

Evaluación de la tensión elástica de papel elaborado a partir de desechos de raquis de palma africana y bagazo de caña

Evaluation of the Elastic Tension of Paper Made from Waste of African Rachis and Cane Bagasse

Kevin Altamirano Chaves (kevin211194@gmail.com), Kimberly Adden Pinnock (kadden2995@gmail.com), Joseph Cabraca Vargas (jocv06@gmail.com), Luis Diego Mora Salazar (ludimosa31@gmail.com), Jorbri Briones Elizondo (jorbrinoel10@gmail.com) Estudiantes de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica Sede del Caribe, Limón, Costa Rica

M.Sc Karina Rodríguez Mora, Química; Unidad de Recursos Forestales Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica kari.rm24@gmail.com

Recibido: 13 de setiembre 2017

Aceptado: 17 de noviembre 2017

Resumen

En este estudio se pretende establecer la capacidad de los residuos provenientes de la industria de la caña y de la palma para la fabricación de papel, con el fin de obtener una fuente de celulosa auxiliar a la fuente primaria, que en la actualidad es la madera. Se logró demostrar que el papel fabricado con la celulosa obtenida del raquis de palma africana y el bagazo de caña posee una fuerza de tensión igual. El proceso de obtención de la celulosa se realizó mediante la reducción de la lignina con un tratamiento de Ácido Nítrico con Etanol y la reducción de la hemicelulosa con un tratamiento de hidróxido de sodio.

Palabras clave:

Bagazo, Raquis, Celulosa, reciclaje.

Abstract

The objective of this study is to establish the capacity of the cane and paper industry waste in order to obtain a source of auxiliary cellulose to the primary source, that is currently wood. It was shown that the paper made with the cellulose obtained from the African rachis and the cane bagasse has an equal tension force. The process to obtain cellulose was made by the treatment of lignine with nitric acid and ethanol and the treatment for the hemicellulose was made with sodium hydroxide.

Keywords:

Bagasse, rachis, cellulose, recycling.



1. INTRODUCCIÓN

El papel es un material que se emplea casi en cualquier actividad en la vida cotidiana, ya que posee gran cantidad de usos, desde hojas para escribir o imprimir, hasta bolsas o envoltorios de diferentes tipos. A nivel mundial el uso del papel estuvo en un franco crecimiento en la industria ya que era la forma en la que se almacenaba la información o se remitía de un lugar a otro. A partir del auge tecnológico se han empezado a instaurar normas para disminuir el consumo de papel en las oficinas, pero esto no ha reducido la demanda del papel a nivel mundial.

Uno de los principales problemas que surgen a raíz de este incremento en el consumo del papel es que existe la necesidad de aumentar el espacio destinado a la siembra de árboles de rápido crecimiento, ya que en la industria papelera la celulosa necesaria para fábrica el papel se extrae de estos. Por esto, en países como Indonesia, Greenpeace ha iniciado con planes y propaganda para disminuir la deforestación, ya que este es el tercer emisor más grande del mundo de gases de efecto invernadero provenientes de la tala de árboles (Greenpeace, 2010). Añadido a esto, se tiene que en la mayoría de los lugares donde se siembran estos árboles de rápido crecimiento resulta que no son especies nativas, por lo que generan problemas y desequilibrios en los ecosistemas; son en su mayoría árboles que consumen los nutrientes del suelo y no tienden a reponerlos (Carrere, 2017).

A nivel mundial, la mayor parte de pulpa celulósica es obtenida mediante el pulpeo Kraft. Los compuestos de azufre empleados en este proceso producen gases como el sulfuro de hidrógeno y mercaptanos que contaminan el aire. Para evitar este problema se han propuesto otros métodos alcalinos como una alternativa más favorable ambientalmente, eliminando el uso de compuestos azufrados (Leonard y Dasgupta, 1998).

En la industria, el uso del papel es tan variado como la cantidad de tipos de papel existente. Esto es porque las propiedades del papel se pueden adaptar en función de lo que se necesita. No son las mismas características las que se necesitan para el papel usado en impresión que en el papel usado para hacer cajas u otros tipos de embalaje (Sindicato Nacional del Papel, Prensa y Artes Gráficas, 1957).

