpa de papel. ....	48
<b>Tabla 8.</b> Resultado de tratamiento, factor concentración -tiempo por vía ácida para la obtención de pulpa de papel. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Resultado de tratamiento, factor concentración por vía alcalina para la obtención de pulpa de papel. ....	50
<b>Tabla 10.</b> Resultado de tratamiento, factor tiempo por vía alcalina para la obtención de pulpa de papel. ....	51
<b>Tabla 11.</b> Resultado de tratamiento, factor concentración -tiempo por vía alcalina para la obtención de pulpa de papel. ....	52

## I. INTRODUCCIÓN

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una fruta oriunda de los andes peruanos cultivada desde tiempos ancestrales en los periodos incaicos y preincaicos en todo América del sur, su zona más amplia fue en los andes ecuatorianos (Tenesaca, 2011). El Perú lo producen las regiones de Ancash, la Libertad, Cajamarca, Lambayeque, Ayacucho, Lima, Junín, Huánuco y Cusco. Además, es conocido en el mercado internacional como “Golden Berry” y apreciado por su contenido de vitamina C y provitamina A, siendo comercializado principalmente en Alemania, Inglaterra y los Estados Unidos (Velasquez y Mestanza, 2003).

El papel es un producto que se ha convertido con el tiempo en una de las bases y principales necesidades del hombre, por lo que posee gran demanda en el mercado, llegando a formar parte del desarrollo de la vida diaria del ser humano. Es por ello que el desarrollo del siguiente trabajo se fundamenta en poder elaborar papel a base de residuos o desechos del cáliz del aguaymanto. La extracción de fibras para hacer papel a partir de fuentes no leñosas no es nueva, a nivel mundial y nacional se han adelantado diferentes estudios sobre fuentes alternativas a la madera como el vástago de plátano, la cabuya, el cáñamo y el algodón, donde se han obtenido resultados satisfactorios utilizando fibras vegetales como pulpa (González *et al*, 2016).

Por otro lado, el problema de contaminación en el mundo a causa del alto consumo de plástico como envases, nos motiva a promover el uso de envases biodegradables a partir de celulosa para la obtención de diferentes tipos de papel como glassine, cartones, envases tetrapak utilizados en la agroindustria, es una alternativa que contribuirá a la reducción de la contaminación ambiental.

En la actualidad, en Huánuco no existen estudios sobre la obtención de pulpa de papel a partir del cáliz del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). A pesar que hay un gran potencial en la producción de este producto, no le dan un valor agregado y se pierde como residuo.

Considerando que la actividad agroindustrial, constituye una importante fuente de desarrollo económico, nacional e internacional, se ha impulsado la presente investigación, el cual pretende contribuir con los sectores industriales para

fomentar fuentes de empleo y consecuentemente mejorar la calidad de vida de los habitantes.

El trabajo de investigación se realizó con el fin de determinar parámetros óptimos para la obtención de pulpa de papel. Se ha impulsado la presente investigación como una alternativa de desarrollo para ello se planteó los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Evaluar los parámetros óptimos en el proceso de deslignificado para la obtención de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) por vía ácida y alcalina.

### **Objetivos específicos**

Evaluar la caracterización del cáliz del aguaymanto

Evaluar las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento que presentarán en la pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) por vía ácida.

Evaluar las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento que presentarán en la pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) por vía alcalina.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Fundamento teórico

#### 2.1.1. Aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una fruta redonda, amarilla, dulce y pequeña (entre 1,25 y 2 cm de diámetro), originaria de América, donde se conocen más de 50 especies en estado silvestre. Aunque se conoce desde épocas precolombinas y es un alimento silvestre tradicional en zonas andinas, que alcanza hasta dos metros de altura, puede llegar a generar 30 tallos huecos, sus hojas son acorazonadas y con vellosidades; tiene una raíz principal, de la que salen raíces laterales, las flores tienen cinco pétalos de color amarillo, el fruto es una baya globosa y jugosa, con una pulpa agridulce dentro de la cual se encuentran gran número de semillas; pesar de 4 a 10 gramos y permanece cubierto por el cáliz o capacho, o durante todo su desarrollo (Espinoza y Herrera, 2015) .

El aguaymanto es una especie frutal de origen andino, fue descubierto después de 500 años de estar en el olvido, perteneciente al género *Physalis*, familia Solanácea, pariente de la papa, tomate, ají y rocoto. Es un fruto con gran potencial económico, que crece en la costa, sierra y selva del Perú. Es una fruta redonda, amarilla, con pulpa agridulce dentro de las cuales pueden encontrarse gran número de semillas, es pequeña entre 1,25 y 2 cm de diámetro, puede pesar de 4 a 10 g y permanece cubierto por el cáliz o capacho, durante todo su desarrollo (Pilla, 2012).

##### 2.1.1.1. Descripción taxonómica

Calvo (2009) menciona el aguaymanto pertenece a la familia de las Solanáceas y al género *physalis*, cuenta con más de cincuenta ecotipos que se encuentran en estado silvestre y que se caracterizan porque sus frutos están encerrados dentro de un cáliz o cápsula. Es originaria del Perú, es la especie más conocida de este género como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica.

Jerarquía	Descripción
Reino	<i>Plantae</i>
Sub reino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliosida</i>
Sub clase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Tubiflorales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Physalis</i>
Especie	<i>Physalis peruviana L</i>
Nombres comunes	Uchuva, uvilla, tomatillo

**Fuente:** Calvo (2009).

#### **2.1.1.2. Características**

Es una fruta redonda, amarilla, dulce y pequeña (entre 1,25 y 2 cm de diámetro), originaria de América, donde se conocen más de 50 especies en estado silvestre. Aunque se conoce desde épocas precolombinas y es un alimento silvestre tradicional en zonas andinas, que alcanza hasta dos metros de altura, puede llegar a generar 30 tallos huecos, sus hojas son acorazonadas y con vellosidades; tiene una raíz principal, de la que salen raíces laterales, las flores tienen cinco pétalos de color amarillo, el fruto es una baya globosa y jugosa, con una pulpa agridulce dentro de la cual se encuentran gran número de semillas; el fruto puede pesar de 4 a 10 gramos y permanece cubierto por el cáliz o capacho, o durante todo su desarrollo consultado (Peña *et al*; 2012).

#### **2.1.1.3. Producción nacional por regiones**

La región de Cajamarca, se ha consolidado como la primera región productora de aguaymanto del Perú, en la sierra norte (Cajamarca y parte de Amazona); sierra central (Ancash, Huánuco y Huancayo) y sierra sur (Cuzco). Sierra de Ancash: (Huari, Yungay, Recuay, Carhuaz, Ocros).

Cajamarca (Celendín), Junín (Huancayo, Valle del Mantaro), Ayacucho, Cuzco y Puno (Peña *etal*; 2012).

#### **2.1.1.4. Morfología**

##### **Raíz**

Navarro (2015) menciona que las raíces son fibrosas y se encuentran a una profundidad de 10 y 15 cm, el sistema radical es ramificado y profundiza con sus raíces principales hasta unos 50 cm, proporcionándole un buen anclaje a la planta, el desarrollo de raíces está relacionado con el tipo y textura del suelo, recomendándose un suelo arcillo arenoso.

##### **Hojas**

Según Camasi y Quintas (2016), la forma de las hojas del *physalis* peruviiana es muy variable; generalmente son enteras, simples predominando el tipo acorazonado y depende gran parte de las condiciones ambientales.

##### **Flores**

Navarro (2015) manifiesta que son solitarias, pedunculadas y hermafroditas, se originan en las axilas y están constituidas de una corola amarilla en forma tubular, originada en cinco pétalos soldados con cinco puntos morados en su base.

##### **Cáliz**

El cáliz o capacho está formado por cinco sépalos vellosas con venas salientes y una longitud de 4 a 5 cm que cubre al fruto durante todo su desarrollo. En su madurez se va tornando de color paja y traslucido, de textura apergaminada. Su importancia radica en que protege al fruto contra insectos, pájaros enfermedades y situaciones climáticas extremas. Además de servir como una fuente de carbohidratos durante los primeros 20 días del crecimiento del fruto (Guerrero y Rojas, 2016).

## **Fruto**

El fruto tiene una forma de ovoide, es una baya jugosa con un diámetro entre 1 y 2,5 cm con un peso de 4 a 10 g, que contiene unas 100 a 300 semillas. El fruto varía de color amarillo verdoso al amarillo naranja cuando madura, su piel es delgada y lustrosa, está recubierta con un cáliz. Su sabor varía desde ácido hasta muy agrio. Se consume al natural, en ensaladas, helados y tortas. Es un fruto muy rico en vitaminas c (Navarro, 2015).

### **2.1.1.5. Propiedades o beneficios**

Se le han atribuido muchas propiedades medicinales tales como antiasmático, diurético, antiséptico, sedante, analgésico, fortifica el nervio óptico, alivia problemas de garganta, elimina parásitos intestinales y amebas; además se reportan sus propiedades antidiabéticas, recomendando el consumo de 5 frutos diarios. No existiendo estudios previos que indiquen sus posibles efectos adversos. En Colombia se le atribuyen propiedades medicinales tales como las de purificar la sangre, disminuir la albúmina de los riñones, aliviar problemas en la garganta, próstata y bronquiales, fortificar el nervio óptico, limpiar las cataratas y prevenir la osteoporosis (Rojas, 2014).

### **2.1.1.6. Usos y consumo**

Según Gala (2017), el fruto de aguaymanto puede consumirse sin procesar, como fruta deshidratada, también se incorpora en jugos, mermeladas, helados, dulces y jaleas.

En los últimos años, debido a la expansión de la medicina alternativa, el aguaymanto ha sido una de las frutas predilectas por los entendidos en la materia. Por otro lado; el aguaymanto se consume como néctar, mermelada, yogurt, helado, en extracto, fruta fresca, pulpa congelada (Avalos, 2008).

### **2.1.2. Descripción del papel**

El papel es una estructura obtenida a base de fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol y según su longitud se habla de

fibras largas de aproximadamente de 3 a 5 mm y fibras cortas de 0,75 a 2 mm. Para poder elaborar un papel, los vegetales deben presentar como mínimo un 25 % de celulosa en su composición (Casey, 1991).

La materia prima fundamental para fabricar el papel es la celulosa, a partir de vegetales que tengan un contenido de 25 % como mínimo en su estructura, de hecho, se puede decir que el papel es una lámina constituida por entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (minerales, colas, almidón, colorantes) que permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado, además debe tener un 10 % de lignina (Condori, 2010).

#### **2.1.2.1. Estructura del papel**

La mayoría de los papeles se elaboran con fibra o pasta de celulosa suspendida en el agua, la celulosa por su propiedad higroscópica absorbe fácilmente el agua; por lo tanto, el papel absorberá agua, a menos de que se le de algún tratamiento especial para reducir la potencia absorbente de la celulosa. La celulosa es blanca, por ello, el papel será blanco, a menos de que contenga lignina como una impureza. La celulosa es higroscópica, por tanto, el papel será higroscópico, captará y soltará líquido. Una fibra de celulosa tiene la habilidad de formar uniones de hidrogeno; por ello las fibras pueden unirse en el papel sin requerir la adición de adhesivos. Una fibra de celulosa tiene una resistencia alta y es flexible (Mejía, 2000).

#### **2.1.2.2. Características físicas del papel**

##### **Espesor**

Aguilar *etal* (2014) señalan el espesor o calibre consiste en la distancia perpendicular que se da entre las dos caras del papel, bajo condiciones específicas y su valor se expresa en milímetros (mm) y um (micras).

##### **Gramaje**

Se refiere a la masa de papel por unidad de superficie, expresándose en gramos por metro cuadrado ( $g/m^2$ ). Se considera papel si su valor no es mayor a 119  $g/m^2$ , si el gramaje esta entre 120  $g/m^2$  y 300  $g/m^2$  se considera cartulina, y si es mayor a 300  $g/m^2$  son cartones. Por ello, a



mayor gramaje, mayor grosor. De acuerdo a la (NTP 2010) por su gramaje, se clasifican en los siguientes productos:

- Tienen un gramaje menor o igual a  $120 \text{ g/m}^2$
- Cartulinas: Tienen un gramaje entre 130 a  $240 \text{ g/m}^2$
- Cartones: Tienen un gramaje mayor a  $250 \text{ g/m}^2$

### **Densidad aparente**

La densidad es la masa por unidad de volumen, es calculada a partir del gramaje y espesor de una hoja (NTP 2010).

### **2.1.2.3. Fibras utilizadas para la producción de papel**

La materia prima fundamental para fabricar papel es la celulosa. De hecho, se puede decir que el papel es una lámina constituida por un entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (cargas minerales, colas, almidón, colorantes, etc.) que permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado (Mignoni, 1992).

Chuai *etal* (2001) señalan las fibras de celulosa son un constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. La celulosa para la fabricación de papel se obtiene principalmente 55 % de madera, 9 % de otras fibras vegetales denominadas no madereras y 16 % de papel recuperado.

### **Fibras madereras**

Proviene de diferentes especies de árboles y son las fibras más utilizadas por la industria papelera. La importancia de la madera como materia prima para la industria papelera radica en que contiene alrededor de un 50 % de celulosa (Chambi y Cancapa, 2012).

En función del tamaño de las fibras que proporcionan las diferentes especies se puede realizar una nueva clasificación en:

**Fibras cortas:** Proviene de árboles de madera dura, como el eucalipto y algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya), y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm y los 2 mm de largo, conteniendo además un porcentaje más elevado de celulosa.

**Fibras largas:** Proviene de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino, y su longitud está comprendida entre los 3 y 5 mm, resultando la pasta de papel más resistente.

- **Fibras no madereras**

Proviene de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales, sin embargo, en otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel, así, en China suponen el 60 % de las fibras utilizadas para la producción de papel. Estas fibras presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras (Jiménez *et al*; 2006).

Las especies más utilizadas son:

**Tallo de quinua:** Las fibras de tallos de quinua se pueden utilizar en la elaboración de diferentes tipos de papeles.

**Tallos de totora:** Las fibras de totora se pueden utilizar en la elaboración de papel.

**Algodón:** Las fibras tienen una longitud superior a los 12 mm y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.

**Cáñamo:** Las fibras tienen una longitud superior a los 5 mm y proceden de cordeles viejos y otros desperdicios. Sirven como materia prima para la producción de papel para cigarrillos.

**Lino:** Las fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm y se usan para fabricar papel para billete.

**Paja de cereales:** Estas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel.

- **Fibras recuperadas**

Las fibras presentes en el papel y cartón viejo pueden volver a utilizarse para fabricar papel y cartón de nuevo, a través del proceso de reciclado se pueden recuperar la mayoría de las fibras de celulosa que contiene el papel, no obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente ya que las fibras recuperadas pierden resistencia en el proceso, siendo necesario aportar según la resistencia del papel que se quiera fabricar, una proporción de fibras vírgenes al proceso de reciclado, ya sea procedentes de madera o de otras fibras vegetales (Chuai *et al*; 2001).

#### **2.1.2.4. Disolventes utilizados en la obtención de papel**

##### **Hidróxido de sodio (NaOH)**

El nombre del sodio proviene del italiano sosa, cuyo símbolo es Na y cuyo peso molecular es de 40 g/mol, tiene aspecto y olor; sólido blanco e incoloro, número de identificación ONU: Sólido granulado, seco. Es un álcali utilizado en la industria del papel ya que tiene la propiedad de disolver y/o separar la lignina de la celulosa en los vegetales. El hidróxido de sodio rompe enlaces de hidrogeno de la celulosa volviéndola en una estructura más simple (Condori, 2010).

##### **Hipoclorito de sodio (NaClO)**

El hipoclorito fue prácticamente el único agente empleado para el blanqueo hasta los años 30, al aplicar comercialmente el cloro elemental como agente blanqueador de pulpa. Este procedimiento se revelo muy interesante cuando se aplicó a las pulpas kraft, las cuales alcanzaban un grado de blancura muy alta, pues la acción del cloro sobre la pulpa es el de eliminar la lignina, compuesto muy abundante en las pulpas kraft. El principal problema para la implantación del método al cloro, era la resistencia de los materiales, lo que se pudo resolver con la aparición del acero inoxidable. Los hipocloritos son sales de ácido hipocloroso (HClO<sub>2</sub>), que han encontrado amplio uso en la industria y el hogar, los más importantes son hipoclorito sódico y el hipoclorito potásico, ambos son oxidantes fuertes utilizados para blanqueo de celulosa, fibras textiles y como desinfectante (May, 2009).

#### **2.1.2.5. Composición química de las fibras celulósicas**

La celulosa es una fibra vegetal que representa el 50 % de la constitución física del árbol. La estructura química de la celulosa se forma mediante la unión de moléculas de glucosa, adheridas entre sí por la lignina. Esta sustancia refuerza las células, confiriéndoles consistencia y rigidez. Todo árbol posee fibras celulósicas, por lo que, se puede producir papel de cualquier árbol. Las fibras procedentes de los árboles constituyen más del 90 % de la producción de celulosa a nivel mundial (Chuai *etal*, 2001).

Las pastas celulósicas se pueden clasificar:

### **Según la longitud de la fibra**

**De fibra corta:** Se refiere a las maderas duras como las frondosas: Eucalipto, abedul, haya, roble, chopo, etc. y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm y los 2 mm de largo, contiene además un porcentaje más elevado de celulosa. Entrega un mejor acabado superficial y es ideal para producir papeles de impresión y escritura.

**De fibra larga:** Proviene de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino, y su longitud está comprendida entre los 3 y 5 mm., resultando la pasta de papel más resistente.

- **Fibras no madereras:** Proviene de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales. Sin embargo, en **Algodón:** Las fibras tienen una longitud superior a los 12 mm. y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.

