

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**PULPA QUÍMICA, MÉTODO SODA-
ANTRAQUINONA, A PARTIR DE TALLOS DE
Guadua angustifolia Y *Bambusa vulgaris***

Presentado por:

María Fernanda Rubio Álvarez

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **MARÍA FERNANDA RUBIO ÁLVAREZ**, intitulado “ **PULPA QUÍMICA, MÉTODO SODA-ANTRAQUINONA, A PARTIR DE TALLOS DE *GUADUA ANGUSTIFOLIA* Y *BAMBUSA VULGARIS*”.**

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 11 de Enero de 2018

.....
Mg. Sc. Graciela Egoavil Cueva Gálvez
Presidente

.....
Mg. Sc. Miguel Meléndez Cárdenas
Miembro

.....
Mg. Sc. Leonidas Miguel Castro
Miembro

.....
PhD. Héctor Enrique Gonzales Mora
Asesor
.....

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a Celedonio y Martha

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Ana María y Pedro, por haberme apoyado y preocupado por cada una de las fases de la investigación. A mi tía Sonia, quien ha estado presente en cada paso importante en mi vida.

Gracias a Juan Carlos, Christina y Marco por el apoyo en la fase de laboratorio.

Gracias a todo el equipo de la DEII de Sierra y Selva Exportadora por haberme apoyado de manera incondicional y haber sido tan comprensivos conmigo.

Gracias al profesor Enrique Gonzales Mora por su apoyo incondicional.

RESUMEN

En el presente estudio se evalúa la influencia de dos variables en la obtención de pulpa, utilizando el método soda-antraquinona, a partir de material lignocelulósico de dos especies de Bambú (*Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*). Las variables del proceso estudiado son: especie, concentración de reactivo (NaOH), a 3 diferentes concentraciones (16, 18 y 22 por ciento), Factor H utilizado (1000, 1200 y 14000) y; grado de refinado al que se somete a la pulpa medido por el Grado de drenabilidad (°SR). En el procedimiento del estudio se sometió la materia prima a un proceso de astillado, luego las astillas fueron sumergidas en agua por un periodo de 24 horas, para luego seguir un proceso de pulpeo químico utilizando el método soda-antraquinona. La pulpa obtenida, fue pasado por un proceso de refinado a 4000 y 6000 revoluciones, para luego formar las hojas de ensayo que fueron posteriormente sometidas a una evaluación de aptitud papelera. De los resultados obtenidos, se concluye que el álcali activo influye de manera significativa en las propiedades físico-mecánicas de ambas especies en estudio, y que la *Bambusa vulgaris* tiene una mejor aptitud papelera que la *Guadua angustifolia*.

Palabras claves: Bambú; papel; Factor H; álcali activo; propiedades físico-mecánicas

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Poaceae, Bambusoideae	3
1.1. <i>Guadua angustifolia</i> :.....	6
1.2. <i>Bambusa vulgaris</i> :.....	7
2. Utilización de Bambú en la industria papelera :.....	8
3. Caracterización química del bambú :	10
4. Características biométricas del bambú :	12
5. Elaboración de papel	14
5.1. Obtención de pulpa: Proceso químico; aditivos de pulpeo.	14
5.2. Refinado:.....	16
6. Evaluación de las características papeleras	19
7. Tipos de papel	21
III. Materiales y Métodos	23
1. Lugar de ejecución	23
2. Materiales y equipos	23
2.1. Material estudiado:.....	23
2.2. Reactivos:	23
2.3. Materiales de laboratorio:	23
2.4. Equipos:.....	24
3. Métodos y procedimientos	25
3.1. Preparación de la materia prima para la obtención de pulpa:.....	25
3.2. Obtención de pulpa:	25
3.3. Lavado de la pulpa y obtención de rendimiento	27
3.4. Refinado de la pulpa y control de refinado.....	28
3.5. Formación y acondicionamiento de hojas de ensayo:.....	29
3.6. 3.3.6. Ensayos físico-mecánicos de las hojas de ensayos:.....	29
IV. Resultados y discusión	31
1. Proceso de cocción	31
2. Estudio biométrico de fibras	34
3. Refinado y propiedades físico mecánicas :.....	36
3.1. Refinado. Efecto sobre algunas propiedades:	37
4. Propiedades físico-mecánicas :.....	39
4.1. Espesor:	40
4.2. Blancura y Opacidad:	40
4.3. Permeabilidad:.....	41
4.4. Longitud de rotura:.....	41
4.5. Alargamiento:.....	42
4.6. Índice de rasgado:.....	43
4.7. Doble pliegues:.....	43
5. Aptitud papelera :.....	44
V. Conclusiones	47
VI. Recomendaciones	49