La tensión elástica es una propiedad de los materiales que determina el límite máximo de tensión que puede soportar bajo los estándares prescritos (Silvani, 2008). Dado que el papel tiene muchos usos, es necesario tener las condiciones o parámetros estándar para su producción y comercialización, ya que no se puede comparar la calidad de un papel hecho para escribir con la de uno para sostener o soportar otro tipo de características (TAPPI, 2013).

Para efectos de este trabajo, el papel que se desea fabricar es principalmente para uso común de oficina (escritura, impresión, entre otros), por lo que una de las propiedades más relevantes es la fuerza de rasgado que es capaz de soportar el papel. Esta prueba se realizó basándose en la norma TAPPI T-494, y se usó un papel de reciclaje comercial con el fin de obtener una base de comparación.

Con este proyecto se intenta implementar un proceso que presente una alternativa para la producción de papel a partir de un material orgánico de desecho. También se

intenta trabajar en una hoja que cumpla con las normas de calidad establecidas y pueda competir en el mercado. Uno de los objetivos es comparar el proceso implementado con procesos que se emplean en la obtención de la celulosa, y así poder reducir costos de producción y aprovechar desechos como el raquis de la palma africana y el bagazo de caña para elaborar las hojas de papel.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

La celulosa se obtuvo del raquis de la palma africana y del bagazo de caña, que fueron proporcionados por las empresas Palma Tica y Cooperativa Victoria, respectivamente. Los reactivos utilizados fueron marca Sigma-Aldrich. Para formar las hojas de papel se siguió la norma TAPPI T205 y para medir las propiedades de tensión de las hojas formadas se usó la norma TAPPI T494.

2.2 Metodología

La metodología empleada en la realización de este trabajo se desarrolló de la siguiente manera:

2.2.1 Obtención de la celulosa.

Como el primer paso para la obtención de celulosa, se sometió a las muestras de raquis de palma africana y de bagazo de caña a un proceso de reducción de lignina, para lo cual se utilizó el método de Kurschner-Hoffer (Browning, 1967); luego, se llevó a cabo el proceso de blanqueo, para lo cual se hicieron 3 lavados con cloro comercial a temperatura ambiente durante 1 h, y por último se realizó la reducción de hemicelulosa utilizando una disolución de NaOH al 6% a 70 °C durante 4 h. Posteriormente, se neutralizó y se realizaron lavados a la muestra con agua limpia en cada paso de la obtención (Fortunati et al, 2013).

2.2.2 Caracterización del material

- Análisis Termogravimétrico (TGA): Se realizó en TGA Q5000. Las muestras se calentaron en una capsula de platino de 40 °C a 600 °C a 10 °C/min en una atmósfera inerte de nitrógeno
- Espectroscopía infrarroja de reflexión atenuada total (ATR-FT-IR): Se realizó en un L1050080 (Pelkin Elmer) con base de diamante ATR y detector MCT / A. Las exploraciones se realizaron desde 2000 cm^{-1} hasta 600 cm^{-1}

2.2.3 Formación de las hojas

La celulosa obtenida fue enviada al laboratorio REFORESTA de la Universidad de Costa Rica. Para la formación de las hojas se siguió la norma TAPPI T205. Se empleó un mismo gramaje para realizar la comparación de las hojas, usando 75 g/m^2 .

La razón de escogencia se debe a la disponibilidad en el mercado de gramajes para hojas recicladas.

2.2.4 Pruebas de Tensión

Tras formar las hojas se dejaron reposar en un cuarto con condiciones ambientales controladas (25 °C) y presión atmosférica durante 2 días, y se procedió a hacer las medidas correspondientes, para lo cual se empleó la norma TAPPI T494 con el fin de que estas se encontraran bajo un estándar.

3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Posterior a los procesos de degradación del material se realizan espectros infrarrojos de refracción total atenuada para determinar los grupos de funciones de los respectivos componentes de las muestras, tal como lo muestran la figura 1 y 2.

