

**“Determinación de la concentración óptima de hidróxido de sodio para la obtención de papel y sus propiedades fisicomecánicas, a partir del raquis del racimo de plátano (*Mussa paradisiaca*)”**

Christiaan Errol Moreno Rios<sup>1</sup> Edgardo García Saavedra<sup>2</sup>

**RESUMEN**

En la presente investigación se destaca la importancia de aplicar los procesos químicos y termo mecánicos, para la obtención de celulosa y su posterior conversión a papel, utilizando distintas concentraciones de Hidróxido de sodio.

El papel obtenido mediante el mejor tratamiento investigado está constituido por una lámina delgada cuyas características son las siguientes: color blanco crema, con un porcentaje de celulosa de 22.8 %, un gramaje de 86 g/m<sup>2</sup>, un espesor de 0.060 mm, una capacidad de absorción de 74.03 %, con 4.5 % de humedad , con 3.19 % de cenizas y una Tensión a la rotura de 0.1433 kg/15 mm, el cual demuestra que está dentro de los límites establecidos según las normas de calidad TAPPI T para ser considerado como un papel de exportación.

**PALABRAS CLAVES**

Raquis, análisis fisicomecánicos, concentración óptima, fibra, papel.

**"Determination of the optimal concentration of sodium hydroxide to obtain paper and its physicomecanical properties, from the rachis of the banana cluster (*Mussa paradisiaca*)"**

**SUMMARY**

In the present research the importance of applying the chemical and thermochemical processes to the cellulose extraction and its subsequent conversion to paper, using different concentrations of sodium hydroxide, is emphasized.

The paper obtained by the best treatment investigated consists of a thin film whose characteristics are the following: white cream color, with a percentage of cellulose of 22.8%, a weight of 86 g / m<sup>2</sup>, a thickness of 0.060 microns, a capacity of absorption of 74.03%, with 4.5% humidity, with 3.19% of ash and a tensile strength of 0.1433 kg / 15 mm, which shows that it is within the limits established according to TAPPI quality standards T - UNE 57 048 to be considered as an export paper.

**KEYWORDS**

Raquis, physicomecanical analysis, optimum concentration, fiber, paper.

## I. INTRODUCCIÓN

El plátano (*Mussa paradisiaca*) es uno de los productos agrícolas más utilizados en nuestra amazonia peruana, lamentablemente cerca del 95% de los residuos que se generan del plátano no son aprovechados eficientemente por el productor, ya que su producción la enfoca en la comercialización o como opción alimenticia para el hogar generando desechos orgánicos (raquis) que por sus grandes volúmenes ocupan grandes espacios y por efecto de la putrefacción se crea gases que contaminan el ambiente.

Elaborar papel a partir del raquis del racimo de plátano, permitió conocer la concentración de Hidróxido de Sodio adecuada para obtener un papel de buenas cualidades con características fisicomecánicas aceptables según la norma internacional TAPPI T.

Este trabajo de investigación comprende dos partes, la primera es la elaboración de papel con seis concentraciones diferente de Hidróxido de Sodio y tres repeticiones por tratamiento; en la segunda parte se evaluaron sus respectivos análisis fisicomecánicos a cada una de las muestras en estudio, lo que permitió determinar el mejor tratamiento respecto a sus cualidades fisicomecánicas obtenidos.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El Raquis del racimo de plátano Según LEÓN (1989), también es llamado pinzote o vástago del plátano, es parte de la estructura del eje floral (racimo del fruto e inflorescencia), está cubierta de finos pelos verdes en la parte externa. En el interior está formado por parénquima, rico en almidón, recorrido por canales de látex y en su estructura está formado por haces fibrovasculares o finos distribuidos por todo el tallo. Tan pronto cesa de tener sostén del Pseudotallo, el raquis se inclina hacia abajo por el peso de la inflorescencia.