VII. Referencias bibliográficas.....	51
VIII. Anexos.....	57

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Contenido de Ceniza, Lignina y Holoceulosa en diferentes especies de Bambú (por ciento bms).	11
Tabla 2: Comparación de los resultados de análisis de composición química de la especie <i>Guadua angustifolia</i> con otros estudios realizados.	11
Tabla 3: Características Biométricas de diferentes especies de bambú.	12
Tabla 4: Estudio anatómico de la especie <i>Guadua aculeata Rupr.</i>	13
Tabla 5: Clasificación de la relación de Runkel.	14
Tabla 6: Condiciones de cocción químico a la soda para <i>Bambusa vulgaris</i>	16
Tabla 7: Grados de Refinado, Schoper Riegler, para 5 especies de bambú.	18
Tabla 8: Resultados de Ensayos físico-mecánicos sobre pulpa química y semiquímica de <i>Bambusa vulgaris</i>	21
Tabla 9: Condiciones de digestión de las pulpas.	25
Tabla 10: Diseño experimental utilizado para el proceso de digestión.	26
Tabla 11: Normas de los ensayos físico-mecánicos de la hoja de pulpa.	29
Tabla 12: Rendimientos de pulpa química obtenida a partir de tallos de <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	31
Tabla 13: Resultados de estudio biométrico de las especies <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	34
Tabla 14: Resultados de control de refinado y ensayos físico-mecánicos.	36
Tabla 15: Propiedades físico-mecánicas de la especie <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i> a un °SR 45.	39
Tabla 16: Requisitos de pruebas físico-mecánicas para diferentes clases de papel.	45

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Estructura morfológica del culmo de la <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.....	5
Figura 2: Digestor del laboratorio de pulpa y papel de la UNALM	27
Figura 3: Incocidos y pulpa de <i>Guadua angustifolia</i>	28
Figura 4: Refinador PFI.	28
Figura 5: Comparación de rendimientos de pulpa química entre las especies <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	32
Figura 6: Comparación de rendimientos de pulpa química utilizando diferentes concentraciones de álcali activo para la especie <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	33
Figura 7: Representación gráfica a escala 1:50 del grosor de la pared celular para las especies de bambú en estudio.	35
Figura 8: Comparación del espesor a diferentes grados de refinado para las dos especies de bambú en estudio.	37
Figura 9: Comparación de la longitud de rotura a diferentes grados de refinado para las dos especies de bambú en estudio.	38
Figura 10: Superficie de respuesta del espesor en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie <i>Guadua angustifolia</i>	40
Figura 11: Superficie de respuesta la permeabilidad en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	41
Figura 12: Superficie de respuesta de la longitud de rotura (m) en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie <i>Bambusa vulgaris</i>	42
Figura 13: Superficie de respuesta del alargamiento en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	43
Figura 14: Superficie de respuesta de los doble pliegues en relación al factor H y álcali (por ciento) para <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Bambusa vulgaris</i>	44

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Rendimientos promedio de las especies de bambú en estudio.	57
Anexo 2 Análisis de varianza (ANVA) de los rendimientos promedio de las especies de bambú en estudio.	59
Anexo 3 Estudio biométrico de las especies de bambú en estudio.....	60
Anexo 4 Análisis de varianza (ANVA) de los grados Shopper obtenidas de las pulpas de las especies de bambú en estudio.....	61
Anexo 5 Análisis de varianza (ANOVA) a los grados Shopper obtenidos para la <i>Guadua angustifolia</i> a diferentes grados de refinado.	62
Anexo 6 Análisis de varianza (ANOVA) a los grados Shopper obtenidos para la <i>Bambusa vulgaris</i> a diferentes grados de refinado.	63
Anexo 7 Ajuste de datos para comparación de propiedades físico-mecánicas.....	64
Anexo 8 Análisis estadístico de las variables ajustadas a 45°SR con respecto a alcali activo y factor H utilizado.	91

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación de pasta, papel y derivados del papel alcanza cifras que sitúan a esta industria entre las más grandes del mundo. En la actualidad, el consumo de papel a nivel mundial ha mantenido un crecimiento constante, por lo que es de vital importancia cubrir la demanda de este, logrando la armonía entre la naturaleza y la industria. Por lo tanto, se ha visto en la obligación de recurrir a nuevas materias primas y por consiguiente a buscar paulatinamente nuevas reservas para satisfacer sus necesidades.