Para el caso del bagazo de caña vemos una reducción o remoción de las bandas correspondientes a la lignina, que están alrededor de 1630 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} , 1512 cm^{-1} , 1428 cm^{-1} y 830 cm^{-1} , las cuales corresponden a grupos aromáticos. Mientras, para la celulosa se ve un aumento en las bandas, siendo la principal banda en 1028 cm^{-1} , seguido por 1371 cm^{-1} y 1317 cm^{-1} . También se observan rastros de hemicelulosa, pues se mantienen las bandas de 1160 cm^{-1} y 895 cm^{-1} .

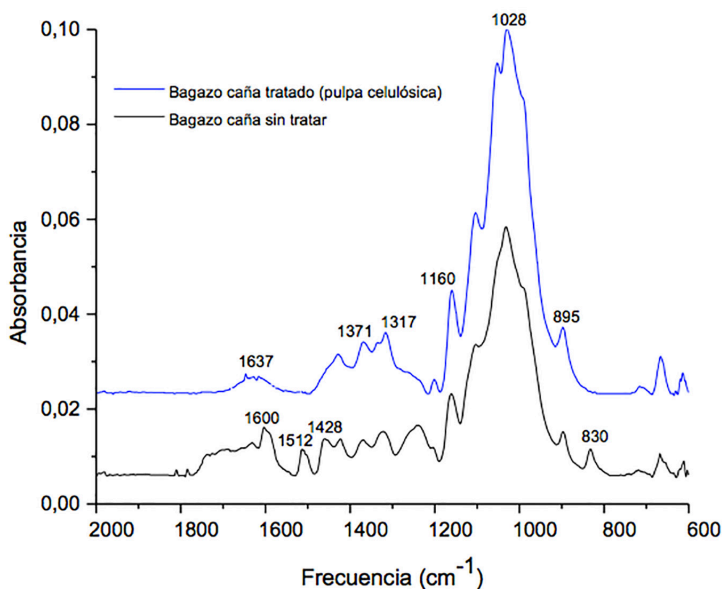


Figura 1. ATR-FT-IR para la muestra de bagazo de caña.

Para el caso del raquis de palma africana, se ve un comportamiento similar. Las bandas de celulosa y las de hemicelulosa se mantienen, con la diferencia de que se ven más definidas en la pulpa celulósica que en la muestra sin tratar, mientras que en las bandas de lignina se ve una reducción en 1634 cm^{-1} . No obstante, se ve una definición más clara de las bandas a los alrededores de los 660 cm^{-1} , los cuales pertenecen a la lignina.

Por tanto, en ambas muestras se puede determinar que hay reducción de lignina, pero aún poseen rastros de esta y de hemicelulosa.

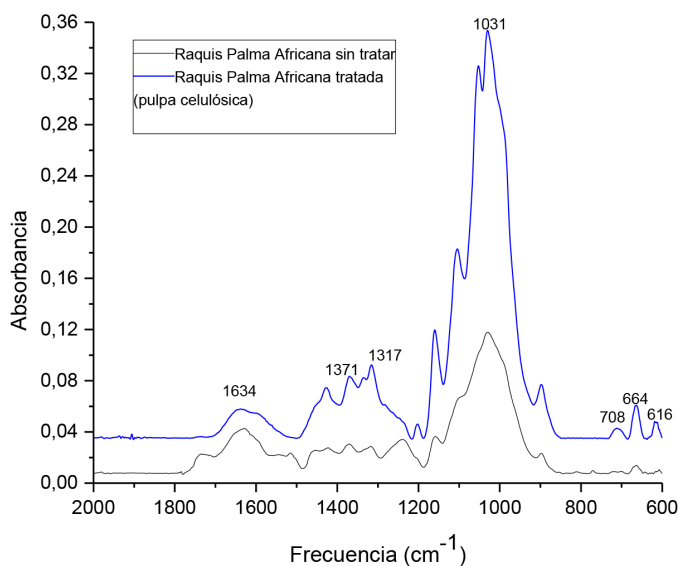


Figura 2. ATR-FT-IR para la muestra de raquis de palma africana.