- **Cáñamo:** Las fibras tienen una longitud superior a los 5 mm. y proceden de cordeles viejos y otros desperdicios.

- **Lino:** Las fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm. y se usan para fabricar papel moneda.

- **Bagazo de cereales:** Estas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel. Otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel. Estas fibras presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras. Las especies más utilizadas son:

### **Según el proceso de obtención**

**Mecánicas:** Las pastas mecánicas se producen triturando la madera contra una piedra o entre placas metálicas, para que se separen las fibras. La acción de las máquinas rompe estas fibras de celulosa, por lo que la pasta resultante es más débil que la separada de forma química. La lignina que une la celulosa a la hemicelulosa no se disuelve, solo se ablanda, lo que permite que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera. La pasta mecánica se considera de alto rendimiento ya que se convierte en pasta más del 90 % de la madera utilizada. Este tipo de pasta de papel, debido a que contiene fibras cortas y debilitadas y una importante cantidad de lignina (el proceso no la elimina del todo), se utiliza para producir papel

de periódico u otros papeles menos resistentes. Además, y debido al contenido de lignina de estos productos, les afecta la "reversión de brillo", es decir, la luz solar hace que el color del papel se oscurezca (León y Fuente, 2012).

#### **2.1.2.6. Tipos de papel**

**Papeles de escritorio:** Son papeles bien encolados y resistentes que deben tener una superficie fina, ser blancos y no deben volverse amarillentos, con amplio gramaje: de 60 a 150 g/m<sup>2</sup>. En esta clasificación puede incluirse por ejemplo al papel oficio, secante, vegetal, carbón (Fernández, 2000).

**Papeles de imprenta:** Generalmente no son muy finos; pueden contener cargas minerales y pasta de madera, también pasta del papel reciclado que les dan opacidad a las tintas de imprenta. Para los diarios, que emplean grandes cantidades de este papel, no son necesarias unas características especiales. También pueden mencionarse los papeles pigmentados, tales como el papel lustre, papel de regalo (Colvin, 2000).

**Papeles mecano-técnicos:** Cubren una amplia gama desde los papeles de embalaje a los papeles higiénicos. Son papeles de producción elevada que se fabrican en máquinas de anchos superiores y gran velocidad. A veces son bastos, sin tratamiento de depuración de pastas y sin blanqueo, ni cola (Chambi y Cancapa, 2012).

**Papeles para envases y embalajes:** Existen diferentes tipos, desde el muy fino (Papel seda) hasta el más grueso y consistente papel café (papel Kraft), papel tissue, glassine, envases tetrapack, cartones, etc. (Fernández, 2003).

**Papel kraft:** Es muy resistente, por lo que se utiliza para la elaboración de papel tissue, papel para bolsas, sacos multicapas y papel para envolturas, asimismo, es base de laminaciones con aluminio, plástico y otros materiales.

**Papel pergamino vegetal:** Son resistencia a la humedad, así como a las grasas y a los aceites. Es utilizado para envolver mantequilla, margarina, carnes, quesos, también para envasar aves y pescados.

**Papel glassine:** Estos papeles son muy densos y tienen un alto grado de resistencia al paso de las grasas y los aceites. Este papel es translúcido logrando una superficie con acabado plano; puede hacerse opaco adicionando pigmentos, también puede encerarse laquearse y laminarse con otros materiales. Son muy utilizados para envolturas, sobres, materiales de barrera y sellos de garantía en tapas. En la industria alimenticia se utilizan con frecuencia. De igual manera, se emplean para envasar grasas y aceites, tintes para impresión como también en productos para pintar.

**Papel tissue:** Son elaborados a partir de pulpas mecánicas o químicas, y en algunos casos de papel reciclado. Pueden ser hechos de pulpas blanqueadas, sin blanquear o coloradas. Este papel se utiliza para proteger algunos productos eléctricos, envases de vidrio, herramientas, utensilios, zapatos y bolsas de mano. Como papeles de grado no corrosivo son utilizados para envolver partes metálicas altamente pulidas.

**Papeles encerados:** Brindan una buena protección a los líquidos y vapores. Se utilizan mucho para envases de alimentos, especialmente repostería y cereales secos, también para la industria de los congelados y para varios tipos de envases industrial.

#### **2.1.2.7. Blanqueo de la pasta**

El blanqueo de la pasta se realiza con el objetivo de obtener celulosa blanca pura, generalmente se usa el peróxido de hidrógeno que modifica el color, pero no elimina totalmente la lignina. Por ello, la pasta es blanqueada convencionalmente con dióxido de cloro e hipoclorito de sodio; sin embargo, su uso para remover y degradar la lignina conlleva a la producción de organoclorados, siendo un problema ambiental por su resistencia a la degradación y acumulación a través del tiempo (Ríos, 2017).

#### **2.1.2. 8. Aplicación de las enzimas en la industria de celulosa y papel**

En la actualidad, la utilización de enzimas en la industria de celulosa y papel es más bien marginal. El principal consumidor de enzimas a nivel mundial lo constituye la industria de detergentes, y en segundo lugar se encuentra

la industria de alimentos. Le siguen la industria de almidón y textil. La industria de celulosa y papel consume muy bajas cantidades de enzima, casi exclusivamente hemicelulasas (Xilanasas y Mananasas).

Los ensayos hechos a nivel de laboratorio bajo este patrón de operación permitieron reducciones en la utilización de compuestos clorados de hasta un 25 % para alcanzar un grado de deslignificación dado. Con el paso de los años el uso de las xilanasas en la industria de la celulosa y papel ha tenido un aumento constante y muchas empresas se están acercando a un uso comercial de éstas. En la actualidad el uso más eficaz de estas enzimas es en pretratamientos de blanqueo, con el objeto de reducir el uso de elementos químicos corrosivos en las etapas de blanqueo de pasta kraft (Sbarbaro, 2004).

### **2.1.3. La celulosa**

La celulosa es un polímero completamente lineal cuya unidad básica es la D-glucosa que se enlaza sucesivamente a través de un enlace glucosídico en la configuración  $\beta$  (1-4), para formar moléculas de celobiosa que es la unidad más pequeña que se repite exactamente en la cadena polimérica. Cada unidad estructural ( $\beta$ -D glucopiranosas) contiene tres grupos hidroxilo libres (uno primario y dos secundarios). Las moléculas de celulosa tienen una fuerte tendencia a formar enlaces por puentes de hidrógeno entre intermoleculares (Roncero, 2001).

La celulosa es la principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta, por ejemplo, la fibra de algodón, tienen una longitud de 20 - 25 mm, pino 2 - 3 mm y de eucalipto 0,6-0,8 mm (Condori, 2010).

#### **2.1.3.1. Estructura de la celulosa**

La estructura molecular de la celulosa se aisló por primera vez y caracterizada como sustancia química en la década de 1830, por el destacado químico agrícola francés Anselme Payen. Este llegó a la conclusión más o menos correcta, de que la celulosa y el almidón eran

sustancias isométricas, ya que ambas daban el resultado del análisis del mismo contenido de carbono e hidrógeno, y al ser hidrolizadas ambas producían D-glucosa. Han indicado que la celulosa tiene tres grupos hidroxílicos libres por unidad de: (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), esta fórmula indica que los grupos hidroxílicos libres en la celulosa están situados en las posiciones 2, 3, 6 y las posiciones 1, 4, 5 están unidas 30 por enlaces químicos (Mcginnis y Shafizadeh, 1991).

### 2.1.3.2. Tipos de celulosa

Dependiendo de su proceso se clasifican:

**a) Celulosa química:** Se obtiene a partir de un proceso de cocción química de la madera a altas temperaturas y presiones, cuyo objetivo es disolver la lignina contenida en la madera con una solución alcalina, liberando las fibras. Dependiendo de los aditivos químicos usados en la cocción, existen celulosas químicas kraft y sulfito, siendo la primera la más utilizada a escala mundial. La celulosa química se caracteriza por tener un rendimiento total relativamente bajo, es decir, sólo entre un 40 % y 60 % del material original (madera) queda retenido en el producto final (fibras), el resto (lignina) se disuelve en la solución alcalina para ser posteriormente quemada y generar la energía térmica y eléctrica necesaria en los procesos productivos. Estas celulosas son más resistentes, ya que las fibras quedan intactas, son más fáciles de blanquear y menos propensas a perder sus cualidades en el tiempo, (Condori, 2010).

**b) Celulosa mecánica:** Se obtiene a partir de un proceso en el cual la madera es molida y triturada mecánicamente, siendo sometida a altas temperaturas y presiones. Posteriormente la pasta es clasificada, lavada y eventualmente blanqueada. Este proceso requiere un alto consumo de energía eléctrica. La celulosa mecánica se caracteriza por tener un alto rendimiento, normalmente entre un 85 % y un 95 %, pero la lignina remanente en el producto es susceptible a oxidarse, generando el color amarillo. Los principales usos de estas celulosas son la fabricación de papel para periódicos y papeles para impresión y escritura de menor calidad (Condori, 2010).



### **2.1.3.3. Derivados de la celulosa**

Son varias las modificaciones derivadas de la celulosa, que se producen en grandes cantidades, las que se utilizan para la producción industrial de fibras, películas, plásticos, explosivos, recubrimientos y esperadores. La producción de derivados de celulosa requiere en general una materia prima que cuente con un elevado contenido de celulosa, técnicamente denominado alfa celulosa. El contenido de alfa celulosa de una determinada materia prima se mide por la cantidad de celulosa que permanece sin disolverse en una solución de hidróxido de sodio al 18 % (Chambi y Cancapa, 2012).

#### **Hemicelulosa**

El nombre de hemicelulosa lo sugirió Schulze en 1891, para designar a los polisacáridos extraíbles de las plantas mediante álcali acuoso. En general, las hemicelulosas son sustancias insolubles en agua, solubles en álcali, y se hidrolizan fácilmente en ácidos que lo que ocurre con la celulosa. Estructuralmente las hemicelulosas difieren de la celulosa en que son ramificadas y tienen un peso molecular más bajo. Las hemicelulosas que se encuentran en el tallo o tejido de apoyo de las plantas leñosas (Condori, 2010).

### **2.1.4. Lignina**

Es un compuesto químico complejo que se caracteriza por ser amorfo, de color oscuro y une fuertemente a las fibras del árbol lo que hace necesario extraerlas en su totalidad para individualizar las fibras. En papeles blancos hay que extraerla totalmente. Uno de los problemas de la lignina es que provoca el amarilleamiento del papel con gran rapidez. La fórmula de la lignina es  $C_9H_{8.83}O_{2.37} (OCH_3)_{0.96}$  y un peso molecular de aproximadamente 8000. El contenido de lignina aumenta conforme la planta aumenta su madurez, el contenido puede variar desde un 2 % aproximadamente en forrajes no maduros hasta un 15 % en forrajes maduros. El tratamiento con álcali permite el desdoblamiento de la ligadura de celulosa – lignina (Mayer, 1997).

La formación de lignina se observa en función de sus aspectos biológicos y bioquímicos. La lignina es un componente estructural que suministra a la madera sus propiedades únicas como las elásticas y de resistencia. La lignina está concentrada en capas tangenciales concéntricas con el eje de la célula (Rodríguez y Lorient, 2008).

#### **2.1.4.1. Funciones de la lignina**

Posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Proporciona rigidez a la pared celular y actúa como fuente de unión entre las moléculas de celulosa, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Realmente los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular (Condori, 2010).

#### **2.1.5. Normatividad**

##### **Normatividad en la industria papelera**

- Norma Tappi (Technical Association of the Pulp and Paper Industry)
- Norma Iso (International Organization for standardization)
- Norma Técnica peruana

#### **2.2. Antecedentes**

Ríos (2017) en su investigación “Producción de papel artesanal a partir de residuos de cascara de naranja de las juguerías del mercado”. Donde en su estudio investigó el rendimiento y gramaje. Se empleó hidróxido de sodio al 15 % por un tiempo de 2 horas, teniendo como mejores resultados los siguientes datos rendimiento 10 % y gramaje 128,27 g /m<sup>2</sup>. Concluyo que la producción de papel promedio es de 3,2 hojas/ Kg de residuo de mesocarpio de naranja en el proceso de cocción con una concentración de 15 g/l de hidróxido de sodio y en un tiempo de 2 horas. El rendimiento de pulpa de papel seca de residuo de mesocarpio es mayor al 10 %; alcanzando como un máximo rendimiento de 11,73 %.

Delgado y Uribe (2017) en su investigación titulada “Determinación de la concentración de soda cáustica, tiempo de cocción y tamaño de partícula,

en la obtención de pulpa para la fabricación de papel a partir de las hojas de caña de azúcar”. En este trabajo de investigación se basó en la determinación de la mejor combinación de tres variables, con tres niveles, que son tiempo de cocción (1; 1,5 y 2 horas), concentración de (NaOH) (5 %, 10 % y 15 %) y tamaño de partícula (0,1 cm; 0,5 cm y 2 cm), para la obtención de pulpa de celulosa a partir de hojas de caña de azúcar. El mayor rendimiento de la experimentación fue de 34,47 % con una combinación de variables de 1 hora para tiempo de cocción, 5 % de concentración de (NaOH), 2 cm. Las pulpas obtenidas se sometieron a un análisis de calidad en donde se determinó el porcentaje de lignina y celulosa, los cuales fueron 5,03 % y 8,73 % respectivamente para la pulpa de mayor rendimiento. Para el caso de las hojas de caña de azúcar se dimensionó la fibra para obtener el coeficiente de flexibilidad, rigidez, Runkel y Peteri, los cuales fueron 0,79; 0,22; 0,27 y 707,17 respectivamente, los que influyen mucho en el comportamiento de las hojas, también se analizó la densidad básica, que fue 0,287 gr/cm<sup>3</sup>.

Condori (2010) en su investigación. “Evaluación de las propiedades físico-químicas y ópticas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibra de totora (*schoenoplectus tatora*)” para la obtención de pulpa de totora. Obtuvo celulosa de los tallos de totora en tres estados antes de la floración, durante la floración y post floración. La deslignificación se realizó por vía alcalina con concentraciones (4, 6 y 8 %) y tiempo (6, 12 y 24 horas). En cuanto al análisis físico –químico y ópticos del papel tipo glassine fueron gramaje 55,31 g / m<sup>2</sup>, espesor 0,0028 mm, densidad 19,75 g /cm<sup>2</sup>, en cuanto a su contenido de celulosa y lignina presento, antes de la floración, con un valor de 78 % y 34, 99 % y mejor concentración para separar la celulosa de la lignina en las fibras de totora (*schoenoplectus tatora*) fue 8 % y en un tiempo de 24 horas en cuanto a la concentración no hubo diferencias para el factor tiempo si hubo diferencias es decir a mayor tiempo mayor deslignificado. La interacción entre concentración y tiempo no presento diferencias esto implica que los dos factores son independientes.

González *etal* (2016), en su investigación titulada “Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel”. Esta investigación se centró en evaluar el contenido

de celulosa en diferentes residuos sólidos orgánicos. También, se evaluaron otras propiedades químicas como contenido de hemicelulosa y lignina, y propiedades físicas como densidad, contenido de humedad, entre otros, ya que estas propiedades condicionan los procesos de producción de papel y son importantes para conocer la viabilidad de uso y la estrategia de la extracción de la celulosa. Los residuos sólidos fueron analizados a través de pruebas de laboratorio basadas en las normas ASTM y TAPPI y se encontró que 9 de estos tienen un alto contenido de celulosa. Tomando en cuenta todos los demás análisis se concluyó que varios residuos tienen alto potencial para ser usados en la producción de papel.

Quihue (2014), en su investigación titulada "Obtención de fibras a partir de raquis de plátano para la producción de pulpa de papel". Para los parámetros óptimos trabajó a concentraciones de (18, 15, 13, 10 %) de NaOH, tiempo entre 60 y 90 minutos de cocción, obteniendo valores promedios entre 2,98 - 3. 78 % de lignina se obtiene la pulpa de papel, acorde y recomendable al tipo de papel que se desea obtener. De acuerdo a la investigación se determina que a mayor temperatura de cocción el % de lignina es menor, dependiendo al tipo de pulpa a obtener y por ende al uso que tenga. Para obtener un pH acorde a las necesidades de la pulpa, desde el proceso de cocción, lavado y finalmente en el blanqueo, depende principalmente de la temperatura del agua a utilizar; en el trabajo de investigación se realizó a temperatura promedio entre 70 – 85 °C, donde el grado del pH disminuye manteniendo valores entre 7,05- 7,54. La prueba de blanqueabilidad nos permite indicar el grado al cual se ha llevado el proceso de cocción, y medir (cuando es necesario) que tanto licor de blanqueo es requerido para obtener el grado de blancura, en concentraciones desde 18, 15, 13, 10 y 8 % de NaOH, muestras 3 y 4 principalmente presentan índices de blancura acorde a la pulpa a obtener los cuales promedian entre 11,41 – 16,11 % de blancura, especialmente para papeles blancos tipo bond, cabe recalcar, en las muestras 1, 2 y 3 los papeles a obtener son del tipo decorativo, promediando entre 5,48-14,25. El número de Kappa al ser un factor numérico que nos permite conocer el grado de deslignificación del material cocido (pulpa). La muestra 1, 2 permite determinar un número de Kappa alto indica una deslignificación deficiente y viceversa.

## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis general**

Si determinamos los mejores parámetros concentraciones y tiempo en el proceso de deslignificado para la obtención de pulpa de papel a partir de cálix de aguaymanto por vía ácida y alcalina entonces se adquirirá un producto con los estándares de calidad.