Respecto a la celulosa, se tiene que CUIYU Y COL. (2006), afirma que la celulosa es un polisacárido natural lineal, constituyendo el biopolímero más abundante y renovable, con una gran variedad de aplicaciones útiles. Sin embargo, la química de la celulosa en general es difícil ya que este polímero natural no es fundible ni soluble en disolventes comunes debido a sus puentes de hidrógeno y estructura cristalina. Las propiedades físicas de la celulosa pueden ser modificadas de manera significativa por derivatización.

El tamaño de las fibras para la fabricación de papel tiene una importancia significativa para la calidad del mismo, el tamaño de fibra está relacionado con el tipo de material vegetal que se va a tratar. Las fibras de celulosa, con relación a su configuración, pueden variar según su longitud, diámetro global y espesor de sus paredes. Relativamente a la calidad de la pasta que se desea obtener, la dimensión de la fibra es una característica muy importante, fácilmente relacionada con la resistencia del papel. Aparece así una diferencia entre pastas de fibra larga y pastas de fibra corta. La fibra larga está asociada a las maderas de coníferas y la fibra corta a las maderas de frondosas en materiales leñosos. Por ejemplo las maderas duras como árboles tropicales y eucaliptos tienen fibras muy cortas, en contraste las maderas blandas y materiales, semi leñosos y no leñosos poseen fibras largas. Las fibras muy cortas pueden provocar que el papel no tenga resistencia a la tracción y a la rotura; mientras que fibras muy largas provocan aglomeraciones, superficies

irregulares en el papel y mayor resistencia. El proceso de reciclado acorta el tamaño de fibra, lo que resulta en una pérdida de fuerza de las mismas, por lo que casi siempre es necesario mezclar el desperdicio con fibra virgen. De acuerdo con el tamaño de fibra se puede concluir que es necesario identificar el tamaño de fibra para conocer la calidad del producto final POCHTECA (2001).

GARCÍA (2007), manifiesta que el papel es una delgada hoja elaborada con pasta de fibras vegetales que son molidas, blanqueadas, desleídas en agua, secadas y endurecidas posteriormente; a la pulpa de celulosa, normalmente, se le añaden sustancias como el polipropileno o el polietileno con el fin de proporcionar diversas características. Las fibras están aglutinadas mediante enlaces por puente de hidrógeno. También se denomina papel, hoja o folio a su forma más común como lámina delgada. La evaluación físico mecánica es utilizada para la determinación de las propiedades y características físicas que tiene el papel elaborado a partir del raquis de plátano, como la longitud de la fibra, su composición fibrosa y sus resistencias físicas.

RIVERA Y COL. (2008), manifiestan que el papel es una estructura obtenida con base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Los análisis realizados para los análisis fisicomecánicos de gramaje, porcentaje de Humedad, contenidos de cenizas, espesor, porcentaje de adsorción, tensión a la rotura y porcentaje de celulosa fueron evaluados mediante la norma TAPPI T.

El Hidróxido de Sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos. Es usado, en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos. Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas UNAM (2016).

La industria papelera en Perú para el INEI en 1999, indica que el Producto Bruto Interno (PBI) es favorecido, gracias al involucramiento de mayor producción de parte de la industria papelera. Este sector contribuye con el 5.5% del PBI del Sector manufacturero y el 0.8% del PBI total y, además, aporta unos US\$ 431 millones de los US\$ 7,824 millones, generados por el sector manufacturero. Asimismo, en el 2006 este sector tuvo una ponderación de 3.4% dentro del sector manufacturero y aportó 0.4% al crecimiento del sector.