Seguidamente, se analiza el TGA para cada una de las pulpas obtenidas. Primero se observa un primer decaimiento alrededor de los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ que corresponde a la humedad de la muestra, siendo este de 7% para la muestra tratada de bagazo de caña y de 9% para la muestra tratada de raquis de palma africana. El siguiente decaimiento es alrededor de los $250\text{-}350\text{ }^{\circ}\text{C}$, ocasionado por la degradación de celulosa y hemicelulosa. Estos obtuvieron un valor de 73% y 62% para bagazo de caña y palma africana, respectivamente.

Al obtener las pulpas celulósicas, se realizan las hojas de acuerdo a la norma TAPPI T205 y se procede a conformarlas con el gramaje de 75 g/m^2 , para que estas sean comparadas con el papel comercial de banano que se encuentra en el mercado. Seguidamente, se realizan las mediciones de tensión y los respectivos tratamientos estadísticos. Los resultados se pueden ver en la tabla 1, en donde se muestra que el papel generado del raquis de la palma africana es el que presenta mayor resistencia a la tensión elástica.

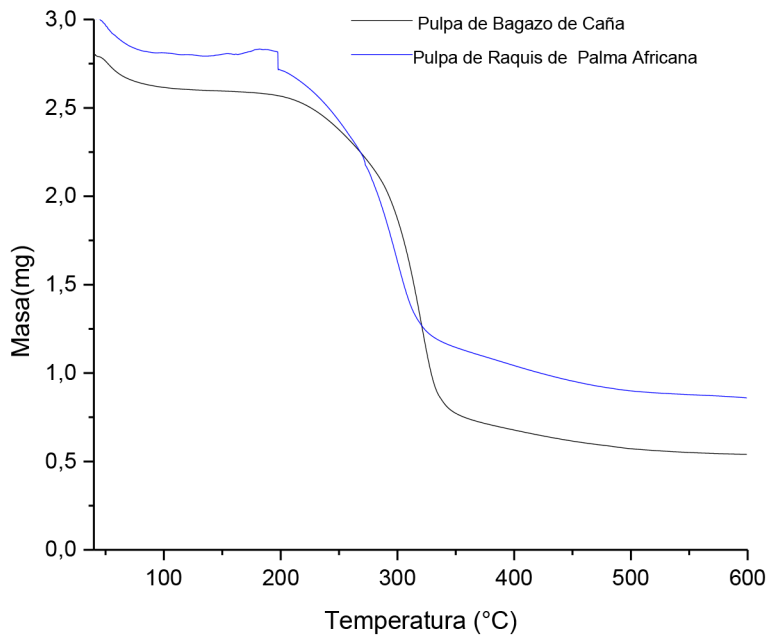


Figura 3. Análisis termogravimétrico (TGA) para las pulpas de bagazo de caña y raquis de palma africana.

Tabla 1. Resultados de la tensión elástica de los diferentes tratamientos.

Nº de datos	Tratamiento 3 (Hojas de banano comerciales) lbf	Tratamiento 2 (Bagazo de caña) lbf	Tratamiento 3 (Raquis de Palma africana) lbf
1	12,60	10,45	10,40
2	11,80	11,60	12,20
3	11,20	9,55	12,00
4	11,60	10,65	11,20
5	11,20	9,60	13,60
6	11,40	9,55	11,80
7	11,40	8,70	13,80
8	11,80	9,95	12,60
9	10,20	8,85	10,80
10	11,20	10,20	11,00
Promedio	11,58	9,91	11,94

Los datos serán tratados estadísticamente para comprobar los supuestos del ANOVA y así comprobar que no existen diferencias relevantes entre los métodos. De existir, se analizarán las posibles razones y se determinará cuál de los métodos presentó resultados más satisfactorios.

La prueba ANOVA es una prueba paramétrica, y como tal requiere una serie de supuestos para poder ser aplicada correctamente. Esta prueba en realidad sirve no solo para estudiar las dispersiones o varianzas de los grupos, sino para estudiar sus medias y la posibilidad de crear subconjuntos de grupos con medias iguales. Los supuestos que se deben de cumplir para aplicar la prueba de ANOVA son:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homogeneidad).