### **2.3.2. Hipótesis específicas**

- Sí determinamos diferentes parámetros de concentración y tiempo por vía ácida en la obtención de pulpa de papel entonces obtendremos un producto con las mejores características físicas, mayor contenido de celulosa y mayor rendimiento.

- Sí determinamos diferentes parámetros de concentración y tiempo por vía alcalina en la obtención de pulpa de papel entonces obtendremos un producto con las mejores características físicas, mayor contenido de celulosa y mayor rendimiento.

## **2.4. Variables**

### **2.4.1. Variable independiente**

$X_1$ = Concentración de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio.

$X_2$ = Tiempo

### **2.4.2. Variables dependientes**

$Y_1$ = Características físicas: Espesor gramaje y pH

$Y_2$ = Contenido de celulosa

$Y_3$ = Rendimiento

### **2.4.3. Operacionalización de variables**

En la Tabla 2. Se muestran la operacionalización de las variables para el estudio.

**Tabla 2.** Operacionalización de variables

<b>DEFINICION DE VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Variables independientes.</b>	
X <sub>1</sub> = Concentración por vía ácido - alcalina	<b>X<sub>1</sub>= Concentración</b> X <sub>1,1</sub> = 1 %    4 % X <sub>1,2</sub> = 2 %    6 % X <sub>1,3</sub> = 3 %    8 %
X <sub>2</sub> = Tiempo	<b>X<sub>2</sub>= Tiempo</b> X <sub>2,1</sub> = 10 min    6 horas X <sub>2,2</sub> = 15 min    12 horas X <sub>2,3</sub> = 20 min    24 horas
<b>Variables dependientes.</b>	
Y <sub>1</sub> = Análisis físico, contenido de celulosa y rendimiento.	Y <sub>1</sub> = Espesor Y <sub>2</sub> = pH Y <sub>3</sub> = Gramaje Y <sub>4</sub> = % celulosa Y <sub>5</sub> = Rendimiento

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

De acuerdo al tipo de investigación pertenece a la investigación aplicada.

##### **3.1.2. Nivel de investigación**

De acuerdo al nivel pertenece a la investigación experimental porque manipulamos variables.

#### **3.2. Lugar de ejecución**

La presente investigación se realizó en los laboratorios de análisis físico – químico y no alimentario de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial - UNHEVAL – Huánuco.

#### **3.3. Población, muestra y unidad de análisis**

##### **3.3.1. Población**

La población estudiada estuvo conformada por el cáliz de aguaymanto obtenido de la localidad de Buenos Aires de distrito de San Pablo de Pillao, provincia y departamento de Huánuco.

##### **3.3.2. Muestra**

La muestra evaluada consistió en 5 kilos de cáliz de aguaymanto del ecotipo colombiano que fueron triturados, hasta obtener una masa fina.

##### **3.3.3. Unidad de análisis**

La unidad de análisis es la pulpa de papel, con diferentes concentraciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, teniendo como unidad de análisis 20 g de producto final.

#### **3.4. Tratamientos de estudio**

##### **3.4.1. Factores de estudio – ácido**

Los factores en estudio en la obtención de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto con tres concentraciones ( $c = 1\%$ ,  $2\%$  y  $3\%$ ) y tres tiempos

de deslignificado ( $t= 10$  min  $15$  min y  $20$  min), que se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Los tratamientos de trabajo de investigación vía ácida

Tratamientos	Descripción del tratamiento
T <sub>1</sub> (c <sub>1</sub> , t <sub>1</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 %, tiempo de 10 min
T <sub>2</sub> (c <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 %, tiempo de 15 min
T <sub>3</sub> (c <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 %, tiempo de 20 min
T <sub>4</sub> (c <sub>2</sub> , t <sub>1</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 %, tiempo de 10 min
T <sub>5</sub> (c <sub>2</sub> , t <sub>2</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 %, tiempo de 15 min
T <sub>6</sub> (c <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 %, tiempo de 20 min
T <sub>7</sub> (c <sub>3</sub> , t <sub>1</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3 %, tiempo de 10 min
T <sub>8</sub> (c <sub>3</sub> , t <sub>2</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3 %, tiempo de 15 min
T <sub>9</sub> (c <sub>3</sub> , t <sub>3</sub> )	Concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3 %, tiempo de 20 min

### 3.4.2. Factores de estudio - alcalina

Los factores en estudio en la obtención de pulpa de papel a partir de cálix de aguaymanto con tres concentraciones ( $c = 4$  %,  $6$  % y  $8$  %) y tres tiempos de deslignificado ( $t= 6$  horas,  $12$  horas y  $24$  horas), que se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Los tratamientos de trabajo de investigación vía alcalina

Tratamientos	Descripción del tratamiento
T <sub>1</sub> (Al <sub>1</sub> , t <sub>1</sub> )	Concentración de NaOH 4 %, tiempo de 6 h
T <sub>2</sub> (Al <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> )	Concentración de NaOH 4 %, tiempo de 12 h
T <sub>3</sub> (Al <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> )	Concentración de NaOH 4 %, tiempo de 24 h
T <sub>4</sub> (Al <sub>2</sub> , t <sub>1</sub> )	Concentración de NaOH 6 %, tiempo de 6 h
T <sub>5</sub> (Al <sub>2</sub> , t <sub>2</sub> )	Concentración de NaOH 6 %, tiempo de 12 h
T <sub>6</sub> (Al <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> )	Concentración de NaOH 6 %, tiempo de 24 h
T <sub>7</sub> (Al <sub>3</sub> , t <sub>1</sub> )	Concentración de NaOH 8 %, tiempo de 6 h
T <sub>8</sub> (Al <sub>3</sub> , t <sub>2</sub> )	Concentración de NaOH 8 %, tiempo de 12 h
T <sub>9</sub> (Al <sub>3</sub> , t <sub>3</sub> )	Concentración de NaOH 8 %, tiempo de 24 h



### 3.5. Prueba de hipótesis

#### Hipótesis nula

H<sub>0</sub>: No existen diferencias entre los tratamientos en estudio relacionados para la deslignificación por vía ácida con respecto a sus características físicas, contenido de celulosa y rendimiento del papel.

$$H_0: T_0 = T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = T_7 = T_8 = T_9 = 0$$

H<sub>0</sub>: No existen diferencias entre los tratamientos en estudio relacionados para la deslignificación por vía alcalina con respecto a sus características físicas, contenido de celulosa y rendimiento del papel.

$$H_0: T_0 = T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = T_7 = T_8 = T_9 = 0$$

#### Hipótesis alternativa

H<sub>1</sub>: Al menos uno de los tratamientos en estudio relacionados para la deslignificación por vía ácida con respecto sus características físicas, contenido de celulosa y rendimiento del papel es diferente.

$$H_1: \text{Al menos } T_n \neq 0$$

H<sub>1</sub>: Al menos uno de los tratamientos en estudio relacionados para la deslignificación por vía alcalina con respecto sus características físicas, contenido de celulosa y rendimiento del papel es diferente.

$$H_1: \text{Al menos } T_n \neq 0$$

#### 3.5.1. Diseño de la investigación

Para el caso de las variables continuas, las que se ajustan a la evaluación de sus características físico y contenido de celulosa, se utilizó un DCA con arreglo factorial de 2 x 3, el que hace referencia a 2 factores y cada factor con 3 niveles, los que se expresan de la siguiente manera:

$$Y_{ij} \in \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y<sub>ij</sub> : Contenido de pulpa de papel encontrado en la deslignificación del cáliz de aguaymanto sometido a la i-ésima concentración, y la j-ésima tiempo

- $\mu$  : Efecto de la media poblacional.
- $\alpha_i$  : Efecto del i-ésimo nivel de concentración
- $B_j$  : Efecto de j-ésimo nivel de tiempo
- $(\alpha\beta)_{ij}$  : Efecto de la interacción del i-esima nivel de concentración y j-ésimo nivel de tiempo.
- $(\epsilon)_{ij}$  : Error experimental

### 3.5.2. Datos registrados

De acuerdo a los objetivos y variables del estudio, se registraron las características de la materia prima (biométrica), características físicas, porcentaje de celulosa y el rendimiento. Así mismo se registraron las diferentes concentraciones y tiempo de deslignificado en la obtención de pulpa de papel.

### 3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección

En la obtención y registro de datos se utilizó formatos elaborados acorde el estudio, memorias USB donde se almaceno los datos, cuadernos de apuntes, lápices, lapiceros.

#### a. Técnicas de investigación documental o bibliográfica

- Análisis documental: Nos permitió fundamentar la investigación del material estudiado basado por antecedentes de diferentes autores.
- Análisis de contenido: Se analizó y se estudió de manera objetiva y sistemática.
- Fichaje: Nos permitió registrar aspectos y experiencias importantes de los materiales leídos y ordenados sistemáticamente que nos sirvieron de fuente importante.

#### b. Técnicas de trabajo de campo

**Observación:** Se realizó en forma sistemática ya que nos permitió obtener información sobre las variables y datos a registrar en las diferentes etapas de la investigación.

#### c. Instrumento de recolección de información en laboratorio

- Cuaderno de notas
- Reporte de análisis
- Cámara fotográfica

#### **d. Procesamiento y presentación de resultados**

El procesamiento y presentación de resultados se realizó utilizando el software de Microsoft Office. De acuerdo al diseño de investigación a realizarse y la presentación de los resultados es en cuadros. Para realizar el procesamiento de datos estadísticos se utilizó el programa estadístico SPSS.

### **3.6. Materiales y equipos**

#### **3.6.1. Materia prima**

Se utilizó cáliz de aguaymanto del ecotipo colombiano y en un estado de madurez comercial.

#### **3.6.2. Materiales**

Tubos 100 mL

Pie de rey

Agua destilada

Cola sintética

Almidón

Malla de asbesto

Baño maría

Vaso de precipitación de 50, 100 y 250 mL

Bureta de 25 mL

Fiolas de 100 y 250 mL

Papel tisú, rollos de papel toalla

Matraz Erlenmeyer de 100 y 250 mL

Probeta de 250 mL

Varillas y embudos

Placas petri

Crisoles de porcelana

Pinzas de metal

Papel filtro Whatman N° 1 y 2

#### **3.6.3. Reactivos**

Ácido sulfúrico

Hidróxido de sodio

2 – etanol

Hipoclorito de sodio

#### 3.6.4. Equipos

Balanza analítica marca ADVENTURER, modelo OHUAUS, capacidad con precisión de 0.001 a 1000 g.

Licuada eléctrica color cromado, marca OSTER

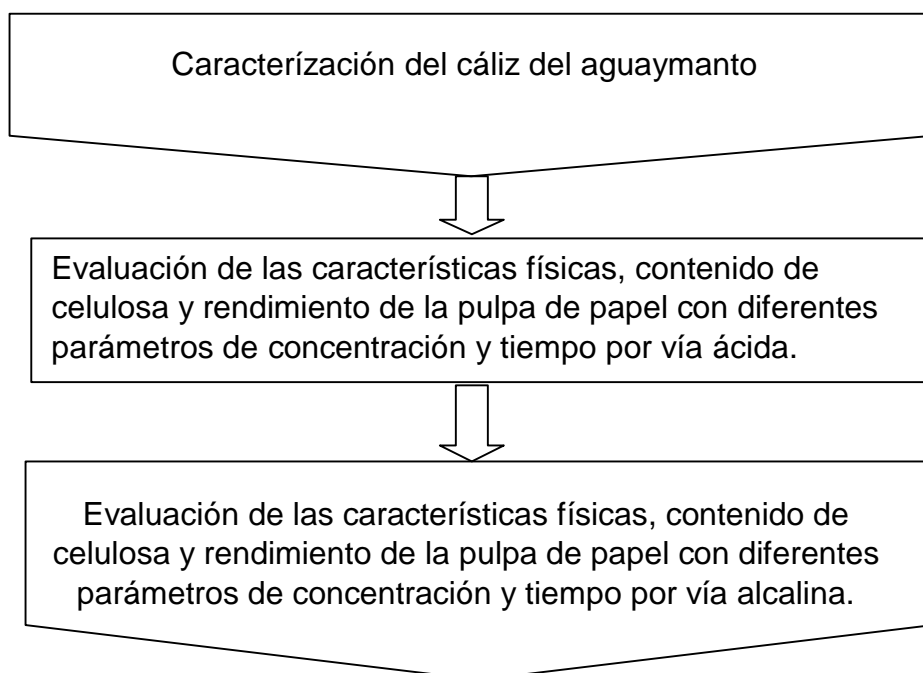
Estufa marca ECOCELL MMMGROUP, modelo TV-90 alemana

Mufla marca SELECT HORN modelo HME 42 – C20, rango máximo Temperatura 800 °C

Extractor de fibra marca SELECTA modelo DOSI-FIBER España capacidad 0.5 – 3.0 g.

#### 3.7. Conducción de la investigación

En la Figura 1 se representa el esquema experimental que se utilizó para la conducción y ejecución del trabajo de investigación.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la conducción de la investigación

### 3.7.1. Caracterización del cáliz de aguaymanto

Esta etapa consistió en identificar las características biométricas con la finalidad de caracterizar la materia prima en las siguientes medidas:

**Determinación del diámetro.** Se determinó diámetro longitudinal y ecuatorial, tomadas 15 muestras al azar, con la ayuda del instrumento pie de rey.

**Peso.** Se utilizó balanza de precisión de rango 0,01- 100 g (Mohsenin,1978).

#### **Contenido de fibra**

Se pesó los crisoles y luego pesó la muestra (0,5 g) y depositarlo en la campana luego trasladar al equipo de extractor de fibra.

Introducir por la parte superior del refrigerante 150 mL de ácido sulfúrico precalentado a 90 °C.

Añadir 3 gotas de 2- octanol para prevenir la espuma durante el calentamiento y la ebullición

Cuando empieza a hervir mantener una suave ebullición durante 3 min.

Lavar con agua caliente desionizada repitiendo la operación por tres veces utilizando 30mL de agua cada vez.

Introducir por la parte superior del refrigerante 150mL de solución de hidróxido de potásico precalentado 90 °C.

Añadir 3 gotas de 2 – octanol y llevar a ebullición por 30 min.

Filtrar y lavar tres veces con agua caliente desionizada

Introducir los crisoles a la estufa de secado a 80 °C durante toda la noche.

Dejar enfriar los crisoles y luego pesar.

Incinerar la muestra de los crisoles a 500 °C durante 3 horas en la mufla. dejar enfriar y luego pesarlo.

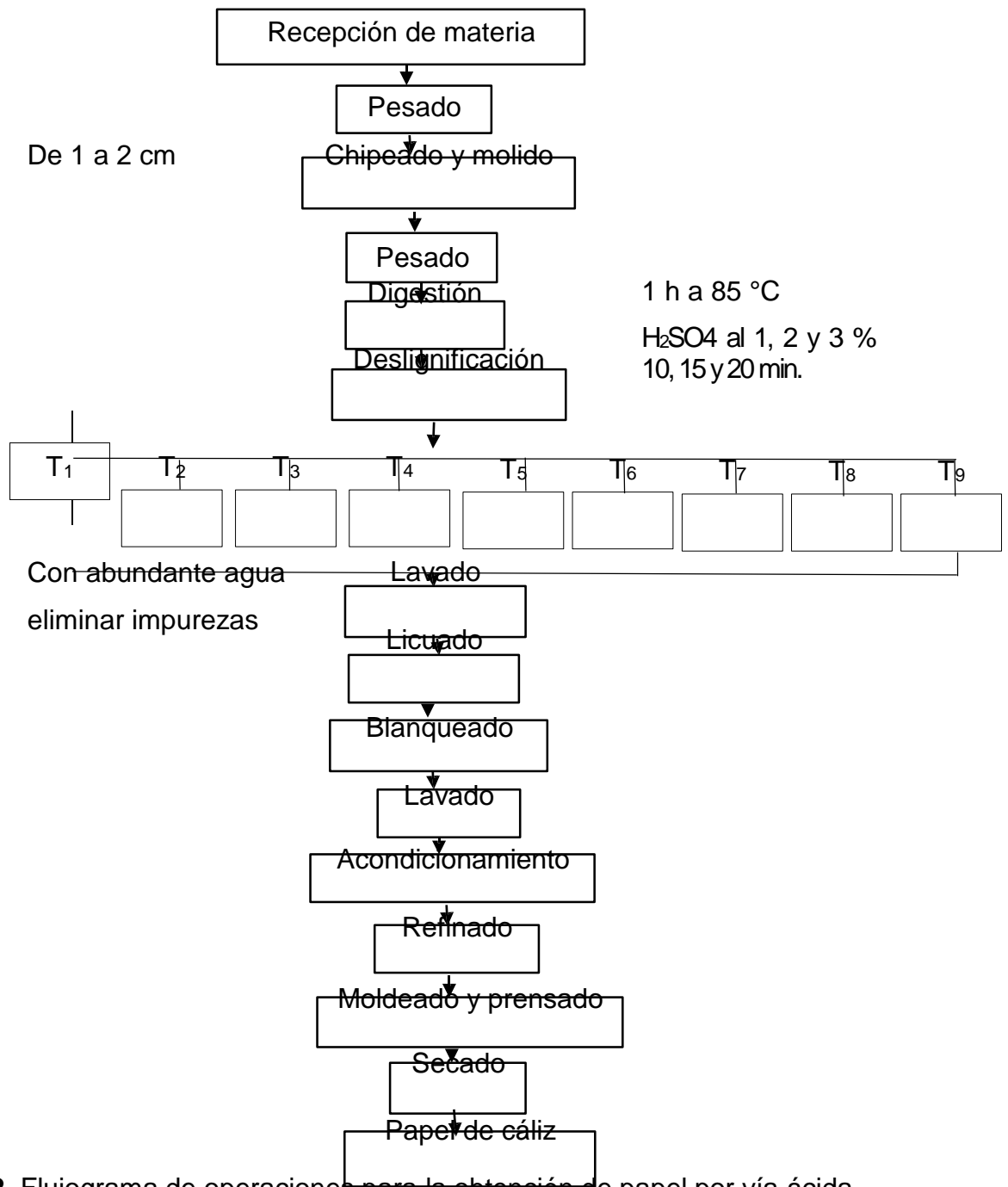
Calcular el contenido de fibra

$$\% \text{ fibra} = \frac{w1 - w2}{w0} \times 100$$

**3.7.2. Evaluación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de la pulpa de papel con diferentes parámetros de concentración y tiempo por vía ácida**

**Obtención de pulpa de papel**

En la Figura 2, se muestra el diagrama de flujo, con las operaciones correspondientes en la obtención de pulpa de papel



**Figura 2.** Flujograma de operaciones para la obtención de papel por vía ácida

### **Descripción del diagrama de flujo**

**Recepción de materia prima:** En esta etapa se recolectó el cáliz del aguaymanto de la localidad de Buenos Aires del distrito de San Pablo de Pillao.