El análisis de la demanda de papel Según FERNÁNDEZ (2008), indica que la industria de la celulosa y del papel se dedica a la conversión de fibras, en general procedentes de la madera, en celulosa y, a partir de ella dependiendo del tipo de madera, en una amplia gama de productos como el papel, los materiales de envase y embalaje, etc. En un número creciente de países, la industria de la celulosa y del papel es uno de los mayores sectores de fabricación y exportación, al representar hasta entre 2 y 3,5% del PBI. La fabricación de productos de papel se caracteriza a menudo por la existencia de empresas pequeñas y la utilización de una tecnología tradicional, mientras que la elaboración de la celulosa y el papel está dominada por empresas muy grandes y de alto nivel tecnológico.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Los raquis del racimo de plátano se recolecto en el fundo Romeo y Julieta, ubicado en el distrito de Yarina cocha, Provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. La elaboración del papel se realizó en los interiores del laboratorio de transformación de química forestal de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, otros laboratorios utilizados para realizar los análisis fisicomecánicos fueron el laboratorio especializado de Ingeniería Agroindustrial y el laboratorio de Química, las mismas que se encuentran en la Universidad Nacional de Ucayali ubicado en la Carretera Federico Basadre Km 6.2 distrito de Calleria, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

Para la determinación de la concentración óptima de hidróxido de sodio se procedió a evaluar cual tratamiento muestra mejores características fisicomecánicas, se empleó el método experimental, que consistió en elaborar y evaluar las características fisicomecánicas del papel obtenido por cada muestra en estudio. Logrados los datos, se aplicaron las fórmulas descritas en la Norma TAPPI T que fueron analizados en un software estadístico Minitab 16 y representados en Word.

#### **MATERIALES Y EQUIPOS.**

Para el trabajo de investigación se ha utilizado lo siguiente:

**Materia Prima:** Raquis de plátano.

**Insumos:** Agua, agua destilada y agua des ionizada.

**Reactivos:** Hipoclorito sódico, hidróxido de Sodio (NaOH), etanol y ácido Nítrico Concentrado.

**Materiales:** Vasos de precipitación de 50 ml, vasos de precipitación de 1000 ml, probeta de 50 ml, menajes de cocina (tabla de picar, colador, ollas, cuchillo) y materiales de plástico volumétrico.

**Equipos:** Estufa de +30 °C a +300 °C (modelo Memmert 75), licuadora 2HP/1472 W (modelo LAR-15), digestor (XIANYANG TEST), lavadora – secadora (sheet-fornig equipment), PH metro, espectrofotómetro UV (marca TURNER, modelo 390), horno de + 20 °C a + 350 °C (modelo TERLAB TEH-350), mufla de capacidad máxima de 800 °C, micrómetro de 0-2.6mm, micro pipeta de 0 a 100 µm (marca BOECO).

#### **MÉTODOS.**

La metodología que se utilizó para el trabajo de investigación de describe seguidamente:

##### **1. Análisis en el raquis del racimo de plátano.**

###### **Determinación de celulosa.**

Se determinó por el método de Kurschner y Hoffer.

###### **Determinación de porcentaje de humedad.**

Se determinó según la norma TAPPI T 412 om-94.

##### **2. Elaboración de papel del raquis de plátano.**

###### **Recepción de la materia prima.**

Se evaluaron aspectos como: Estado fresco, tamaño uniforme.

###### **Selección.**

La selección se realizó en forma manual y consistió en eliminar los raquis que estén en estado de senescencia.

### **Descortezado.**

De acuerdo con las características morfológicas de la corteza del raquis del plátano, se procedió a eliminar la corteza del material vegetal, pues ésta no contiene una cantidad aprovechable de celulosa la cual se realizó con la ayuda de un cuchillo con cortes longitudinales.

### **Trozado.**

El trozado consistió en obtener fragmentos del raquis de plátano con el fin de facilitar la pérdida de humedad por acción del calor. El raquis de plátano tiene 1,15 metros (m) de largo aproximadamente, por lo tanto, fue necesario realizar cortes transversales para obtener fragmentos más pequeños.