Las pruebas de normalidad se utilizan para determinar si un conjunto de datos está bien modelado por una distribución normal o no, o para calcular la probabilidad de una variable aleatoria de fondo que se distribuya normalmente. Mediante la figura 4 se puede considerar que los tratamientos presentan un comportamiento normal, ya que los valores observados se sitúan sobre la recta esperada bajo el supuesto de normalidad; no se observa un comportamiento aleatorio de los datos o tratamientos.

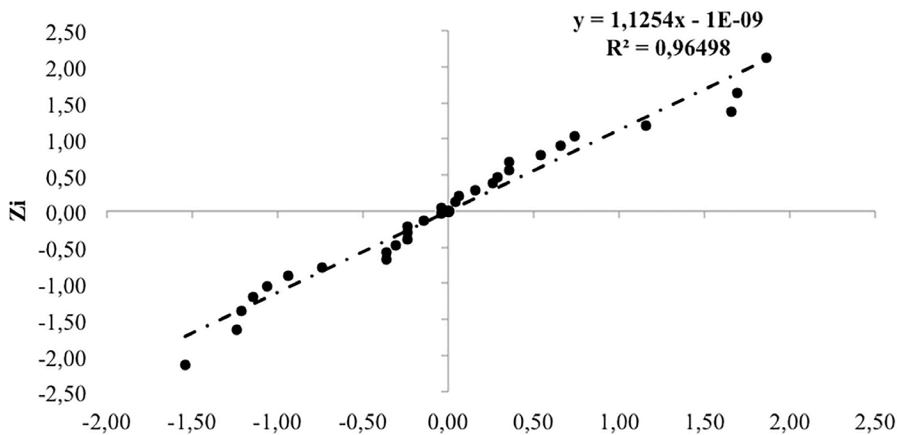


Figura 4. Gráfico de normalidad de los tratamientos.

La prueba de Shapiro Wilks (Díaz, 2009) verifica si los tratamientos fueron generados por un proceso normal, mediante las hipótesis estadísticas:

- H_0 : Los datos proceden de una distribución normal.
- H_A : Los datos no proceden de una distribución normal.

Por lo tanto, se realizó esta para cada uno de los tratamientos. En el caso del papel elaborado a partir del pinzote de banano, el W fue de 0,918; para el papel fabricado utilizando bagazo de caña, el W fue de 0,945; y para el papel elaborado a partir del raquis de palma africano, el W fue de 0,962. El W estadístico para los tres tratamientos fue menor que el W proporcionado en la tabla establecida para la determinación de la prueba de Shapiro-Wills, el cual fue de 0,978, por lo que se determinó que se acepta la hipótesis nula con un 95 por ciento de confianza, confirmando un comportamiento normal por parte de los tratamientos en cuestión.

La suposición de independencia en los residuos puede verificarse si se grafica el orden en que se colectó un dato contra el residuo correspondiente. De esta manera, si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, esto es evidencia de que existe una correlación entre los errores y, por lo tanto, el supuesto de independencia no se cumple. Si el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, el supuesto se está cumpliendo. Se realizaron 10 muestras por cada tratamiento, los cuales son totalmente independientes, ya que no se observa un patrón de comportamiento fijo o constante entre estas. Mediante la figura 5 se puede verificar este comportamiento: las 30 muestras de tensión tomadas son completamente diferentes entre ellas.

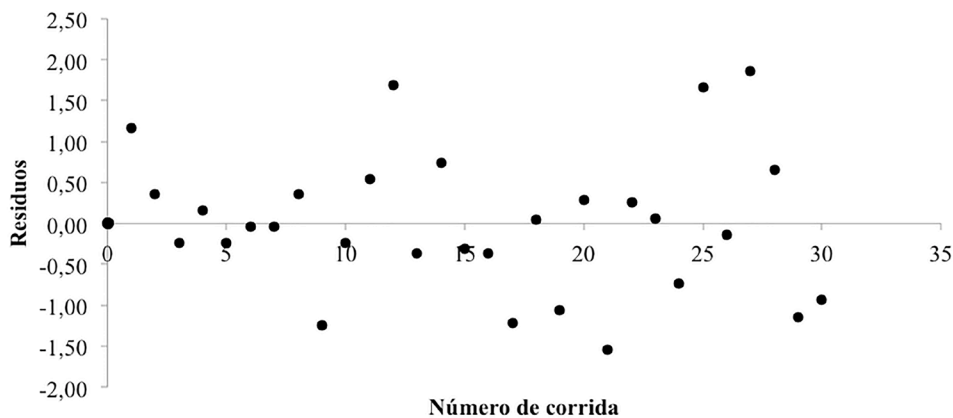


Figura 5. Gráfico de independencia de los tratamientos.