**Selección:** Luego, se seleccionaron el cáliz en tamaños uniformes.

**Pesado:** Posteriormente se pesaron 5 kg de muestra

**Chipeado y molido:** Se realizó este proceso con la finalidad de reducir el tamaño del cáliz y luego ser molido.

**Digestión:** Se realizó a fuego directo, en un recipiente hermético (20 g de fibra de cáliz en 500 mL de agua) con el fin de ablandar las fibras por una 1 hora a 85 °C.

**Deslignificación:** En este proceso se realizó los tratamientos con sus respectivos factores y tiempo luego se procedió a filtrar evitando la descarga directa de licor.

**Lavado:** Se realizó el lavado utilizando abundante agua para reducir las impurezas y residuos de ácido sulfúrico, hasta llegar a un pH neutro.

**Licuadao:** Las fibras deslignificadas se sometieron a licuarse con el fin de poder uniformizar y mezclar las partículas de celulosa.

**Blanqueado:** Con hipoclorito de sodio al 5 % de pureza (para 1 litro de agua 50 mL de hipoclorito de sodio), con la finalidad de blanquear la pulpa y nuevamente lavarlo.

**Acondicionamiento:** En este proceso se añadió aditivos (almidón y cola sintética 1 %) con la finalidad de conseguir que el papel sea resistente y flexible.

**Refinado:** Realizó con una licuadora con el fin de homogenizar la pulpa, evitar floculaciones y reducir el tamaño de fibra de celulosa.

**Moldeado y prensado:** Se realizó con un bastidor para tener una forma

**Secado:** El secado se realizó, utilizando telas poliéster para cubrir el papel húmedo a temperatura ambiente por un tiempo de 24 horas.

#### **3.7.2.2. Características físicas**

**Gramaje:** Peso en gramos de una hoja de papel que tenga una superficie de 1 m<sup>2</sup> es importante para calcular el precio del papel.

**pH:** Método potenciómetro de medida directa (AOAC, 1994).

### 3.7.2.3. Contenido de celulosa

Según Goering y Van Soest (1972), se basa en la aplicación de detergente neutro con la finalidad de determinar la cantidad de celulosa.

#### Obtención de celulosa

En la Figura 3, se muestra el diagrama de flujo, con las operaciones correspondientes para la obtención de celulosa.

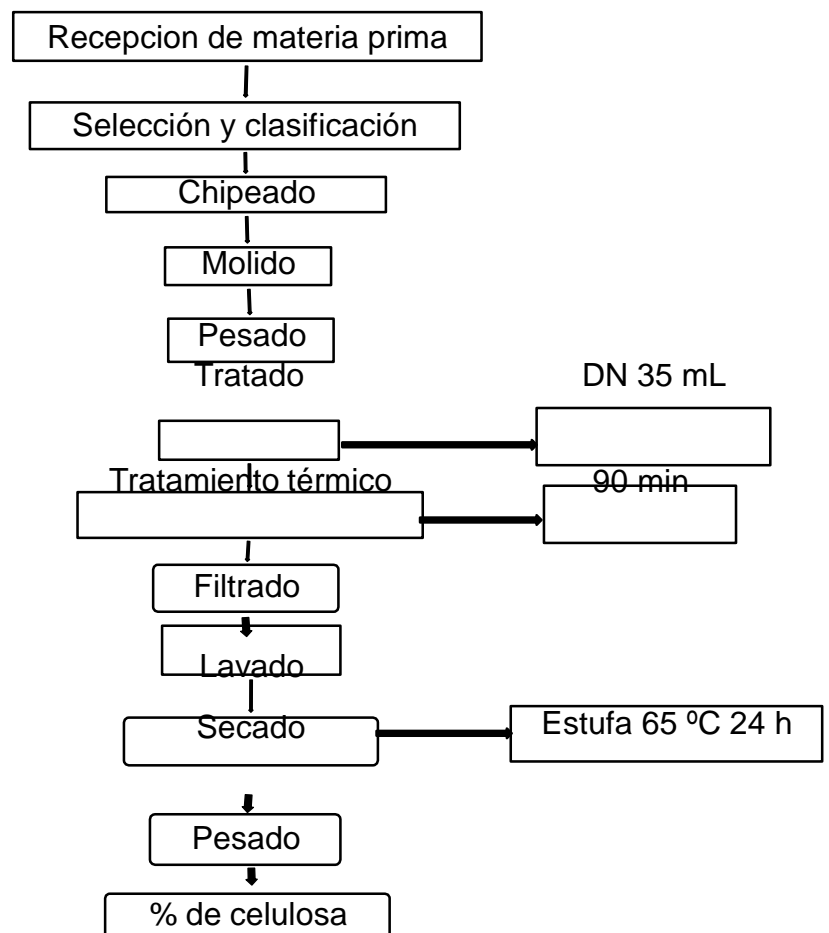


Figura 3. Diagrama de flujo obtención de celulosa

#### Descripción del proceso

**Recepción de materia prima:** En esta etapa se recolecto el cáliz del aguaymanto de la localidad de Buenos Aires del distrito de San Pablo de Pillao.

**Selección y clasificación:** Se seleccionó el cáliz de aguaymanto sanos, enteros y secos.



**Chipeado:** Para este proceso se utilizó una tijera con la finalidad de reducir el tamaño del cáliz del aguaymanto.

**Molido:** Para el molido se utilizó una maquina moledora de granos para que el cáliz se convierta en harina.

**Pesado:** Se realizó el pesado en una balanza de precisión 2 g por tratamiento (27 muestras)

**Tratado:** Consistió en tratar con detergente neutro 35 mL para 2 g de fibra esto se mezcló en un tubo de ensayo.

**Tratamiento térmico:** Consistió en la cocción de las fibras ya tratadas con ácido y mezclados en tubos de ensayo en baño maría por un tiempo de 1 hora y media con el fin de ablandar y separar la lignina y otros componentes de la celulosa.

**Filtrado:** Consistió en separar el detergente neutro de la pasta del cáliz en un embudo con papel filtro.

**Lavado:** Se procedió a lavar con bastante agua destilada utilizando una piseta lavándolo por los bordes del papel filtro, mientras esta se va filtrando, hasta llegar a un pH neutro.

**Secado:** Se utilizó una estufa a temperatura de 65 °C por 24 horas con el fin de que el secado sea uniforme.

**Pesado:** Finalmente se pesó y registro la cantidad de celulosa en una balanza de precisión, para luego ser reemplazados los datos en la formula.

$$\% \text{ celulosa} = \frac{(pc) - (c.m + F)}{PM} \times 100$$

PC : Peso del crisol

CM : Peso del crisol + muestra

F : Fibra

PM : Peso de la muestra final

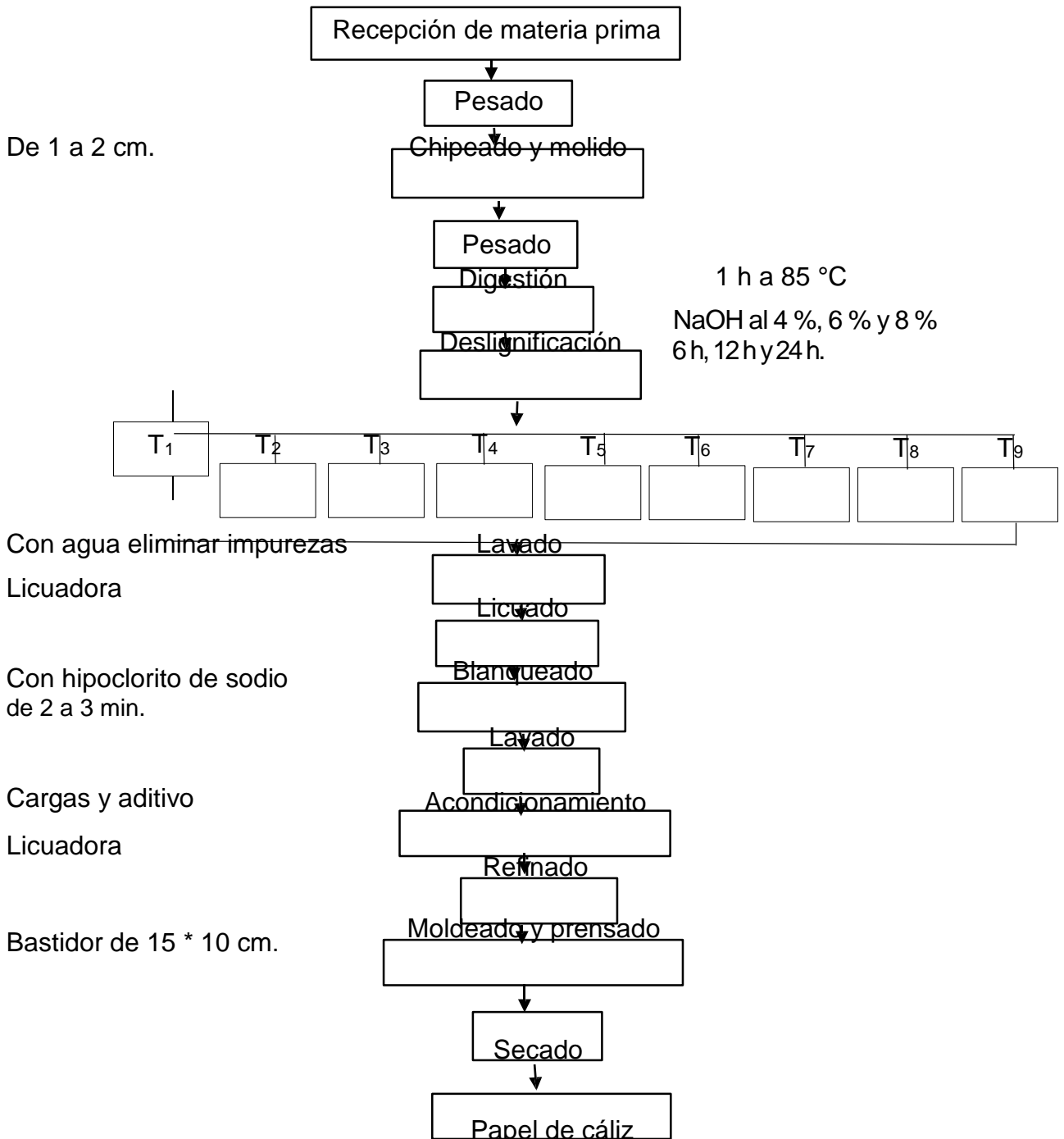
#### 3.7.2.4. Rendimiento

El rendimiento se determina mediante el balance de materia para cada tratamiento con sus respectivos factores (concentración – tiempo) mediante la siguiente formula.

**3.8. Evaluación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de la pulpa de papel con diferentes parámetros de concentración y tiempo por vía alcalina**

**Obtención de pulpa de papel**

En la Figura 4, se muestra el diagrama de flujo, con las operaciones correspondientes en la obtención de pulpa de papel.



**Figura 4.** Flujograma de operaciones para la obtención de pulpa por vía alcalina

## **Descripción del diagrama del flujo**

**Recepción de materia prima:** En esta etapa se recolecto el cáliz del aguaymanto de la localidad de Buenos Aires del distrito de San Pablo de Pillao.

**Selección y pesado:** Luego, se seleccionaron el cáliz en tamaños uniformes y posteriormente se pesaron 5 kg muestra.

**Chipeado y molido:** Se realizó este proceso con la finalidad de reducir el tamaño del cáliz y luego ser molido.

**Digestión:** Se realizó a fuego directo, en un recipiente hermético (20 g de fibra de cáliz en 500 mL de agua) con el fin de ablandar las fibras por una 1 hora.

**Deslignificación:** En este proceso se realizó todos los tratamientos con sus respectivas concentraciones y tiempo terminado, se procedió a filtrar, evitando la descarga directa de licor.

**Lavado:** Se realizó el lavado utilizando abundante agua para reducir las impurezas y residuos de hidróxido de sodio y ácido sulfúrico. El lavado se realiza hasta llegar a un pH neutro.

**Licuadao:** Las fibras deslignificadas se sometieron a licuarse con el fin de poder uniformizar y mezclar las partículas de celulosa.

**Blanqueado:** Con hipoclorito de sodio al 5 % de pureza (para 1 litro de agua 50 mL de hipoclorito de sodio), con la finalidad de blanquear la pulpa y nuevamente lavarlo.

**Acondicionamiento:** En este proceso se añade aditivos (almidón y cola sintética 1 %) con la finalidad de conseguir que el papel sea resistente y flexible.

**Refinado:** Se realizó con una licuadora con el fin de homogenizar la pulpa, evitar floculaciones y reducir el tamaño de fibra de celulosa.

**Moldeado y prensado:** Se realizó con un bastidor para darle forma

**Secado:** El secado se realizó a temperatura ambiente, utilizando telas de polietileno para cubrir el papel húmedo por un tiempo de 24 horas.

### 3.8.2.2. Características físicas

**Gramaje:** Peso en gramos de una hoja de papel que tenga una superficie de 1 m<sup>2</sup> es importante para calcular el precio del papel.

**Ph:** Método potenciómetro de medida directa (AOAC, 1994).

**Espesor:** Se determinó utilizando el instrumento pie de rey.

### 3.8.2.3. Contenido de celulosa

Según Goering y Van Soest (1972), se basa en la aplicación de detergente neutro con la finalidad de determinar la cantidad de celulosa.

#### **Descripción del proceso**

**Recepción de materia prima:** En esta etapa se recolecto el cáliz del aguaymanto de la localidad de Buenos Aires del distrito de San Pablo de Pillao.

**Selección y clasificación:** Se selecciona el cáliz de aguaymanto sanos, enteros y secos.

**Chipeado:** Para este proceso se utilizó una tijera con la finalidad de reducir el tamaño del cáliz del aguaymanto.

**Molido:** Para el molido de utilizo una maquina moledora de granos para que el cáliz se convierta en harina.

**Pesado:** Se realizó el pesado en una balanza de precisión 2 g por tratamiento (27 muestras) por cada vía ácida y vía alcalina.

**Tratado:** Consistió en tratar con detergente neutro 35 mL para 2 g de fibra esto se mezcló en un tubo de ensayo.

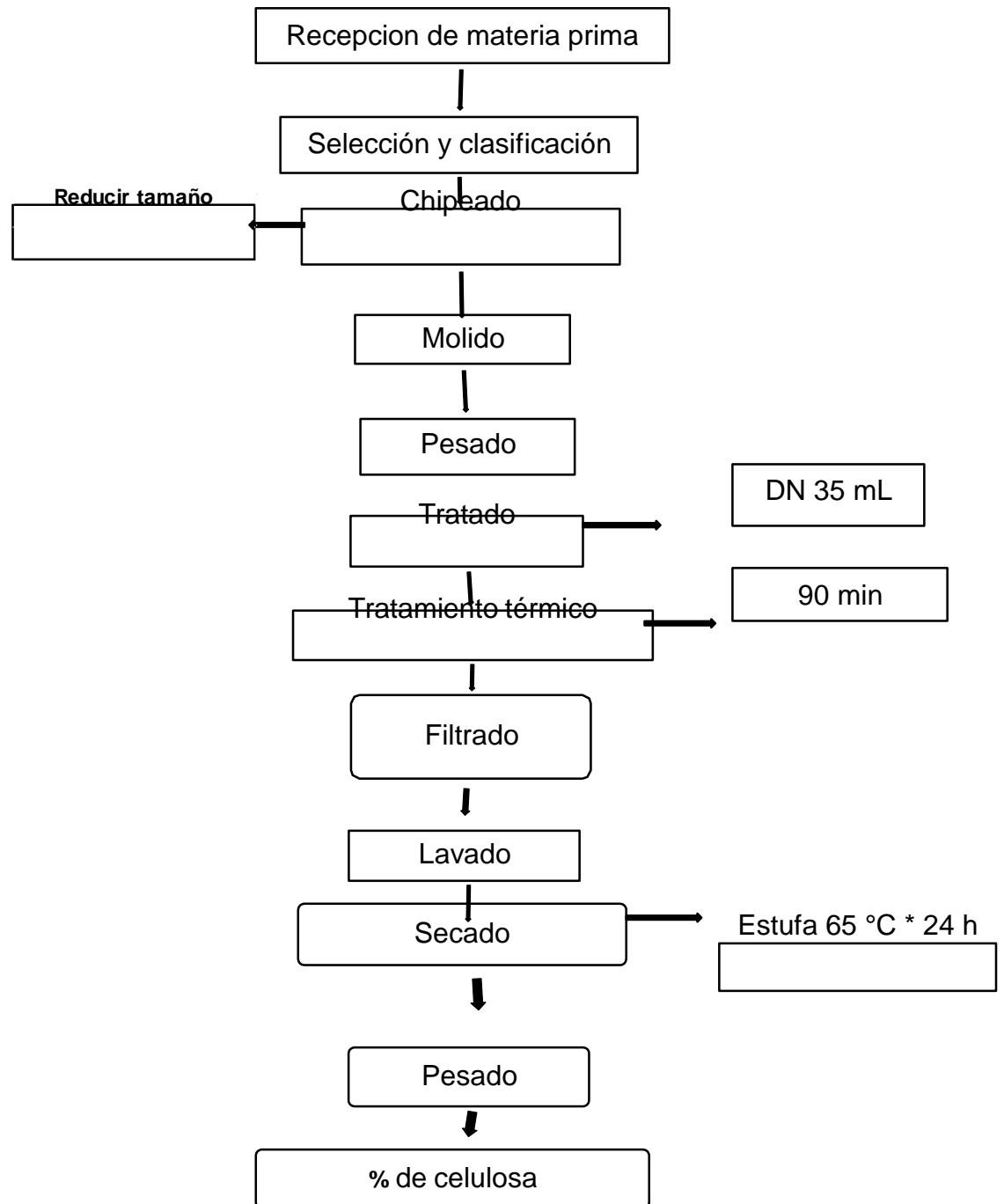
**Tratamiento térmico:** Consistió en la cocción de las fibras ya tratadas con ácido y mezclados en tubos de ensayo en baño maría por un tiempo de 1 hora y media con el fin de ablandar y separar la lignina y otros componentes de la celulosa.