### **Secado.**

El secado tiene como finalidad eliminar la humedad presente en las fibras del raquis del racimo de plátano. Esta operación contribuye en la digestión por que las paredes del tejido celular de la planta se quiebran facilitando la acción del solvente para mejorar u optimizar la extracción de la celulosa en una estufa a 65 °C, por un lapso de 24 horas.

### **Digestor.**

El digestor tiene por objeto extraer la celulosa por medio de un disolvente para separar la lignina de este componente.

Esta operación es una de las más importantes en el proceso debido a que permitió obtener la celulosa que constituye la materia prima para la elaboración de papel y determina las características del producto final.

La operación consistió en introducir 1000 g de raquis secado en seis concentraciones de hidróxido de sodio más agua, en un digestor a 165 °C por un tiempo de 2 horas a una velocidad de agitación constante, las concentraciones utilizadas son las siguientes:

- T1: Hidróxido de sodio al 1%.
- T2: Hidróxido de sodio al 2%.
- T3: Hidróxido de sodio al 3%.
- T4: Hidróxido de sodio al 4%.
- T5: Hidróxido de sodio al 5%.
- T6: Hidróxido de sodio al 6%.

$$\% \text{masa} = \frac{\text{masa del soluto en g}}{\text{masa de disolución en g}} * 100$$

% masa : % masa contenido de NaOH  
 Masa del soluto en g : peso del soluto (NaOH)  
 Masa de disolución : suma del soluto con solvente.

### **Lavado.**

El objetivo de esta operación es eliminar los residuos del solvente empleado en la extracción sólido líquido para evitar el desgaste del papel en el tiempo. El lavado de la pasta celulósica se realizó utilizando lavados continuos con agua corriente.

### **Blanqueado.**

El objetivo de esta operación es obtener un color más claro en la pasta previamente lavada utilizando como agente blanqueador Hipoclorito de Sodio al 3.7 %. La concentración el blanqueador elegido no ocasionara daños en la pasta celulósica y a su vez otorgara un color más claro. CALLAPA (2011).

Para esta operación se obtuvo hipoclorito de sodio al 5.25 % (legía marca tottus) teniendo que bajar la concentración al 3.7 %, para lo cual se utilizó la siguiente formula:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

C1: Concentración inicial.

V1: Volumen inicial.

C2: Concentración final.

V2: Volumen final.

#### **Lavado.**

El objetivo de esta operación nuevamente es eliminar el hipoclorito sódico utilizado para el blanqueado. El lavado de la pasta celulósica se realizó utilizando lavados continuos con agua corriente.

#### **Triturado.**

Esta operación permitió obtener un tamaño de partícula deseado y uniforme. Se redujo el tamaño del sólido por medio de acción de la velocidad de rotación de las cuchillas de una licuadora de 1472 W de potencia.

#### **Preformado.**

El preformado de la hoja se realizó utilizando la técnica de la malla continua, esta técnica además de aglomerar las fibras y formar a la pasta celulósica permitió eliminar el agua presente en la fibra.

#### **Laminado.**

Esta operación permitió reducir el espesor de la hoja por medio de la compresión ejercida por un rodillo, otorgando uniformidad a la superficie del papel; también permitió eliminar la humedad de la hoja para reducir el tiempo de prensado.

#### **Prensado.**

Esta operación permitió transferir la humedad del papel a una prensa metálica a una temperatura de 80 °C, mediante elementos de sujeción.

#### **Secado.**

Esta operación permitió eliminar la humedad presente en la fibra, de esta manera evitar que la humedad afecte al papel, esta operación se realizó a temperatura ambiente por un periodo de 48 horas. Además, permitió que el papel alcance la humedad de equilibrio evitando que la hoja se arquee u ondule en los bordes.