Para determinar si la varianza de los datos o tratamientos fue constante, se realizó una gráfica (ver figura 6) en la que se demuestra que existe una distribución homogénea, lo que quiere decir que su varianza durante todo el proceso fue constante; es decir, la varianza de los errores y los residuos no cambió. Esto se determina mediante la figura 6. Además, este supuesto de varianza constante también se comprobó al realizar la prueba de Barttle (Walpole, Myers y Myers, 1999) que establece las siguientes hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_A: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algún } i \neq j$$

Al realizar esta prueba, se aceptó la hipótesis nula con un 95 por ciento de confianza, ya que el valor de X_0^2 fue de 3,26 y el $X_{(\alpha, K-1)}^2$ fue de 5,99. Este, al ser mayor, permite aceptar lo estipulado en esta hipótesis describiendo un comportamiento de varianza constante en los tratamientos.

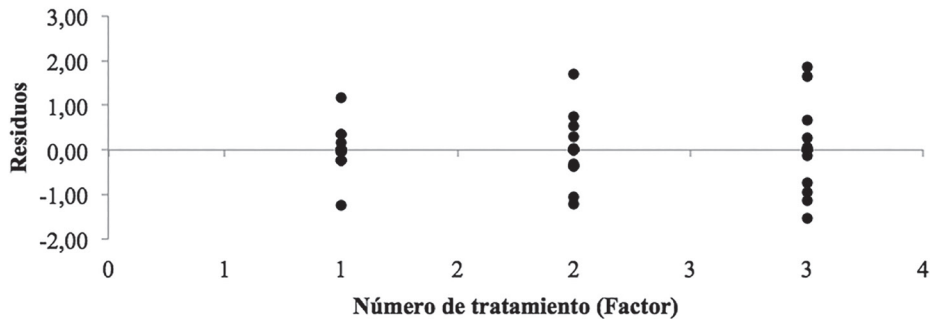


Figura 6. Gráfico de varianza de los tratamientos

Se realizó la medición de tensión elástica a 10 muestras de cada uno de los 3 tratamientos en cuestión, que fueron la elaboración de papel utilizando bagazo de caña, palma de raquis africana y pinzote de banano. Se determinó que uno de los tratamientos mencionados anteriormente difiere de manera significativa con respecto a los valores de la media de los otros tratamientos. Esto se comprobó mediante la aplicación de la prueba de ANOVA, la cual establece las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ para algún } i \neq j$$

Se rechazó la hipótesis nula, que establece que los tratamientos son iguales, y se aceptó la hipótesis alternativa con un 95% de confianza, la cual plantea que uno de los tratamientos es diferente ya que el F^o fue de 13,78 y el $F_{\alpha/2, n1-1, n2-1}$ fue de 3,35. Por lo tanto, este último, al ser menor, permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de tratamientos.

Al rechazar la hipótesis nula de igualdad de los tratamientos, se procede a la aplicación de un método de ANOVA llamada LSD (Diferencia mínima significativa),

en la cual se comparan las medias de los tratamientos para poder conocer cuál de los tratamientos es el que difiere de los demás. El papel fabricado utilizando el pinzote de banano y el papel fabricado a partir del raquis de palma africano son muy cercanos a la media con una desviación positiva. En cambio, el papel fabricado utilizando bagazo de caña presentó una diferencia significativa en la media, y además con una desviación negativa que hace que la media de los tratamientos disminuyera. Esto se demuestra mediante la figura 7, en la cual se puede ver cuál es el comportamiento de los tratamientos.