**Filtrado:** Consistió en separar o filtrar el detergente neutro de la pasta del cáliz en un embudo y papel filtro.

**Lavado:** Se procedió a lavar con bastante agua destilada utilizando una piseta lavándolo por los bordes del papel filtro, mientras esta se va filtrando, hasta llegar a un pH neutro.

## Obtención de celulosa

En la Figura 5, se muestra el diagrama de flujo, con las operaciones correspondientes para la obtención de celulosa.



**Figura 5.** Diagrama de flujo obtención de celulosa

**Secado:** Se utilizó una estufa a temperatura de 65 °C por 24 horas con el fin de que el secado sea uniforme.

**Pesado:** Finalmente se pesó y registro la cantidad de celulosa en una balanza de precisión, para luego ser reemplazados los datos en la formula.

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(p - c) \cdot F}{PM} \times 100$$

Donde

- PC : Peso del crisol
- CM : Peso del crisol + muestra
- F : Fibra
- PM : Peso de la muestra final

#### 3.8.2.4. Rendimiento

El rendimiento se determina mediante el balance de materia para cada tratamiento con sus respectivos factores (concentración – tiempo) mediante la siguiente formula.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{materia final}}{\text{materia inicial}} * 100$$

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización del cáliz del aguaymanto

Los resultados del análisis biométrico del cáliz en promedio se muestran en la Tabla 5, considerando peso, fibra y tamaño.

**Tabla 5.** Análisis morfológico del cáliz de aguaymanto

Características	Peso (g)	Diámetro Longitudinal (mm)	Diámetro Ecuatorial (mm)	Fibra %
Evaluadas				0,52±0,0058
Promedio	0,22±0,09	41,92±4,82	29,27±4,43	

Resultados expresados como promedio  $\pm$  SD, n =15

Los resultados de los pesos y diámetro longitudinal y ecuatorial de la muestra son de 15 unidades de cáliz de aguaymanto para la investigación se puede apreciar el promedio para el peso es 0,22 g y diámetro longitudinal 41,92 mm y ecuatorial 29,27 mm y contenido de fibra 0,52 % respectivamente.

### 4.2. Evaluación de la concentración y el tiempo para la obtención de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía ácida

#### 4.2.1. Efecto del factor A (concentración)

En la Tabla 6, se muestran los resultados de las características físicas (espesor, pH, gramaje, contenido de celulosa y rendimiento) a concentraciones 1 %, 2 % y 3 %, se aprecia que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Por otro lado, se puede apreciar que el tratamiento Ac 1 %, fue el que alcanzó menor espesor. En cuanto a los pH si existen diferencias significativas entre los tratamientos, se evidencia que el tratamiento Ac 3 %, fue el que alcanzaron el mayor pH.

En cuanto al gramaje, si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Por otro lado, se puede apreciar que el tratamiento Ac 3 % es el que tiene mejor gramaje. En el contenido de celulosa existen diferencias significativas entre los tratamientos, el mayor contenido de celulosa se observa en el tratamiento Ac 3 % y en cuanto al rendimiento presentan diferencias, los tratamientos con mayor rendimiento Ac 2 % y Ac 3 %.

**Tabla 6.** Resultado de tratamiento, factor concentración por vía ácida para la obtención de pulpa de papel

<b>Tratamiento</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>pH</b>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Celulosa (%)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Ac 1 %	1,31±0,059 <sup>ab</sup>	6,18±0,042 <sup>c</sup>	73,18 ±0,415 <sup>c</sup>	17,12±0,360 <sup>c</sup>	24,05±2,567 <sup>b</sup>
Ac 2 %	1,28±0,032 <sup>b</sup>	6,18±0,260 <sup>c</sup>	73,84 ±0,386 <sup>b</sup>	20,02±0,491 <sup>b</sup>	27,22±1,092 <sup>a</sup>
Ac 3 %	1,33±0,035 <sup>a</sup>	6,75±0,136 <sup>a</sup>	74,89 ±0,359 <sup>a</sup>	23,05±0,186 <sup>a</sup>	26,94±0,881 <sup>a</sup>

Resultado expresado como promedio ± SD, n = 3. Las letras en superíndice se lee en forma vertical. Medidas con diferente letra son significativamente diferente (p< 0,05).

#### 4.2.2. Efecto del factor B (tiempo)

En la Tabla 7, se muestran los resultados de las características físicas (espesor, pH, gramaje, contenido de celulosa y rendimiento) a tiempos 10 min, 15 min y 20 min.

Como se aprecia en la Tabla 7, en cuanto al espesor no existen diferencias. En cuanto a los pH si existen diferencias significativas entre los tratamientos, se evidencia que el tratamiento Ac 20 min, fue el que alcanzaron el mayor pH. En cuanto al gramaje, no existen diferencias significativas entre los tratamientos. En el contenido de celulosa se evidencia que existen



diferencias significativas entre los tratamientos obteniendo menor cantidad de celulosa es el tratamiento Ac 10 min y en el rendimiento también existen diferencias entre los tratamientos, mayor rendimiento en el tratamiento Ac 20 min.

**Tabla 7.** Resultado de tratamiento, factor tiempo por vía ácida para la obtención de pulpa de papel

Tratamiento	Espesor (mm)	pH	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Celulosa (%)	Rendimiento (%)
Ac 10 min	1,30±0,063 <sup>a</sup>	6,43±0,333 <sup>b</sup>	73,74±0,906 <sup>a</sup>	19,68±2,668 <sup>b</sup>	25,72±1,954 <sup>b</sup>
Ac 15 min	1,31±0,028 <sup>a</sup>	6,38±0,216 <sup>b</sup>	74,03±0,801 <sup>a</sup>	20,20±2,546 <sup>a</sup>	25,33±2,839 <sup>ab</sup>
Ac 20 min	1,32±0,050 <sup>a</sup>	6,59±0,286 <sup>a</sup>	74,13±0,748 <sup>a</sup>	20,31±2,516 <sup>a</sup>	27,17±1,225 <sup>a</sup>

Resultado expresado como promedio ± SD, n = 3. Las letras en superíndice se lee en forma vertical. Medidas con diferente letra son significativamente diferente (p < 0,05).

#### 4.2.3. Efecto de los niveles del factor A (concentración) en cada uno de los niveles del factor B (tiempo)

Con respecto al análisis global de la combinación de los 2 factores, se encontró diferencias significativas entre tratamientos, Se evidencio un efecto significativo de todos los factores evaluados (concentración y tiempo) respecto al gramaje el mejor (Ac 3 %, Ac 10 min, Ac 3%, Ac 15 min, Ac 3 %, Ac 20 min), en cuanto al contenido de celulosa un mayor contenido se encuentra en los tratamientos (Ac 3 %, Ac 10 min, Ac 3%, Ac 15 min y Ac 3 %, AC 20 min). En cuanto al rendimiento existen diferencias significativas, donde con mayor promedio de rendimiento fueron los tratamientos (AC 2 %, AC 10 min, AC 2 %, AC 15 min. AC 2 %, AC 20 min, AC 3%, AC 15 min).

**Tabla 8.** Resultado de tratamiento, factor concentración -tiempo por vía ácida para la obtención de pulpa de papel

<b>Tratamientos</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>pH</b>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Celulosa (%)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
(Ac 1%, Ac 10 min)	1,26±0,073 <sup>c</sup>	6,14±0,035 <sup>d</sup>	73,02±0,763 <sup>c</sup>	16,73±0,247 <sup>e</sup>	23,50±1 <sup>bc</sup>
(Ac 1%, Ac 15 min)	1,33±0,015 <sup>abc</sup>	6,18±0,02 <sup>d</sup>	73,32±0,172 <sup>bc</sup>	17,30±0,185 <sup>de</sup>	21,83±2,753 <sup>c</sup>
(Ac 1 %, Ac 20 min)	1,34±0,037 <sup>abc</sup>	6,23±0,015 <sup>d</sup>	73,20±0,069 <sup>c</sup>	17,36±0,240 <sup>d</sup>	26,83±1,892 <sup>ab</sup>
(Ac 2 %, Ac 10 min)	1,29±0,030 <sup>bc</sup>	6,29±0,026 <sup>d</sup>	73,48±0,079 <sup>bc</sup>	19,48±0,468 <sup>c</sup>	27,50±1,323 <sup>a</sup>
(Ac 2 %, Ac 15 min)	1,30±0,02 <sup>cb</sup>	6,33±0,017 <sup>d</sup>	73,73±0,286 <sup>bc</sup>	20,15±0,079 <sup>b</sup>	27,00±1,323 <sup>a</sup>
(Ac 2 %, Ac 20 min)	1,25±0,02 <sup>c</sup>	6,82±0,076 <sup>bc</sup>	74,29±0,064 <sup>ab</sup>	20,44±0,095 <sup>b</sup>	27,17±1,041 <sup>a</sup>
(Ac 3 %, Ac 10 min)	1,36±0,015 <sup>ab</sup>	6,87±0,03 <sup>c</sup>	74,71±0,622 <sup>a</sup>	22,84±0,147 <sup>a</sup>	26,17±0,289 <sup>ab</sup>
(Ac 3%, Ac 15 min)	1,31±0,041 <sup>bc</sup>	6,64±0,135 <sup>b</sup>	75,05±0,061 <sup>a</sup>	23,17±0,096 <sup>a</sup>	27,17±0,764 <sup>a</sup>
(Ac 3 %, Ac 20 min)	1,32±0,032 <sup>abc</sup>	6,72±0,122 <sup>bc</sup>	74,89±0,201 <sup>a</sup>	23,16±0,068 <sup>a</sup>	27,50±1 <sup>a</sup>
Testigo	1,43±0,026 <sup>a</sup>	7,48±0,025 <sup>a</sup>	75,10±0,1 <sup>a</sup>		

Resultado expresado como promedio ± SD, n = 3. Las letras en superíndice se lee en forma vertical. Medidas con diferente letra son significativamente diferente (p< 0,05).

### 4.3. Evaluación de la concentración y el tiempo para la obtención de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía alcalina

#### 4.3.1. Efecto del factor A (concentración)

Como se puede mostrar en la Tabla 9, en cuanto al espesor no existen diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a los pH si existen diferencias significativas entre los tratamientos, se evidencia que los tratamientos (AL 4 %, AL 6 %) fue el que alcanzaron el mayor pH. En cuanto al gramaje, no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Con respecto al contenido de celulosa si existen diferencias significativas entre los tratamientos, mayor contenido de celulosa se observa en el tratamiento AL 8 %. Con respecto al rendimiento se observa que no existen diferencias significativas, como se observa en la tabla.

**Tabla 9.** Resultado de tratamiento, factor concentración por vía alcalina para la obtención de pulpa de papel

Tratamiento	Espesor (mm)	pH	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Celulosa (%)	Rendimiento (%)
AL 4 %	1,41±0,029 <sup>a</sup>	7,39±0,053 <sup>a</sup>	75,28±0,15 <sup>a</sup>	32,53±0,128 <sup>c</sup>	28,39±2,043 <sup>a</sup>
AL 6 %	1,42±0,031 <sup>a</sup>	7,36±0,112 <sup>a</sup>	75,13±0,11 <sup>a</sup>	34,49±0,308 <sup>b</sup>	29,00±1,75 <sup>a</sup>
AL 8 %	1,41±0,031 <sup>a</sup>	7,26±0,035 <sup>b</sup>	67,72±0,13 <sup>a</sup>	35,12±0,070 <sup>a</sup>	28,34±0,746 <sup>a</sup>

Resultado expresado como promedio ± SD, n = 3. Las letras en superíndice se lee en forma vertical. Medidas con diferente letra son significativamente diferente (p < 0,05).

#### 4.2.2. Efecto del factor B (tiempo)

Como se puede mostrar en la Tabla 10, en cuanto al espesor no existen diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a los pH si existen diferencias significativas entre los tratamientos, se evidencia que los tratamientos AL 6 hr, AL 12 hr fueron el que alcanzaron el mayor pH. En cuanto al gramaje, no existen diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto al contenido de celulosa existen diferencias significativas obteniendo mayor porcentaje de celulosa en los tratamientos AL 12 h, AL 24 hr, en el rendimiento se observa que no existen diferencias estadísticamente.

**Tabla 10.** Resultado de tratamiento, factor tiempo por vía alcalina para la obtención de pulpa de papel

Tratamiento	Espesor (mm)	pH	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Celulosa (%)	Rendimiento (%)
AL 6 h	1,42±0,029 <sup>a</sup>	7,38±0,099 <sup>a</sup>	75,24±0,138 <sup>a</sup>	33,90±1,188 <sup>b</sup>	28,39±1,139 <sup>a</sup>
AL 12 h	1,41±0,035 <sup>a</sup>	7,36±0,086 <sup>a</sup>	75,19±0,145 <sup>a</sup>	34,07±1,729 <sup>a</sup>	28,34±1,776 <sup>a</sup>
AL 24 h	1,41±0,022 <sup>a</sup>	7,27±0,065 <sup>b</sup>	67,72±0,157 <sup>a</sup>	34,18±1,226 <sup>a</sup>	29,44±1,673 <sup>a</sup>

Resultado expresado como promedio ± SD, n = 3. Las letras en superíndice se lee en forma vertical. Medidas con diferente letra son significativamente diferente ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2.3. Efecto de los niveles del factor A (concentración) en cada uno de los niveles del factor B (tiempo)

Asimismo, para las combinaciones de los factores (ab), los tratamientos finales muestran. En cuanto al espesor no existen diferencias significativas entre los tratamientos, por otro lado en cuanto al pH si existen diferencias entre los tratamientos el que

obtuvo mayor pH son (AL 4 %, AL 12 h y AL 6 %, AL 6 h), en cuanto al gramaje no existen diferencias significativas incluyendo al testigo, aplicados a la prueba tukey, tal como se muestra en la Tabla 11. en cuanto al contenido de celulosa se observa que existen diferencias entre los tratamientos obteniendo un mayor contenido el tratamiento (AL 8 %, AL 24 h). En cuanto al promedio se observa que no existen diferencias es decir que todos los tratamientos son iguales estadísticamente.

**Tabla 11.** Resultado de tratamiento, factor concentración -tiempo por vía ácida para la obtención de pulpa de papel

Tratamientos	Espesor (mm)	pH	Gramaje (m/g <sup>2</sup> )	Celulosa (%)	Rendimiento (%)
(AL 4 %, AL 6 h)	1,42±0,025 <sup>a</sup>	7,39±0,080 <sup>ab</sup>	75,35±0,12 <sup>a</sup>	32,42±0,058 <sup>e</sup>	27,83±2,121 <sup>a</sup>
(AL 4 %, AL 12 h)	1,40±0,015 <sup>a</sup>	7,43±0,015 <sup>a</sup>	75,23±0,18 <sup>a</sup>	32,57±0,155 <sup>e</sup>	30,17±2,043 <sup>a</sup>
(AL 4 %, AL 24 h)	1,41±0,030 <sup>a</sup>	7,36±0,015 <sup>abc</sup>	75,29±0,19 <sup>a</sup>	32,60±0,104 <sup>e</sup>	27,17±2,082 <sup>a</sup>
(AL 6 %, AL 6 h)	1,43±0,011 <sup>a</sup>	7,47±0,070 <sup>a</sup>	75,21±0,17 <sup>a</sup>	34,17±0,138 <sup>d</sup>	29,00±1,323 <sup>a</sup>
(AL 6 %, AL 12 h)	1,42±0,050 <sup>a</sup>	7,39±0,043 <sup>ab</sup>	75,06±0,04 <sup>a</sup>	34,50±0,055 <sup>cd</sup>	29,67±2,753 <sup>a</sup>
(AL 6 %, AL 24 h)	1,40±0,01 <sup>a</sup>	7,23±0,030 <sup>c</sup>	75,13±0,04 <sup>a</sup>	34,81±0,230 <sup>bc</sup>	28,33±1,258 <sup>a</sup>
(AL 8 %, AL 6 h)	1,39±0,032 <sup>a</sup>	7,28±0,020 <sup>bc</sup>	75,16±0,05 <sup>a</sup>	35,12±0,100 <sup>ab</sup>	28,33±0,289 <sup>a</sup>
(AL 8 %, AL 12 h)	1,41±0,040 <sup>a</sup>	7,26±0,049 <sup>c</sup>	75,27±0,13 <sup>a</sup>	35,09±0,008 <sup>ab</sup>	28,50±0,5 <sup>a</sup>
(AL 8 %, AL 24 h)	1,43±0,020 <sup>a</sup>	7,23±0,025 <sup>c</sup>	75,04±0,07 <sup>a</sup>	35,17±0,708 <sup>a</sup>	29,67±0,764 <sup>a</sup>
Testigo	1,43±0,026 <sup>a</sup>	7,48±0,025 <sup>a</sup>	75,10±0,10 <sup>a</sup>		

Resultado expresado como promedio ± SD, n = 3. Las letras en superíndice se lee en forma vertical. Medidas con diferente letra son significativamente diferente (p< 0,05).