### **3. Análisis Fisicomecánicos realizados al papel a partir del raquis de plátano.**

- Determinación de gramaje (norma TAPPI – 410 om-98).
- Determinación del porcentaje de Humedad (TAPPI T 412 om-94).
- Determinación del contenido de cenizas (TAPPI T221 om-93).
- Determinación del espesor (norma TAPPI- 411 om-97).
- Determinación porcentaje de adsorción (norma TAPPI T – 441).
- Determinación de la tensión a la rotura (norma TAPPI T – 494).
- Determinación del porcentaje de celulosa (TAPPI T 17 m – 55).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 1. ANALISIS DEL RAQUIS DEL RACIMO DE PLATANO.

#### Determinación del contenido de celulosa del raquis.

En la tabla 1 se muestra los resultados del porcentaje de celulosa encontrado en cada una de las muestras del raquis de plátano, determinándose una media general de 31,9 por ciento.

Comparativamente muy cercano a lo reportado por Guarnizo y Martínez (2011), en Colombia que fue de 32,6 por ciento de celulosa en raquis de plátano. Esta pequeña diferencia puede ser debido al tipo de suelo, clima y procedencia de la muestra.

Tabla 1. Porcentaje de celulosa en raquis del racimo de plátano

Muestra	Celulosa (%)
M 1	31,7
M 2	31,8
M 3	31,7
M 4	32,1
M 5	31,9
M 6	32,2
Media	31,9

#### Porcentaje de humedad del raquis.

En la tabla 2 se muestra los resultados del porcentaje de humedad encontrado en cada una de las muestras del raquis de plátano, determinándose una media general de 92,33 por ciento.

Comparativamente muy cercano a lo reportado por Callapa (2011), en Bolivia que fue de 93,4 por ciento de humedad en raquis de plátano.

Esta pequeña diferencia puede ser debido al tipo de suelo, clima y procedencia de la muestra.

Tabla 2. Porcentaje de humedad en raquis del racimo de plátano.

Muestra	Humedad (%)
M 1	92,39
M 2	92,32
M 3	92,25
M 4	92,29
M 5	92,36
M 6	92,37
Media	92,33

### 2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE HIDRÓXIDO DE SODIO EN EL PAPEL.

Determinándose que el porcentaje de Hidróxido de Sodio que mejor comportamiento ha tenido para la, extracción del contenido celulósico del papel elaborado, determinándose que el tratamiento 5 al 5 % obtuvo mejores resultados como la cantidad de celulosa obtenida (22,8 %), capacidad de absorción del papel (74,03 %), y tensión a la rotura del papel (0,1433 kg/15 mm). (Tabla 3).

Tabla 3. Determinación de la concentración óptima de hidróxido de sodio en el papel.

Tratamientos	NaOH (%)	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Humedad (%)	Cenizas (%)	Espesor (micras)	Absorción (%)	Tensión la Rotura (kgf/15 mm)	Celulosa (%)
T1	1 %	87	3,4	2,37	0,058	54,36	0,097644	16,2
T2	2 %	87	3,5	2,97	0,060	54,81	0,105233	16,9
T3	3 %	84	4,5	3,18	0,057	57,98	0,105789	17,2
T4	4 %	85	3,8	3,23	0,059	62,25	0,105956	18,5
T5	5 %	86	4,5	3,19	0,060	74,03	0,143333	22,8
T6	6 %	88	4,2	2,74	0,062	62,67	0,117800	17,3

Los resultados en cada uno de los tratamientos representan el promedio de las tres repeticiones realizadas

### 3. ANÁLISIS FISICOMECAICOS DEL PAPEL OBTENIDO A PARTIR DEL RAQUIS.

A continuación se muestra las propiedades fisicomecanicas del papel elaborado a partir del raquis del plátano.

#### Gramaje.

El gramaje del papel elaborado a partir del raquis del plátano se obtuvo siguiendo los procedimientos recomendados por la norma TAPPI – 410 om-98, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Gramaje de las diferentes muestras de papel.

Tratamientos	gramaje(g/m <sup>2</sup> )
T1	87
T2	87
T3	84
T4	85
T5	86
T6	88

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

Encontrándose que entre tratamientos y el gramaje no existe diferencia significativa tal como lo muestra el ANVA de la tabla 5.