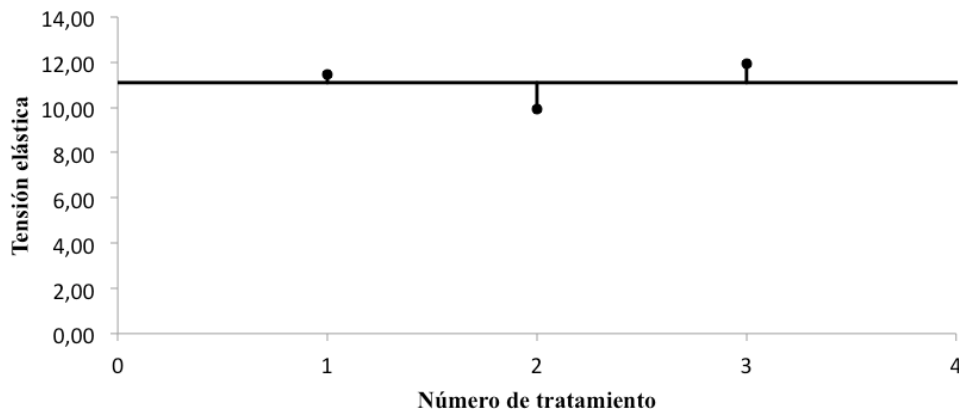


Figura 7. Gráfico de desviación con respecto a la media de los tratamientos.

La tensión elástica de la hoja fabricada a partir de bagazo de caña es menor con respecto a la tensión elástica de las hojas hechas del raquis de palma africana y de la de pinzote de banano. Esto se demuestra mediante la figura 8, donde se compara la tensión elástica de cada tratamiento. Si dos intervalos de confianza se traslapan, los tratamientos son estadísticamente iguales en cuanto a sus medias, pero si no se traslapan entonces son diferentes. Así se puede ver que el método LSD detecta con una confianza de 95 por ciento que existe una diferencia significativa entre el tratamiento 1 (papel a base de pinzote de banano) y el tratamiento 2 (papel a base de bagazo de caña). También existe una diferencia significativa entre los tratamientos (papel a base de palma de raquis africana) y el tratamiento 2, pero no existe una diferencia significativa entre el tratamiento 1 y el tratamiento 3, lo cual quiere decir que estos se están traslapando.

A través del diagrama de cajas de la figura 9 también se demuestran las diferencias significativas entre los tratamientos como se mencionó anteriormente. De igual forma, se puede visualizar que el tratamiento 2 es el que presenta una menor tensión elástica comparado con los otros dos. También se observa que el tratamiento 3 es el que tiene una medida de tensión elástica mayor.

Se determinó después de las pruebas realizadas que el papel elaborado a partir del raquis de palma africana es el que presenta una mejor calidad, ya que su tensión elástica es mayor que la de los otros dos papeles. Esto puede ser debido a la paste de celulosa utilizado para confeccionar los papeles, ya que si no se extrae de forma correcta la mayor cantidad de lignina presente en la celulosa, la calidad del papel se verá afectada de

manera negativa. Quizás por este motivo el papel elaborado a partir del bagazo de caña sea el que presenta una menor tensión elástica, disminuyendo la calidad del producto. En cambio, el papel fabricado utilizando el raquis de palma africana quizás presentaba menor cantidad de lignina, permitiendo que su calidad sea mejor que la del papel elaborado a partir del pinzote de banano, el cual ya es comercializado.

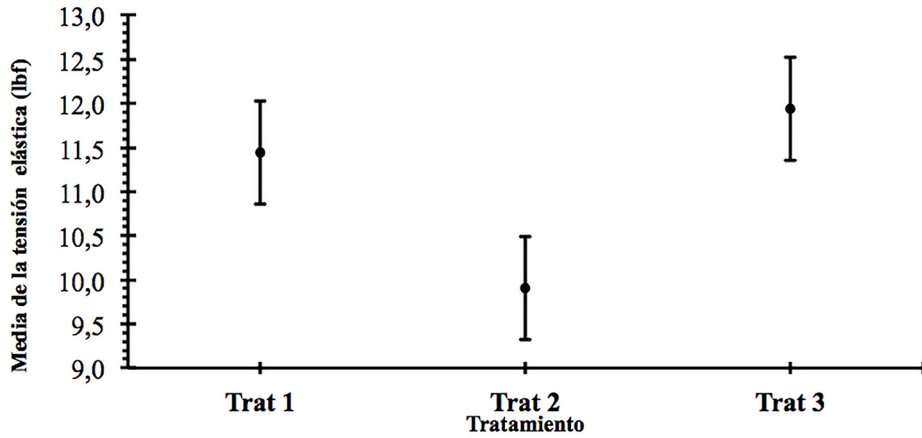


Figura 8. Gráfico de tensión elástica vs tratamientos.