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Caracterización del cáliz del aguaymanto

#### **Análisis físico morfológico del cáliz de aguaymanto**

Los promedios, diámetro longitudinal, ecuatorial y peso son promedio de peso es 0,22 g. Promedio longitudinal y ecuatorial es 41,92 y 29,27 mm respectivamente. Según revista. Luna azul, (2016), las dimensiones mayor y menor del capacho de uchuva son de 41 - 44 mm y 27 - 33 mm. Nuestros resultados se encontraron dentro de los parámetros mencionados por el autor.

### 5.2. Determinación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía ácida

#### **Espesor**

De acuerdo al análisis de los factores concentración y tiempo en cuanto al espesor del papel por vía ácida se encuentran por debajo de los parámetros que menciona el autor, como se puede mostrar en la Tabla 8.

Según Bublitz (1990), el espesor debe ser flexible con un espesor ideal 1,5 mm, entre los rangos de 1,4 a 1,8 mm.

#### **pH**

En cuanto al estudio realizado del nivel de pH con el ácido sulfúrico (vía ácida) ninguno de los tratamientos tiene un pH neutro como lo indica en el Tabla 8.

Según Pérez (2001), el pH define el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material. Los papeles de pH bajo (por debajo de 7) que son ácidos, se autodestruyen. Los papeles alcalinos (de pH 7 a 8,5 aproximado) tienen el mayor potencial de larga vida.

#### **Gramaje**

Se observó a mayor concentración y tiempo se encuentran mejor gramaje como se puede observar en la Tabla 8, estos resultados se encuentran dentro de los parámetros que menciona el autor.

Bublitz (1990) menciona, el gramaje debe ser no mayor a  $80 \text{ g/m}^2$  que se encuentren en los parámetros como mínimo  $71 \text{ g/m}^2$  y máximo a  $80 \text{ g/m}^2$ , debe ser flexible con un espesor ideal de 1,5 mm, la densidad del papel define el grado de performance que puede tener el papel.

Según Casey (1991), el contenido de humedad afecta al peso base del papel, depende de la humedad relativa del aire con el que está en contacto. Debido a que el gramaje o el peso base se expresa siempre como el peso total del papel incluyendo la humedad, debe determinarse el peso en condiciones estándar si se requiere que sea reproducible, la práctica comercial permite una variación del  $\pm 5$  por ciento del peso especificado. Según algunos estudios realizados la condición estándar utilizada en Estados Unidos es de una humedad relativa del 50 por ciento, con temperatura de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . En este trabajo de investigación no se controló estos parámetros sin embargo la humedad relativa en el lugar que se experimentó (Puno-Perú) es de aproximadamente 50 % y a una temperatura de 15 a 20 pc.

### **Contenido de celulosa**

De acuerdo al análisis de varianza de la deslignificación del cáliz con ácido sulfúrico (vía ácida) se encontraron porcentajes bajos de celulosa como se puede observar en la Tabla 8.

Según Condori (2010), el mayor contenido de celulosa antes de la floración en los tallos de totora obtuvo un valor de 78 %.

Según Casey (1990), para poder elaborar papel, el vegetal debe presentar como mínimo un 25 % de celulosa en su composición estructural.

Según Andrade (1998), atribuye a la mayor degradación que ocurre a pH bajos durante la etapa de cloración, lo que facilita la degradación del material no-celulósico y la separación de las fibras celulósicas. Este se corrobora con el hecho de que a bajos pH los valores de rendimiento de fibra cruda y de celulosa son muy cercanos. Los valores más altos de celulosa recuperada (27 %) se obtuvieron para las fibras de pinzote tratadas a pH de 8,4 y extracción con NaOH al 20 %, esto se podría deber a que estas fibras tuvieron un pretratamiento adicional, durante su obtención, para eliminar ceras y pectinas, mientras que los residuos de pseudotallo se utilizaron tal y como se obtuvieron.

La extracción de la paja por los dos métodos no presentó diferencia significativa. La media de fibra de celulosa fue 31,6 g y 3,9 % de coeficiente de variación (CV) de que indica buena precisión en la determinación de este parámetro; por lo tanto, la calidad del NaOH no afectó la cantidad de fibra de celulosa ni el rendimiento. La media de recuperación de la fibra de celulosa con ambos métodos fue de 39,5 %. Con el método a la sosa se obtuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, 1,39 g más en comparación con el método artesanal. Una posible explicación a este hecho fue el menor ataque del ácido sulfúrico e hidróxido de sodio grado reactivo del método a la sosa, cuya pulpa de celulosa se caracterizó por su color blanco y consistencia suave. Con el método artesanal el proceso de blanqueo obtuvo una pulpa de celulosa de color amarillo y de consistencia dura al tacto. El método a la sosa superó en rendimiento al método artesanal en 6,96.

### **Rendimiento**

Se evaluó el rendimiento del proceso de extracción de celulosa a partir de cáliz de aguaymanto, por vía ácida, observándose el mayor rendimiento en los tratamientos Ac 2 %, AC 10 min y AC 3 %, AC 20 min con 27,50 % y con menor rendimiento en el tratamiento AC 1 %, AC 15 min con 21,83.

Condori (2010) manifiesta el rendimiento de papel a base de totora con un porcentaje de 44,20 %.

El resultado obtenido se encuentra dentro del rango mencionado por el autor por la vía alcalina.

Jiménez (2017) reporta para residuos de cáscara y tallo de *Musa sapientum*. Estos autores obtuvieron rendimientos de 27 %. Por otra parte, obtuvieron rendimientos de pulpa de celulosa de jute de entre 36 a 46 % por método de pulpeo alcalino, en el cual utilizaron cargas de NaOH de 14 - 18 %, lo cual es un factor que influye directamente sobre el rendimiento de la pulpa de celulosa.



### **5.3. Determinación de las características físicas, contenido de celulosa y rendimiento de pulpa de papel a partir de cáliz de aguaymanto por vía alcalina**

#### **Espesor**

De acuerdo al análisis de los factores concentración y tiempo para el espesor del papel por vía alcalina se encuentran dentro de los parámetros de lo que menciona el autor, como se puede mostrar en la Tabla 11.

Según Bublitz (1990), el espesor debe ser flexible con un espesor ideal 1,5 mm, entre los rangos de 1,4 a 1,8 mm.

#### **pH**

En cuanto al estudio realizado del nivel de pH con hidróxido de sodio (vía alcalina) todos los tratamientos tienen un pH neutro como lo indica en la tabla 11.

Según Pérez (2001), el pH define el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material. Los papeles de pH bajo (por debajo de 7) que son ácidos, se autodestruyen. Los papeles alcalinos (de pH 7 a 8,5 aproximado) tienen el mayor potencial de larga vida.

#### **Gramaje**

Se observó a mayor concentración y tiempo se encuentran mejor gramaje como se puede observar en la Tabla 11, estos resultados se encuentran dentro de los parámetros que menciona el autor.

Bublitz (1990) menciona el gramaje debe ser no mayor a 80 g/m<sup>2</sup> que se encuentren en los parámetros como mínimo 71 g/m<sup>2</sup> y máximo a 80 g/m<sup>2</sup>, debe ser flexible con un espesor ideal de 1,5 mm, la densidad del papel define el grado de performance que puede tener el papel.

Según Casey (1991), el contenido de humedad afecta al peso base del papel, depende de la humedad relativa del aire con el que está en contacto. Debido a que el gramaje o el peso base se expresa siempre como el peso total del papel incluyendo la humedad, debe determinarse el peso en condiciones estándar si se requiere que sea reproducible, la práctica comercial permite una variación del  $\pm 5$  por ciento del peso especificado. Según algunos estudios realizados la condición estándar utilizada en Estados Unidos es de una humedad relativa del 50 por ciento, con temperatura de 23 °C. En este trabajo de investigación no se controló estos

parámetros sin embargo la humedad relativa en el lugar que se experimentó (Puno-Perú) es de aproximadamente 50 % y a una temperatura de 15 a 20 °C.

### **Contenido de celulosa**

De acuerdo al análisis de varianza de la deslignificación del cáliz con hidróxido de sodio (vía alcalina) para la elaboración de papel se encontraron porcentajes aceptables de celulosa, considerando que a mayor concentración y tiempo mayor porcentaje de celulosa, como se puede observar en la Tabla 11.

Según Condori (2010), el mayor contenido de celulosa antes de la floración en los tallos de totora obtuvo un valor de 78 %.

Según Casey (1990), para poder elaborar papel, el vegetal debe presentar como mínimo un 25 % de celulosa en su composición estructural.

Según Andrade (1998), atribuye a la mayor degradación que ocurre a pH bajos durante la etapa de cloración, lo que facilita la degradación del material no-celulósico y la separación de las fibras celulósicas. Este se corrobora con el hecho de que a bajos pH los valores de rendimiento de fibra cruda y de celulosa son muy cercanos. Los valores más altos de celulosa recuperada (27 %) se obtuvieron para las fibras de pinzote tratadas a pH de 8,4 y extracción con NaOH al 20 %, esto se podría deber a que estas fibras tuvieron un pretratamiento adicional, durante su obtención, para eliminar ceras y pectinas, mientras que los residuos de pseudotallo se utilizaron tal y como se obtuvieron.

La extracción de la paja por los dos métodos no presentó diferencia significativa La media de fibra de celulosa fue 31,6 g y 3,9 % de coeficiente de variación (CV) de que indica buena precisión en la determinación de este parámetro; por lo tanto, la calidad del NaOH no afectó la cantidad de fibra de celulosa ni el rendimiento. La media de recuperación de la fibra de celulosa con ambos métodos fue de 39,5 %. Con el método a la sosa se obtuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, 1,39 g más en comparación con el método artesanal. Una posible explicación a este hecho fue el menor ataque del ácido sulfúrico e hidróxido de sodio grado reactivo del método a la sosa, cuya pulpa de celulosa se caracterizó por su color blanco y consistencia suave. Con el método artesanal el proceso de blanqueo

obtuvo una pulpa de celulosa de color amarillo y de consistencia dura al tacto. El método a la sosa superó en rendimiento al método artesanal en 6,96.

### **Rendimiento**

Se evaluó el rendimiento del proceso de extracción de celulosa a partir de cáliz de aguaymanto, por vía alcalina, se observa a mayor rendimiento en los tratamientos AL 4 %, AL 12 h con 30,17 % y con menor AL 4 %, AL 24 h con 27,17 %

Condori (2010) manifiesta el rendimiento de papel a base de totora con un porcentaje de 44,20 %.

El resultado obtenido se encuentra dentro del rango mencionado por el autor por la vía alcalina.

Jiménez (2017) menciona para residuos de cáscara y tallo de *Musa sapientum*. Estos autores obtuvieron rendimientos de 27 %. Por otra parte, obtuvieron rendimientos de pulpa de celulosa de jute de entre 36 a 46 % por método de pulpeo alcalino, en el cual utilizaron cargas de NaOH de 14 - 18 %, lo cual es un factor que influye directamente sobre el rendimiento de la pulpa de celulosa.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- La caracterización del cáliz de aguaymanto, con los valores obtenidos de peso, diámetro longitudinal y diámetro ecuatorial, se pudo clasificar de forma uniforme.
- Las características físicas de espesor, pH, gramaje, contenido de celulosa y rendimiento por vía ácida los resultados obtenidos en cuanto al gramaje por el método los mejores tratamientos (AC 3 % AC 10 min, AC 3 %, AC 15 min, AC 3 %, AC 20 min ), en cuanto a la celulosa los mejores tratamientos (AC 3 % AC 10 min, AC 3 %, AC 15 min, AC 3 %, AC 20 min ) en cuanto al rendimiento los mejores tratamientos ( AC 2 %, AC 10 min, AC 2 %, AC 15 min, AC 2 %, AC 20 min, AC 3 %, 15 min, AC 3 %, AC 20 min)
- Las características físicas de espesor, pH, gramaje, contenido de celulosa y rendimiento. Por vía alcalina se obtuvieron mejores resultados en comparación por la vía ácida, en cuanto al pH los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos (AL 4 %, 12 h, AL 6 %, AL 6 h), en cuanto al contenido de celulosa el tratamiento (AL 8 %, AL 24 h) es que muestra mayor deslignificado, siendo la concentración de NaOH el factor más influyente; los mejores resultados en cuanto al rendimiento se obtuvieron en todos los tratamientos.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Realizar investigación acerca de la obtención de papel o cartón a partir de otros productos no madereros, ya que estos recursos no son aprovechables.

Realizar investigación en relación a la obtención de pulpa de papel haciendo uso de enzimas para la deslignificación.

Diseñar un equipo para el procesamiento del papel a nivel de laboratorio ya que se tuvo mayores dificultades en el proceso.

Realizar estudios respecto a los residuos de deslignificación, ya que se encuentran diluida en gran parte la lignina y este podría ser muy bien aprovechada.

## VIII. LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2000). International: "Official Methods of Analysis". 17ed. Gaithersburg, USA.
- Aguilar, N., Etal. (2014). Papel amate de pulpa de café (coffea arabica) – México
- Andrade, B. (1998). Efecto de las condiciones de proceso de obtención de celulosa sobre sus propiedades fisicoquímicas. México
- Avalos, C. (2008). Aguaymanto fruto peruano que conquista el mundo. Biodiversidad.
- Bublitz, W. (1990). Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química - México.
- Calvo, I. (2009). El cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana*). Manejo integrado de cultivos/frutales de altura. Costa Rica.
- Casey, J. (1991). Pulpa de papel química y tecnológica química. Mexico.
- Camasi, P., Quintas, J. (2016). Efecto de tres dosis de ácidos húmicos en tres distanciamientos de siembra en el rendimiento del cultivo del aguaymanto (*physalis peruviana* L.) en condiciones de Azángaro
- Chambi, K., Cancapa, M. (2012). Determinación de parámetros del equipo refinador de pasta para la obtención de papel kraft a partir de tallos de quinua (*chenopodium quinoa willd.*)
- Chuai, C., Almda, K., Poulsen, L; Y Plackett, D. (2001). La Celulosa y Sus Aplicaciones Industriales. Concepción – Argentina.
- Delgado, M., Uribe, S. (2017). Determinación de la concentración de sosa cáustica, tiempo de cocción y tamaño de partícula, en la obtención de pulpa para la fabricación de papel a partir de hojas de la caña de azúcar.
- Condori, D. (2010). Evaluación de las propiedades físicas químicas y ópticas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora (*schoenoplectus totora*).
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. y Weigend, M. (2011). Hoja Botánica: *Physalis Peruviana* L. Universidad Nacional de San Marcos. Primera Edición. Perú.
- Espinoza, J., Herrera, M. (2015). Determination of technological parameters for the preparation of a functional aguaymanto nectar (*physalis peruviana* L.) with syrup yacon (*smallanthus shonchifolia*).

- Espinoza, R. (2016). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de aguaymanto deshidratado en la provincia de celendín fermentación del zumo de aguaymanto (*physalis peruviana* L.).
- Gala, H. (2017). Efecto de la concentración de stevia (*stevia rebaudiana*) en las características fisicoquímicas y sensoriales del néctar mixto de aguaymanto (*physalis peruviana* L.) con mashua (*tropaeolum tuberosum*).
- Gonzales, K., Daza, D; Caballero, P (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. España.
- Guerrero, Rojas, J. (2016). Adaptación Y Rendimiento De Cinco Ecotipos de Aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.) en la Parte Media del Valle Chancay, Lambayeque.
- Jiménez, L., López, F., Alejos, J. (2006). Materias primas alternativas para pastas de papel. Tipos, características, procesos y situación mundial. Ingeniería Química. México.
- Jimenez, E. (2017). "Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de agavaceas: potencial elaboración de papel tipo artesanal".
- León, C., Fuente, M. (2012). Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala levadura *saccharomyces cerevisiae*.
- May, A. (2009). Aplicaciones usos y manejo del cloro. orizaba-veracruz.
- Mignoni, G. (1992) propuesta de una iniciativa de plantas con celulosa. México.
- McGinnis, G., Shafizadeh, F. (1991). Celulosa y hemicelulosa en pulpa de papel. Química y tecnología química 3<sup>era</sup> edición. Mexico.
- Navarro. (2015). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta industrial de envasado de aguaymanto (*physis peruviana* L.) fresco, en Ayacucho.
- Peña, R., Cortés, M; Gil, J. (2012). Estabilidad Fisicoquímica y Funcional de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) Impregnada a Vacío con Calcio y Vitaminas B9, D y E, Durante el almacenamiento refrigerado.
- Pérez, M. (2001). Tipos de papel utilizados para un envase. España.
- Pillpa, A. (2012). Modelación del deterioro fisicoquímico de la conserva de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en almíbar. Tesis para optar el título

- profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú.
- Poma, (2016). Efecto de tres niveles de concentración
- Quihue, J. (2014). "Obtención de fibras a partir de raquis de plátano para la producción de pulp de papel"
- Ríos, A. (2017). Producción de papel artesanal a partir de residuos de cáscaras de naranja de las Juguerías del mercado.
- Rodríguez, A., Lorient, D. (2008). Obtención de papel de residuos de la industria del aceite de palma refinada de pasta a la sosa. Cordova- España
- Roncero, B. (2001). Obtención de una secuencia TCF con la aplicación de ozono y enzimas, para el blanqueo de pastas de madera y de origen agrícola. Terressa-España.
- Simbaña, A. (2001). Usos y aprovechamiento actual de la totora (*schoenoplectus californicus*) en Imbabura- Ecuador
- Sbarbaro, (2004). Aplicación de una lacasa para blanqueo de pasta kraft de eucaliptus glóbulos (labill).
- Tenesaca, J& Rocio, E. (2011). Evaluación nutricional de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas (Bachelor's thesis).
- Velasquez, M., Mestanza, L. (2003). Manejo agronomico del aguaymanto (*physalis peruviana* L.). Cajamarca- Peru.