Tabla 5. Análisis de varianza para gramaje

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	34,944	5,000	6,989	1,338	0,313	3,106
Dentro de los tratamientos	62,667	12,000	5,222			
Total	97,611	17,000				

El promedio de gramos en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

De acuerdo a lo establecido por Navarro – Sagrista (1972), las hojas de papel obtenidas en la presente investigación, muestran que todas las muestras están dentro del rango establecido entre 9-150 g/m<sup>2</sup> las mismas que se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Rango de papel de exportación.

Gramaje	g/m <sup>2</sup>
Papel	9 – 150
Papel grueso (cartulina)	150 – 250
Cartón delgado (cartoncillo)	250 – 450
Cartón >	450

Fuente: Navarro – Sagrista, 1972

### Porcentaje de Humedad.

El porcentaje de humedad del papel elaborado a partir del raquis del plátano se obtuvo siguiendo los procedimientos recomendados por la norma TAPPI – 412 om-94, los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de Humedad de las diferentes muestras de papel.

Tratamientos	Humedad (%)
T1	3,4
T2	3,5
T3	4,5
T4	3,8
T5	4,5
T6	4,2

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

Encontrándose que entre tratamientos y el porcentaje de humedad no existe diferencia significativa tal como lo muestra el ANVA de la tabla 8.

Tabla 8. Análisis de varianza para porcentaje de humedad.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	0,803	5	0,160	0,479	0,785	3,10
Dentro de los tratamientos	4,02	12	0,335			
Total	4,825	17				

El promedio de humedad en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

### Porcentaje de Cenizas.

El porcentaje de Cenizas del papel elaborado a partir del raquis del plátano los mismos que, en promedio muestran pequeñas diferencias, pero que se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma TAPPI T, los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de cenizas de las diferentes muestras de papel.

Tratamientos	Ceniza (%)
T1	2,37
T2	2,97
T3	3,18
T4	3,23
T5	3,19
T6	2,74

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

Al realizar el ANVA entre tratamientos y el porcentaje de cenizas se observa que no existe diferencia significativa tal como se muestra la tabla 10.

Tabla 10. Análisis de varianza para porcentaje de cenizas.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	1,724	5	0,345	1,453	0,275	3,106
Dentro de los tratamientos	2,847	12	0,237			
Total	4,571	17				

El promedio de cenizas en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

### Espesor

El espesor del papel elaborado a partir del raquis del plátano los mismos que, en promedio muestran pequeñas diferencias, pero que se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma TAPPI T, los resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Espesor de las diferentes muestras de papel.

Tratamientos	Espesor
T1	0,058
T2	0,060
T3	0,057
T4	0,059
T5	0,060
T6	0,062

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

Al realizar el ANVA entre tratamientos y el espesor se observa que no existe diferencia significativa tal como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Análisis de varianza para el espesor.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	5,69E-05	5	1,13E-05	0,352	0,870	3,10
Dentro de los tratamientos	0,00038	12	3,22E-05			
Total	0,00044	17				

El promedio de espesor en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

### Porcentaje de Adsorción

El porcentaje de absorción del papel elaborado a partir del raquis del plátano se obtuvo siguiendo los procedimientos recomendados por la norma TAPPI T- 411, los resultados se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Porcentaje de absorción de las muestras de papel.

Tratamientos	Absorción (%)
T1	54,36
T2	54,81
T3	57,98
T4	62,25
T5	74,03
T6	62,67

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

Según el ANVA realizado entre tratamientos respecto al porcentaje de absorción se observa que existe diferencia significativa tal como lo muestra la tabla 14.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, está dentro de los parámetros exigidos para la elaboración de papel según la norma TAPPI T.