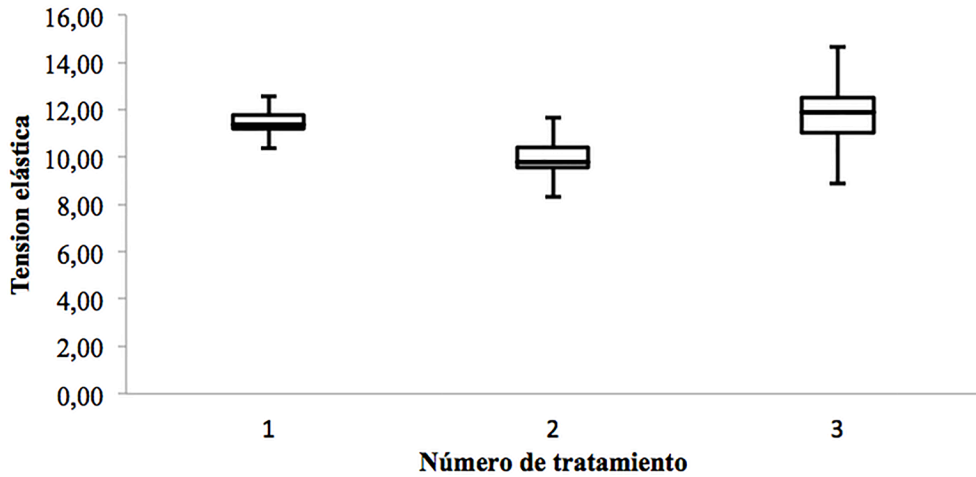


Figura 9. Gráfico diagrama de cajas.

4. CONCLUSIONES

- Los tres tratamientos en cuestión cumplieron los supuestos de normalidad, independencia y varianza constante que establece la prueba de ANOVA.
- El papel elaborado a partir del bagazo de caña presentó diferencia significativa al comparar su media con la de los otros dos papeles elaborados utilizando el raquis de palma africano y el raquis de banano.
- El papel fabricado con raquis de palma africana fue el que presentó una mayor tensión elástica, siendo el papel de mejor calidad comparado con los otros dos.

REFERENCIAS

- Browning, B. (1967). *Methods of Wood Chemistry. Vol II*. New York: Interscience Publisher.
- Carrere, R. (2017). *Plantaciones para pulpa de papel: un problema creciente*. Recuperado el 11 de mayo de 2017 de: http://wrm.org.uy/es/files/2013/04/Plantaciones_para_pulpa_de_papel.pdf
- Diaz, C. A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Fortunati E, Puglia D, Monti M, Peponi L, Santulli C, Kenny J y Torre, L. (2013). Extraction of Cellulose Nanocrystals from Phormium tenax Fibers. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2), 319-328.
- Greenpeace. (2010). *La destrucción de las selvas de Indonesia para fabricar papel: el caso de Sinar Mas*. Madrid: Greenpeace.
- Leonard, N., y Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid: Díaz de santos S.A.
- Silvani, F. A. (2008). Consultorefca. Obtenido de <http://consultoresfca.blogspot.com/2008/09/tecnologia-tension-del-papel-en-la.html>
- Sindicato Nacional del Papel, Prensa y Artes Gráficas. (1957). *Normas y condiciones generales de contratación, distribución y venta reconocidas como usos de comercio en la industria gráfica española, y sus afines las de manipulados del papel y del cartón*. España: Sindicato Nacional del Papel, Prensa y Artes Gráficas.
- TAPPI. (2013). *Tensile properties of paper and paperboard T494*.
- Walpole, R., Myers, R. y Myers, S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Mexico: Prentice- Hall Hispanoamericana, S.A.