## IX. ANEXO

### Anexo a1. Caracterización de la materia prima

<b>N°</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>Diámetro longitudinal</b>	<b>Diámetro ecuatorial</b>
1	0,12	33,9	23,3
2	0,37	45,9	34,0
3	0,39	51,9	33,5
4	0,30	40,4	34,2
5	0,31	45,5	31,6
6	0,24	43,1	31,5
7	0,15	41,9	27,6
8	0,17	38,3	26,5
9	0,26	46,3	37,2
10	0,13	37,0	22,5
11	0,15	38,7	24,3
12	0,25	43,3	29,4
13	0,21	48,5	30,3
14	0,14	43,7	28,2
15	0,18	30,7	25,0
Promedio	0,22	41,94	29,27
Des est	0,0087	5,58	4,43

## VÍA ACIDA

### Anexo b1. Datos de análisis espesor de papel de cáliz de aguaymanto

N°	Tratamiento	Concentración	Tiempo	Espesor mm
1	1	1	1	1,2
2	1	1	1	1,34
3	1	1	1	1,23
4	2	1	2	1,33
5	2	1	2	1,32
6	2	1	2	1,35
7	3	1	3	1,36
8	3	1	3	1,3
9	3	1	3	1,37
10	4	2	1	1,32
11	4	2	1	1,3
12	4	2	1	1,25
13	5	2	2	1,28
14	5	2	2	1,3
15	5	2	2	1,32
16	6	2	3	1,25
17	6	2	3	1,27
18	6	2	3	1,23
19	7	3	1	1,36
20	7	3	1	1,38
21	7	3	1	1,35
22	8	3	2	1,3
23	8	3	2	1,28
24	8	3	2	1,36
25	9	3	3	1,35
26	9	3	3	1,34
27	9	3	3	1,29
28	0			1,45
29	0			1,44
30	0			1,4

**Anexo c1.** Datos de análisis pH de papel de cáliz de aguaymanto

N°	Tratamiento	Concentración	Tiempo	pH
1	1	1	1	6,11
2	1	1	1	6,14
3	1	1	1	6,18
4	2	1	2	6,2
5	2	1	2	6,18
6	2	1	2	6,16
7	3	1	3	6,23
8	3	1	3	6,21
9	3	1	3	6,24
10	4	2	1	6,3
11	4	2	1	6,26
12	4	2	1	6,31
13	5	2	2	6,32
14	5	2	2	6,35
15	5	2	2	6,32
16	6	2	3	6,84
17	6	2	3	6,74
18	6	2	3	6,89
19	7	3	1	6,9
20	7	3	1	6,84
21	7	3	1	6,87
22	8	3	2	6,56
23	8	3	2	6,57
24	8	3	2	6,8
25	9	3	3	6,83
26	9	3	3	6,59
27	9	3	3	6,75
28	0			7,45
29	0			7,5
30	0			7,48

**Anexo d1. Datos análisis gramaje de papel de cáliz de aguaymanto**

N°	Tramamiento	[ ] de H2SO4	Tiempo	Gramaje
1	1	1	10	72,134
2	1	1	10	73,458
3	1	1	10	73,456
4	2	1	15	73,423
5	2	1	15	73,423
6	2	1	15	73,124
7	3	1	20	73,231
8	3	1	20	73,254
9	3	1	20	73,123
10	4	2	10	73,576
11	4	2	10	73,465
12	4	2	10	73,423
13	5	2	15	73,423
14	5	2	15	73,987
15	5	2	15	73,789
16	6	2	20	74,324
17	6	2	20	74,213
18	6	2	20	74,324
19	7	3	10	74,325
20	7	3	10	74,387
21	7	3	10	75,432
22	8	3	15	75,125
23	8	3	15	75,014
24	8	3	15	75,025
25	9	3	20	74,973
26	9	3	20	74,658
27	9	3	20	75,032
28	0			75
29	0			75,1
30	0			75,2

**Anexo e1.** Datos análisis contenido de celulosa de papel de cáliz de aguaymanto

N°	Tratamiento	[] de		% celulosa
		H2SO4	Tiempo	
1	1	1	10	16,935
2	1	1	10	16,453
3	1	1	10	16,788
4	2	1	15	17,358
5	2	1	15	17,451
6	2	1	15	17,095
7	3	1	20	17,085
8	3	1	20	17,453
9	3	1	20	17,537
10	4	2	10	19,998
11	4	2	10	19,335
12	4	2	10	19,094
13	5	2	15	20,122
14	5	2	15	20,245
15	5	2	15	20,095
16	6	2	20	20,452
17	6	2	20	20,524
18	6	2	20	20,335
19	7	3	10	22,955
20	7	3	10	22,678
21	7	3	10	22,901
22	8	3	15	23,145
23	8	3	15	23,095
24	8	3	15	23,281
25	9	3	20	23,231
26	9	3	20	23,145
27	9	3	20	23,095

**Anexo f1. Datos análisis rendimiento**

Tratamiento	[ ] de H2SO4	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	
t1	1	10	20	4,9	24,5
t2	1	10	20	4,5	22,5
t3	1	10	20	4,7	23,5
t4	1	15	20	4,3	21,5
t5	1	15	20	4,1	20,5
t6	1	15	20	4,7	23,5
t7	1	20	20	5,2	26
t8	1	20	20	5,8	29
t9	1	20	20	5,1	25,5
t10	2	10	20	5,8	29
t11	2	10	20	5,3	26,5
t12	2	10	20	5,4	27
t13	2	15	20	5,2	26
t14	2	15	20	5,7	28,5
t15	2	15	20	5,3	26,5
t16	2	20	20	5,2	26
t17	2	20	20	5,6	28
t18	2	20	20	5,5	27,5
t19	3	10	20	5,3	26,5
t20	3	10	20	5,4	26
t21	3	10	20	5,4	26
t22	3	15	20	5,6	28
t23	3	15	20	5,3	26,5
t24	3	15	20	5,4	27
t25	3	20	20	5,3	26,5
t26	3	20	20	5,7	28,5
t27	3	20	20	5,5	27,5

## VÍA ALCALINA

### Anexo b2. Datos de análisis espesor de papel de cáliz de aguaymanto

N°	Tratamiento	Concentración	Tiempo	Espesor
1	1	1	1	1,40
2	1	1	1	1,42
3	1	1	1	1,45
4	2	1	2	1,39
5	2	1	2	1,40
6	2	1	2	1,42
7	3	1	3	1,38
8	3	1	3	1,44
9	3	1	3	1,42
10	4	2	1	1,43
11	4	2	1	1,45
12	4	2	1	1,43
13	5	2	2	1,48
14	5	2	2	1,42
15	5	2	2	1,38
16	6	2	3	1,39
17	6	2	3	1,41
18	6	2	3	1,40
19	7	3	1	1,38
20	7	3	1	1,37
21	7	3	1	1,43
22	8	3	2	1,37
23	8	3	2	1,45
24	8	3	2	1,42
25	9	3	3	1,43
26	9	3	3	1,45
27	9	3	3	1,41
28	0			1,45
29	0			1,44
30	0			1,40

**Anexo c2. Datos de análisis pH de papel de cáliz de aguaymanto**

N°	Ttratamiento	[ ] de NaOH	Tiempo	pH
1	1	4	6	7,4
2	1	4	6	7,47
3	1	4	6	7,31
4	2	4	12	7,43
5	2	4	12	7,42
6	2	4	12	7,45
7	3	4	24	7,36
8	3	4	24	7,37
9	3	4	24	7,34
10	4	6	6	7,4
11	4	6	6	7,54
12	4	6	6	7,46
13	5	6	12	7,34
14	5	6	12	7,42
15	5	6	12	7,41
16	6	6	24	7,26
17	6	6	24	7,2
18	6	6	24	7,24
19	7	8	6	7,3
20	7	8	6	7,26
21	7	8	6	7,27
22	8	8	12	7,28
23	8	8	12	7,2
24	8	8	12	7,29
25	9	8	24	7,26
26	9	8	24	7,21
27	9	8	24	7,23
28	0			7,45
29	0			7,5
30	0			7,48



**Anexo d2.** Datos análisis gramaje de papel de cáliz de aguaymanto

N°	Tratamiento	Concentración	Tiempo	Gramaje
1	1	1	1	75,24
2	1	1	1	75,48
3	1	1	1	75,32
4	2	1	2	75,43
5	2	1	2	75,12
6	2	1	2	75,13
7	3	1	3	75,09
8	3	1	3	75,46
9	3	1	3	75,32
10	4	2	1	75,34
11	4	2	1	75,28
12	4	2	1	75,01
13	5	2	2	75,02
14	5	2	2	75,07
15	5	2	2	75,10
16	6	2	3	75,11
17	6	2	3	75,11
18	6	2	3	75,17
19	7	3	1	75,13
20	7	3	1	75,13
21	7	3	1	75,22
22	8	3	2	75,36
23	8	3	2	75,32
24	8	3	2	75,12
25	9	3	3	75,32
26	9	3	3	75,44
27	9	3	3	75,46
28	0			75,00
29	0			75,10
30	0			75,20

**Anexo e2.** Datos de análisis contenido de celulosa de la pulpa de papel del cáliz de aguaymanto

N°	Tratamiento	Concentración	Tiempo	Celulosa
1	1	1	1	32,438
2	1	1	1	32,356
3	1	1	1	32,467
4	2	1	2	32,764
5	2	1	2	32,456
6	2	1	2	32,586
7	3	1	3	32,598
8	3	1	3	32,654
9	3	1	3	32,453
10	4	2	1	34,265
11	4	2	1	34,012
12	4	2	1	34,234
13	5	2	2	34,489
14	5	2	2	34,564
15	5	2	2	34,457
16	6	2	3	34,897
17	6	2	3	34,978
18	6	2	3	34,545
19	7	3	1	35,124
20	7	3	1	35,214
21	7	3	1	35,014
22	8	3	2	35,085
23	8	3	2	35,099
24	8	3	2	35,085
25	9	3	3	35,108
26	9	3	3	35,245
27	9	3	3	35,145

**Anexo f2. Datos de análisis de rendimiento**

N°	Tratamiento	[] de		Peso		Rendimiento
		NaOH	Tiempo	Inicial	Final	
1	t1	4	6	20	5,3	26,5
2	t2	4	6	20	5,9	29,5
3	t3	4	6	20	5,5	27,5
4	t4	4	12	20	6,4	32
5	t5	4	12	20	5,9	29,5
6	t6	4	12	20	5,8	29
7	t7	4	24	20	5,3	26,5
8	t8	4	24	20	5,9	29,5
9	t9	4	24	20	5,1	25,5
10	t10	6	6	20	6,1	30,5
11	t1	6	6	20	5,6	28
12	t12	6	6	20	5,7	28,5
13	t13	6	12	20	5,3	26,5
14	t14	6	12	20	6,2	31
15	t15	6	12	20	6,3	31,5
16	t16	6	24	20	5,9	29,5
17	t17	6	24	20	5,7	28,5
18	t18	6	24	20	5,4	27
19	t19	8	6	20	5,7	28,5
20	t20	8	6	20	5,6	28
21	t21	8	6	20	5,7	28,5
22	t22	8	12	20	5,8	29
23	t23	8	12	20	5,7	28,5
24	t24	8	12	20	5,6	28
25	t25	8	24	20	5,8	29
26	t26	8	24	20	6,1	30,5
27	t27	8	24	20	5,9	29,5

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO: VÍA ÁCIDA

### Anexo b3. Análisis estadístico espesor

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Espesor

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,035 <sup>a</sup>	8	,004	3,240	,018
Intersección	46,230	1	46,230	34104,068	,000
Concentración	,013	2	,007	4,954	,019
Tiempo	,001	2	,000	,265	,770
Concentración *	,021	4	,005	3,872	,019
Tiempo					
Error	,024	18	,001		
Total	46,290	27			
Total corregido	,060	26			

a. R al cuadrado = ,590 (R al cuadrado ajustada = ,408)

#### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Espesor

Concentración	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1% Contraste	,013	2	,007	4,975	,019
Error	,024	18	,001		
2% Contraste	,004	2	,002	1,549	,239
Error	,024	18	,001		
3% Contraste	,004	2	,002	1,484	,253
Error	,024	18	,001		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

## Pruebas univariadas

Variable dependiente: Espesor

Tiempo		Suma de		Media		F	Sig.
		cuadrados	gl	cuadrática			
10 min	Contraste	,018	2	,009		6,590	,007
	Error	,024	18	,001			
15 min	Contraste	,002	2	,001		,623	,548
	Error	,024	18	,001			
20 min	Contraste	,015	2	,007		5,484	,014
	Error	,024	18	,001			

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### EQUIVALENTE A ESPESOR

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto
		1
10 min	9	1,3033
20 min	9	1,3067
15 min	9	1,3156
Sig.		,764

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

### EQUIVALEN A ESPESOR

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto	
		1	2
2%	9	1,2800	
1%	9	1,3111	1,3111
3%	9		1,3344
Sig.		,200	,390

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

### EQUIVALENTE A ESPESOR CON EL TESTIGO

HSD Tukey<sup>a</sup>

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T6	3	1,2500		
T1	3	1,2567		
T4	3	1,2900	1,2900	
T5	3	1,3000	1,3000	
T8	3	1,3133	1,3133	
T9	3	1,3267	1,3267	1,3267
T2	3	1,3333	1,3333	1,3333
T3	3	1,3433	1,3433	1,3433
T7	3		1,3633	1,3633
TESTIGO	3			1,4300
Sig.		,101	,325	,052

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

### Anexo c3. Análisis estadístico pH

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: pH

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,043 <sup>a</sup>	8	,255	53,499	,000
Intersección	1130,244	1	1130,244	236746,28	,000
Concentración	1,424	2	,712	149,148	,000
Tiempo	,209	2	,105	21,917	,000
Concentración *	,410	4	,102	21,465	,000
Tiempo					
Error	,086	18	,005		
Total	1132,374	27			
Total corregido	2,129	26			

a. R al cuadrado = ,960 (R al cuadrado ajustada = ,942)

#### Pruebas univariadas

Variable dependiente: pH

Concentración		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
[1%]	Contraste	,010	2	,005	1,096	,355
	Error	,086	18	,005		
[2%]	Contraste	,529	2	,265	55,448	,000
	Error	,086	18	,005		
[ 3%]	Contraste	,079	2	,040	8,304	,003
	Error	,086	18	,005		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: pH

Tiempo		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
10 min	Contraste	,886	2	,443	92,788	,000
	Error	,086	18	,005		
15 min	Contraste	,335	2	,168	35,123	,000
	Error	,086	18	,005		
20 min	Contraste	,613	2	,306	64,168	,000
	Error	,086	18	,005		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

#### HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto		
		1	2	3
[1%]	9	6,1833		
[2%]	9		6,4811	
[ 3%]	9			6,7456
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,005.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.



HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
15 min	9	6,3844	
10 min	9	6,4344	
20 min	9		6,5911
Sig.		,299	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,005.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

**EQUIVALENTE CON EL TESTIGO**

HSD Tukey<sup>a</sup>

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
T1	3	6,1433			
T2	3	6,1800			
T3	3	6,2267			
T4	3	6,2900			
T5	3	6,3300			
T8	3		6,6433		
T9	3		6,7233	6,7233	
T6	3		6,8233	6,8233	
T7	3			6,8700	
TESTIGO	3				7,4767
Sig.		,059	,075	,230	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

### Anexo d3. Análisis estadístico gramaje

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Gramaje

Origen	Tipo III de suma		Media		
	de cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	14,637 <sup>a</sup>	8	1,830	14,427	,000
Intersección	147721,937	1	147721,937	1164769,17	,000
Concentración	13,315	2	6,657	52,493	,000
Tiempo	,737	2	,368	2,904	,081
Concentración * tiempo	,586	4	,147	1,155	,363
Error	2,283	18	,127		
Total	147738,857	27			
Total corregido	16,920	26			

a. R al cuadrado = ,865 (R al cuadrado ajustada = ,805)

#### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Gramaje

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
[1%]	Contraste	,144	2	,072	,567	,577
	Error	2,283	18	,127		
[2%]	Contraste	1,005	2	,503	3,963	,037
	Error	2,283	18	,127		
[3%]	Contraste	,173	2	,087	,684	,517
	Error	2,283	18	,127		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas

pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Gramaje

Tiempo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
10,00	Contraste	4,613	2	2,306	18,186	,000
	Error	2,283	18	,127		
15,00	Contraste	4,912	2	2,456	19,366	,000
	Error	2,283	18	,127		
20,00	Contraste	4,376	2	2,188	17,251	,000
	Error	2,283	18	,127		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto		
		1	2	3
[1%]	9	73,1807		
[2%]	9		73,8360	
[3%]	9			74,8857
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,127.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.  
 b. Alfa = 0.05.