Tabla 14. Análisis de varianza para porcentaje de absorción.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	797,21	5	159,44	39,42	4,85E-07	3,1058
Dentro de los tratamientos	48,53	12	4,04			
Total	845,74	17				

El promedio de absorción en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

Al realizar la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 % se observa que el tratamiento 5 muestra diferencias significativas respecto a los demás tratamientos en estudio.

Tabla 15. Método de Tukey para porcentaje de absorción

	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>	
T5	3	74,03	A	
T6	3	62,67		B
T4	3	62,25		B
T3	3	57,98	B	C
T2	3	54,81		C
T1	3	54,36		C

Nivel de significancia de 0.05; Desv.Est. Agrupada = 2.011

### Tensión a la Rotura

En la tabla 16 se muestran los resultados de los promedios de cada uno de los tratamientos en estudio respecto a la tensión a la rotura del papel elaborado a partir del raquis del plátano, por lo cual siguió los procedimientos recomendados por la norma TAPPI T.

Tabla 16. Tensión a la rotura de las diferentes muestras de papel.

Tratamientos	Tensión a la rotura (kgf/15 mm)
T1	0,097644
T2	0,105233
T3	0,105789
T4	0,105956
T5	0,143333
T6	0,117800

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

En la tabla 17 se muestra los resultados del análisis de varianza para la tensión a la rotura por cada tratamiento, se puede observar que existe diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 17. Análisis de varianza para Tensión a la rotura.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	0,0040202	5	0,0008040	21,69	1,25E-05	3,10
Dentro de los tratamientos	0,0004449	12	0,0000371			
Total	0,0044651	17				

El promedio de tensión a la rotura en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

Al realizar la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 % se observa que el tratamiento 5 muestra diferencias significativas respecto a los demás tratamientos en estudio.

Tabla 18. Método de Tukey para Tensión a la rotura

	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>	
T5	3	0,143	A	
T6	3	0,117	B	
T4	3	0,105	B	C
T3	3	0,105	B	C
T2	3	0,105	B	C
T1	3	0,097	C	

Nivel de significancia de 0.05; Desv.Est. Agrupada = 0.00609

Juacida y col. (2002). En su trabajo de investigación Composición química, obtención de pulpa kraft y su evaluación papelera en castaño, ciprés y encino. Indica que los papeles formados con fibras largas resultan más resistentes a la tensión a la rotura que los papeles formados con fibras cortas.

Según los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación podemos afirmar que el papel obtenido del raquis de plátano, tratamiento T5 es el que ofrece la mejor resistencia a la tensión a la rotura debido a las fibras largas que esta posee.

### Porcentaje de Celulosa

En la tabla 19 se muestra los promedios del porcentaje de celulosa obtenida por cada tratamiento en estudio, observándose que el T5 es el que mejor comportamiento en cuanto a la absorbancia del contenido de celulosa del papel (22,8%) del raquis de plátano.

Tabla 19. Porcentaje de celulosa de las diferentes muestras de papel.

Tratamientos	absorbancia	celulosa%
T1	0,218	16,2
T2	0,228	16,9
T3	0,233	17,2
T4	0,250	18,5
T5	0,307	22,8
T6	0,233	17,3

Los valores representan la media  $\pm$ SD, para n=3.

Según el análisis de varianza realizado se puede observar que si existe diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 20. Análisis de varianza para porcentaje de celulosa.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre Tratamientos	84,992	5	16,998	47,21	1,76E-07	3,106
Dentro de los tratamientos	4,320	12	0,360			
Total	89,313	17				

El promedio del porcentaje de celulosa en los 6 tratamientos en estudio es igual, con 95 % de confiabilidad.

Al realizar la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 % se observa que el tratamiento 5 muestra diferencias significativas respecto a los demás tratamientos en estudio.

Tabla 21. Método de Tukey para celulosa

	N	Media	Agrupación	
T5	3	22,8	A	
T4	3	18,5	B	
T6	3	17,3	B	C
T3	3	17,2	B	C
T2	3	16,9	B	C
T1	3	16,2	C	

Nivel de significancia de 0.05; Desv.Est. Agrupada = 0.600

Como se observó en la presente investigación el tratamiento T5 es el que nos ofrece mejor contenido celulósico (22,8%) del papel obtenido a partir del raquis del plátano.

## V. CONCLUSIONES

- El contenido celulósico promedio obtenido a partir del raquis de plátano es de 31,9 %.
- La concentración óptima de hidróxido de sodio utilizado en la elaboración de papel a partir del raquis de plátano es de 5%. en peso/peso.
- Todos los valores obtenidos del gramaje, humedad, espesor y cenizas del papel elaborado se encuentran dentro de los parámetros recomendados por la norma TAPPI T.
- El tratamiento T5 del papel elaborado ofrece las mejores condiciones respecto a la absorción (74,03 %), tensión a la rotura (0,1433 kgf/15mm) y el porcentaje del contenido celulósico (22,8%) en comparación a las demás tratamientos en estudio.

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación para determinar el tamaño de la fibra del raquis de plátano según variedades, para la elaboración de papel.
- Realizar trabajos de investigación utilizando diversos agentes blanqueadores en el papel elaborado a partir del raquis de plátano, para obtener un producto con diferentes características en apariencia (colores).
- Realizar trabajos de investigación en la elaboración de papel utilizando el Pseudotallo del plátano.
- Se recomienda que el gobierno Regional o las municipalidades puedan extender su inversión en una pequeña planta piloto para elaborar papel aprovechando la gran cantidad de raquis de plátano en la Region de Ucayali.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- CALLAPA, M., (2011). Obtención de papel a partir de los residuos de la cosecha del banano. Trabajo de Grado. Escuela Militar de Ingeniería. Mariscal. Antonio José De Sucre. La Paz, Bolivia.
- CUIYU, Y.; Jianbo, L.; Qun, X.; Qi, P.; Yabei, L.; Xinyuan, S. (2006), Chemical modification of cotton cellulose in supercritical carbon dioxide: synthesis and characterization of cellulose carbamate. Rev. Carbohydrate polymers, 67: 147-154.
- FERNÁNDEZ, E. (2008). "Estudio de Pre factibilidad para La Producción Y Comercialización de Papel a partir de Eucalipto, Trabajo espacial de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- GARCÍA, J. (2007). *Fibras Papeleras*. Barcelona. Edicions UPC.
- GUARNIZO, A., Martínez pedro(2011) estudio de la hidrolisis acida del raquis de banano, química, universidad quindio, Colombia.
- INEI,(1999).[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicacione\\_digiales/Est/Lib1173/cap12/cap12.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicacione_digiales/Est/Lib1173/cap12/cap12.pdf)
- JUACIDA, R; Rodríguez, S; Torres, M. (2002). Composición química, obtención de pulpa kraft y su evaluación papelera en castaño, ciprés y encino. Rev. Bosque 23 (1), 125-130.
- LEON, J. (1989). Fundamentos Botánicos de los Cultivos Tropicales, Tomo II, Ed. IICA, Costa Rica.
- NAVARRO Sagrista J., (1972). Ensayos físico químicos del papel. Editorial Marfil. Madrid, España. NORMA NMX-C152.ONNICCE.
- POCHTECA (2011), <http://www.pochteca.com.mx/>
- RIVERA K., Martínez., Quintana G., Velásquez J., (2008). Obtención de lignosulfonatos a partir de los residuos del cultivo del plátano. Revista Investigaciones Aplicadas No.1, Publicada en línea por la Universidad Pontificia Bolivariana, pp.1-6.
- TAPPI. (1989) Tappi test methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia. USA.
- UNAM(2016):<https://quimica.unam.mx/wpcontent/uploads/2016/12/2hsnaoh.pf>