HSD Tukey <sup>a,b</sup>		
Tiempo	N	Subconjunto 1
10,00	9	73,7396
15,00	9	74,0370
20,00	9	74,1258
Sig.		,081

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,127.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.  
 b. Alfa = 0.05.

### EQUIVALENTE CON EL TESTIGO

HSD Tukey <sup>a</sup>				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
t1	3	73,0160		
t3	3	73,2027		
t2	3	73,3233	73,3233	
t4	3	73,4880	73,4880	
t5	3	73,7330	73,7330	
t6	3		74,2870	74,2870
t7	3			74,7147
t9	3			74,8877
t8	3			75,0547
t0	3			75,1000

Sig. ,284 ,057 ,160

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

### Anexo e3. Análisis estadístico contenido de celulosa

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Celulosa

Origen	Tipo III de		Media		
	suma de	gl	cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	160,685 <sup>a</sup>	8	20,086	427,239	,000
Intersección	10875,371	1	10875,371	231329,623	,000
Concentración	158,278	2	79,139	1683,367	,000
Tiempo	2,082	2	1,041	22,146	,000
Concentración * tiempo	,324	4	,081	1,722	,189
Error	,846	18	,047		
Total	11036,902	27			
Total corregido	161,531	26			

a. R al cuadrado = ,995 (R al cuadrado ajustada = ,992)

#### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Celulosa

		Suma de	gl	Media	F	Sig.
		cuadrados		cuadrática		
[1%]	Contraste	,736	2	,368	7,825	,004
	Error	,846	18	,047		
[2%]	Contraste	1,464	2	,732	15,574	,000
	Error	,846	18	,047		
[3%]	Contraste	,206	2	,103	2,192	,141
	Error	,846	18	,047		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Celulosa

		Suma de	gl	Media	F	Sig.
Tiempo		cuadrados		cuadrática		
10 min	Contraste	56,361	2	28,180	599,424	,000
	Error	,846	18	,047		
15 min	Contraste	51,740	2	25,870	550,284	,000
	Error	,846	18	,047		
20 min	Contraste	50,501	2	25,251	537,104	,000
	Error	,846	18	,047		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto		
		1	2	3
[1%]	9	17,1283		
[2%]	9		20,0222	
[3%]	9			23,0584
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,047.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
10 min	9	19,6819	
15 min	9		20,2097
20 min	9		20,3174
Sig.		1,000	,553

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,047.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

### EQUIVALENTE A LA COMBINACIÓN

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
t1	3	16,7253				
t2	3	17,3013	17,3013			
t3	3		17,3583			
t4	3			19,4757		
t5	3				20,1540	
t6	3				20,4370	
t7	3					22,8447
t9	3					23,1570

t8	3				23,1737
Sig.	,081	1,000	1,000	,794	,647

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

### Anexo f3. Análisis estadístico rendimiento

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,063 <sup>a</sup>	8	,008	4,182	,006
Intersección	3,771	1	3,771	2012,018	,000
CONCENTRACIÓN	,001	2	,000	,150	,862
TIEMPO	,051	2	,026	13,668	,000
CONCENTRACIÓN * TIEMPO	,011	4	,003	1,455	,257
Error	,034	18	,002		
Total	3,867	27			
Total corregido	,096	26			

a. R al cuadrado = .650 (R al cuadrado ajustada = .495)

#### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Rendimiento

Concentración		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
[1 %]	Contraste	38,889	2	19,444	13,291	,000
	Error	26,333	18	1,463		
[2 %]	Contraste	,389	2	,194	,133	,876
	Error	26,333	18	1,463		
[3 %]	Contraste	2,889	2	1,444	,987	,392



Error	26,333	18	1,463
-------	--------	----	-------

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Rendimiento

Tiempo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
10 min	Contraste	24,889	2	12,444	8,506	,003
	Error	26,333	18	1,463		
15 min	Contraste	55,167	2	27,583	18,854	,000
	Error	26,333	18	1,463		
20 min	Contraste	,667	2	,333	,228	,799
	Error	26,333	18	1,463		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto	
		1	2
[1 %]	9	24,0556	
[3 %]	9		26,9444
[2 %]	9		27,2222
Sig.		1,000	,878

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,463.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica  
= 9,000.

b. Alfa = 0.05

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
15 min	9	25,3333	
10 min	9	25,7222	25,7222
20 min	9		27,1667
Sig.		,777	,052

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,463.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

### EQUIVALENTE A LA COMBINACIÓN

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
t2	3	21,8333		
t1	3	23,5000	23,5000	
t7	3		26,1667	26,1667
t3	3		26,8333	26,8333
t5	3			27,0000
t6	3			27,1667
t8	3			27,1667
t4	3			27,5000
t9	3			27,5000
Sig.		,746	,064	,902

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

### Análisis estadístico: Vía alcalina

#### Anexo b4. Análisis estadístico espesor

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Espesor

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,005 <sup>a</sup>	8	,001	,766	,63
Intersección	54,103	1	54,103	63789	,00
TIEMPO	6,667E-5	2	3,333E-5	,039	,96
CONCENTRACIÓN	,000	2	,000	,249	,78
TIEMPO *	,005	4	,001	1,389	,27
CONCENTRACIÓN					
Error	,015	18	,001		
Total	54,123	27			
Total corregido	,020	26			

a. R al cuadrado = ,254 (R al cuadrado ajustada = -,077)

#### Pruebas univariadas

Variable dependiente: ESPESOR

CONCENTRACIÓN		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
[4 %]	Contraste	,001	2	,000	,354	,707
	Error	,015	18	,001		
[6%]	Contraste	,002	2	,001	1,271	,305
	Error	,015	18	,001		
[8%]	Contraste	,002	2	,001	1,192	,326
	Error	,015	18	,001		

Cada F prueba los efectos sencillos de TIEMPO dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Espesor

		Suma de		Media		
TIEMPO		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
6 HORAS	Contraste	,003	2	,001	1,742	,203
	Error	,015	18	,001		
12	Contraste	,001	2	,000	,485	,624
HORAS	Error	,015	18	,001		
24	Contraste	,001	2	,001	,799	,465
HORAS	Error	,015	18	,001		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas

### HSD Tukey<sup>a,b</sup>

CONCENTRACIÓN	N	Subconjunto
[8%]	9	1,4122
[4 %]	9	1,4133
[6%]	9	1,4211
Sig.		,796

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

TIEMPO	N	Subconjunto 1
12 HORAS	9	1,4144
24 HORAS	9	1,4144
6 HORAS	9	1,4178
Sig.		,968

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
Se basa en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

**EQUIVALENTE CON EL TESTIGO**

HSD Tukey<sup>a</sup>

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05 1
T7	3	1,3933
T6	3	1,4000
T2	3	1,4033
T3	3	1,4133
T8	3	1,4133
T1	3	1,4233
T5	3	1,4267
TESTIGO	3	1,4300
T9	3	1,4300
T4	3	1,4367
Sig.		,706

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

**Anexo c4. Análisis estadístico pH**

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: pH

Origen	Tipo III de		Media		
	suma de	gl	cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,192 <sup>a</sup>	8	,024	11,898	,000

Intersección	1453,761	1	1453,761	720211,64	,000
Concentración	,096	2	,048	23,686	,000
Tiempo	,056	2	,028	13,811	,000
Concentración *	,041	4	,010	5,048	,007
tiempo					
Error	,036	18	,002		
Total	1453,989	27			
Total corregido	,228	26			

a. R al cuadrado = ,841 (R al cuadrado ajustada = ,770)

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: pH

		Suma de	Media			
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
[4%]	Contraste	,009	2	,004	2,185	,141
	Error	,036	18	,002		
[6%]	Contraste	,085	2	,042	21,022	,000
	Error	,036	18	,002		
[8%]	Contraste	,003	2	,001	,699	,510
	Error	,036	18	,002		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: pH

		Suma de	Media			
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
6 horas	Contraste	,055	2	,028	13,646	,000
	Error	,036	18	,002		
12 horas	Contraste	,051	2	,025	12,600	,000
	Error	,036	18	,002		
24 horas	Contraste	,030	2	,015	7,536	,004
	Error	,036	18	,002		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto	
		1	2
[8%]	9	7,2556	
[6%]	9		7,3633
[4%]	9		7,3944
Sig.		1,000	,329

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,002.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
24 horas	9	7,2744	
12 horas	9		7,3600
6 horas	9		7,3789
Sig.		1,000	,652

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,002.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

**EQUIVALENTE A pH CON EL TESTIGO**

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
t9	3	7,2333		
t6	3	7,2333		
t8	3	7,2567		
t7	3	7,2767	7,2767	

t3	3	7,3567	7,3567	7,3567
t5	3		7,3900	7,3900
t1	3		7,3933	7,3933
t2	3			7,4333
t4	3			7,4667
Testigo	3			7,4767
Sig.		,056	,081	,068

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

#### Anexo d4. Análisis estadístico gramaje

##### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Gramaje

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1347,105 <sup>a</sup>	8	168,388	,980	,482
Intersección	142758,669	1	142758,669	830,442	,000
Concentración	336,631	2	168,316	,979	,395
Tiempo	336,957	2	168,479	,980	,394
Concentración * tiempo	673,516	4	168,379	,979	,443
Error	3094,323	18	171,907		
Total	147200,097	27			
Total corregido	4441,427	26			

a. R al cuadrado = ,303 (R al cuadrado ajustada = -,006)

##### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Gramaje

		Suma de	gl	Media	F	Sig.
		cuadrados		cuadrática		
[4%]	Contraste	,021	2	,011	,000	1,000
	Error	3094,323	18	171,907		
[6%]	Contraste	,033	2	,016	,000	1,000
	Error	3094,323	18	171,907		
[8%]	Contraste	1010,419	2	505,210	2,939	,079
	Error	3094,323	18	171,907		



Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Gramaje

		Suma de		Media		
Tiempo		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
6 horas	Contraste	,057	2	,028	,000	1,000
	Error	3094,323	18	171,907		
12 horas	Contraste	,071	2	,036	,000	1,000
	Error	3094,323	18	171,907		
24 horas	Contraste	1010,019	2	505,010	2,938	,079
	Error	3094,323	18	171,907		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto
24 horas	9	1 67,7183
12 horas	9	75,1861
6 horas	9	75,2382
Sig.		,459

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 171,907.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto 1
[8%]	9	67,7214
[6%]	9	75,1341
[4%]	9	75,2871
Sig.		,455

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 171,907.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

**EQUIVALENTE CON EL TESTIGO**

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05 1
t9	3	52,7370
t5	3	75,0627
t0	3	75,1000
t6	3	75,1297
t7	3	75,1583
t4	3	75,2100
t2	3	75,2267
t8	3	75,2690
t3	3	75,2883
t1	3	75,3463
Sig.		,472

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

## Anexo e4. Análisis estadístico contenido de celulosa

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Celulosa

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	33,618 <sup>a</sup>	8	4,202	295,111	,000
Intersección	31302,642	1	31302,642	2198299,26	,000
Concentración	32,945	2	16,473	1156,820	,000
Tiempo	,350	2	,175	12,299	,000
Concentración *	,323	4	,081	5,663	,004
Tiempo					
Error	,256	18	,014		
Total	31336,516	27			
Total corregido	33,874	26			

a. R al cuadrado = ,992 (R al cuadrado ajustada = ,989)

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Celulosa

Concentración		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
[4%]	Contraste	,056	2	,028	1,968	,169
	Error	,256	18	,014		
[6%]	Contraste	,608	2	,304	21,343	,000
	Error	,256	18	,014		
[8%]	Contraste	,009	2	,004	,315	,734
	Error	,256	18	,014		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Celulosa

Tiempo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
6 horas	Contraste	11,233	2	5,617	394,436	,000
	Error	,256	18	,014		
12 horas	Contraste	10,147	2	5,074	356,310	,000
	Error	,256	18	,014		

24 horas	Contraste Error	11,887,256	218	5,944,014	417,400,000
----------	-----------------	------------	-----	-----------	-------------

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

#### HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto		
		1	2	3
[4%]	9	32,5302		
[6%]	9		34,4934	
[8%]	9			35,1243
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,014.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

#### HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
6 horas	9	33,9027	
12 horas	9		34,0650
24 horas	9		34,1803
Sig.		1,000	,129

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,014.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

## EQUIVALENTE COMBINACIÓN

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
t1	3	32,4203				
t3	3	32,5683				
t2	3	32,6020				
t4	3		34,1703			
t5	3		34,5033	34,5033		
t6	3			34,8067	34,8067	
t8	3				35,0897	35,0897
t7	3				35,1173	35,1173
t9	3					35,1660
Sig.		,643	,059	,105	,091	,996

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa =
		0.05
t3	3	1 27,1667
t1	3	27,8333
t6	3	28,3333
t7	3	28,3333
t8	3	28,5000
t4	3	29,0000
t5	3	29,6667
t9	3	29,6667
t2	3	30,1667
Sig.		,340

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

#### Anexo f4. Análisis estadístico rendimiento

##### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	22,519 <sup>a</sup>	8	2,815	1,202	,352
Intersección	22302,815	1	22302,815	9520,56	,000
				9	
Concentración	1,796	2	,898	,383	,687
Tiempo	6,685	2	3,343	1,427	,266
Concentración * tiempo	14,037	4	3,509	1,498	,245
Error	42,167	18	2,343		
Total	22367,500	27			
Total corregido	64,685	26			

a. R al cuadrado = ,348 (R al cuadrado ajustada = ,058)

##### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Rendimiento

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
[4 %]	Contraste	14,889	2	7,444	3,178	,066
	Error	42,167	18	2,343		
[6 %]	Contraste	2,667	2	1,333	,569	,576
	Error	42,167	18	2,343		
[8 %]	Contraste	3,167	2	1,583	,676	,521
	Error	42,167	18	2,343		

Cada F prueba los efectos sencillos de tiempo dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

##### Pruebas univariadas

Variable dependiente: Rendimiento

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
6 horas	Contraste	2,056	2	1,028	,439	,652
	Error	42,167	18	2,343		
12 horas	Contraste	4,389	2	2,194	,937	,410
	Error	42,167	18	2,343		
24 horas	Contraste	9,389	2	4,694	2,004	,164
	Error	42,167	18	2,343		

Cada F prueba los efectos sencillos de concentración dentro de cada combinación de niveles de los otros efectos mostrados. Estas pruebas se basan en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Concentración	N	Subconjunto 1
[4 %]	9	28,3889
[8 %]	9	28,8333
[6 %]	9	29,0000
Sig.		,679

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,343.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

Tiempo	N	Subconjunto 1
6 horas	9	28,3889
24 horas	9	28,3889
12 horas	9	29,4444
Sig.		,331

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,343.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = 0.05.

## Anexo a2. Panel fotográfico

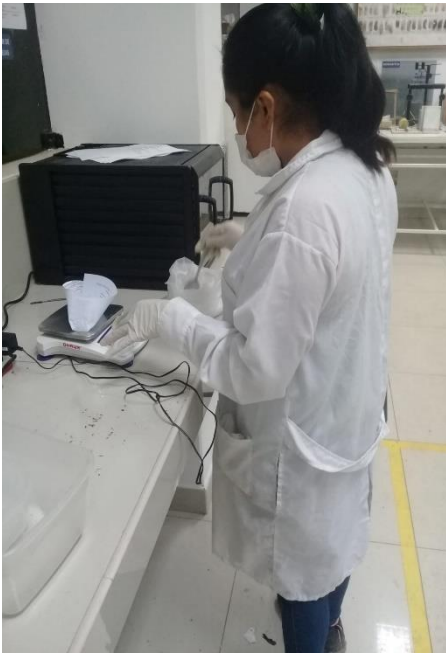


Figura N° 1 Pesado



Figura N° 2 Digestión



Figura N° 3 Deslignificado



Figura N° 4 Lavado





Figura N° 5 Licuado



Figura N° 6 Bastidor



Figura N° 7 Prensado



Figura N° 8 Prensado

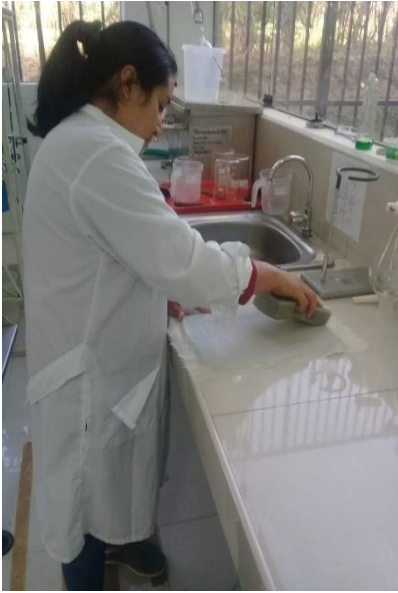


Figura N° 9 Eliminado de agua

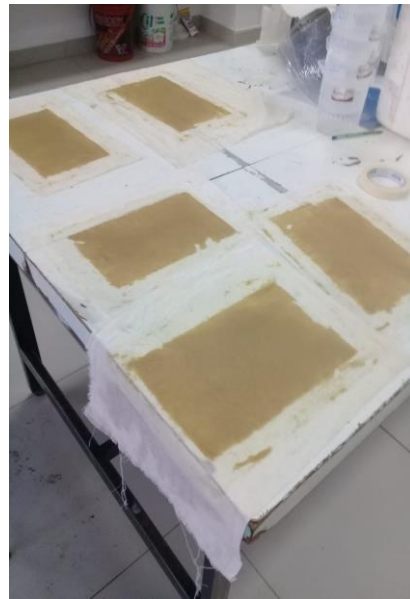


Figura N° 10 Secado



Figura N° 11 Producto final

## Obtención de celulosa



Figura N° 1 Tratado



Figura N° 2 Filtrado



Figura N° 3 Pesado



Figura N° 4 Secado