Dentro de las fibras no madereras para la producción de papel se encuentra el bambú. Cruz (2009) señala que Brasil posee grandes plantaciones comerciales de bambúes como generadoras de materia prima para la producción de celulosa, papel y alcohol etílico; y otros países como China e India, han optado desde hace muchos años por la fabricación de papel en base a este. Da Costa *et al.* (2015) señala que una plantación de bambú presenta ventajas silviculturales frente a una plantación de árboles, ya que su crecimiento es más rápido, hay una renovación a corto plazo y su propagación es bastante sencilla.

Según el inventario de bambúes, realizado por Londoño (1998) para América Latina y en particular para el Perú, existen 37 especies reunidas en 8 géneros. Los departamentos de Pasco y del Cuzco son los que albergan la mayor diversidad, mientras que los departamentos de Madre de Dios y Amazonas son los que tienen la mayor área cubierta por bambúes.

En el sureste de la Amazonía peruana, en los departamentos de Ucayali, Madre de Dios, Cusco y Junín, existen grandes extensiones de bosques naturales con bambú, que de acuerdo a la información oficial del INRENA, corresponden a aproximadamente 39979 km² de bosques con bambú, siendo las especies dominantes *Guadua affinis angustifolia*, *G. sarcocarpa*, *G. superba*, *G. chacoensis* y *G. panicula*. De manera similar, en los departamentos del noreste del país, especialmente en Amazonas, San Martín, Cajamarca y en menor grado en Tumbes y Piura, se encuentran bosques naturales de bambú, mayormente del género *Guadua angustifolia*, además de diversas especies del género *Chusquea spp* (MINAGRI, 2008).

Por lo expuesto, se puede ver que el bambú en nuestro país es un recurso abundante y diverso, con una gran potencialidad de desarrollo que podría ser incorporado en la economía nacional, de allí que, una alternativa a optarse, sería incursionar en la industria papelera, la cual tiene un crecimiento constante de la mano con el crecimiento demográfico. Para lo cual es importante, hacer estudios de factibilidad para la instalación de plantas pilotos e investigar las características papeleras de las especies que en la actualidad se tienen dentro del territorio.

En este contexto, los objetivos del presente estudio fueron evaluar las pulpas celulósicas obtenida a partir de *Guadua angustifolia* proveniente de La Florida (Cajamarca) y *Bambusa vulgaris* proveniente de Mala, Lima. En función de las variables: álcali activo y factor H, en el proceso químico soda-antraquinona. De esa manera se pretende, contribuir con la información existente en el tema.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. POACEAE, BAMBUSOIDEAE

Azzini *et al.* mencionado por Vera (2010) señala que las especies vegetales conocidas comúnmente como bambú pertenecen a la familia Poaceae, y están agrupadas en la subfamilia Bambusoideae, la cual posee 75 géneros y 1250 especies, distribuidas a lo largo del mundo exceptuando Europa.

El mayor número de especies de bambúes se encuentran en la región del Pacífico asiático, en donde los géneros más comunes son *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Farsia* y *Phyllostachys*. En América tropical existen casi la mitad de la diversidad mundial de bambúes, con un total de 41 géneros y 451 especies (Castaño & Moreno, 2004).

Cruz (2009) indica que los bambúes comprenden la más primitiva, diversa y menos estudiada subfamilia de las gramíneas. Incluye miembros herbáceos y leñosos ubicados dentro de 2 grandes supertribus: Olyrodae (bambúes herbáceos) y bambusodae (bambúes leñosos).

Castaño & Moreno (2004) indican que los bambúes leñosos, o de la tribu Bambuseae, se dividen en 9 subtribus, 3 endémicas de América (*Astrostylidiinae*, *Chusqueinae* y *Guaguinae*), 5 del Viejo Mundo (*Bambusinae*, *Nastinae*, *Melocanninae*, *Racemobambosinae* y *Shibataeinae*) y una común para ambos continentes (*Arundinatiinae*). Los mismo autores señalan que los bambúes leñosos se caracterizan por tener rizomas fuertes bien desarrollados, culmos leñosos, brotes nuevos protegidos por hojas caulinares, complejos sistemas de ramificación, lámina foliar decidua, floraciones cíclicas y espigas con múltiples flores bisexuales. Crecen en hábitats abiertos, donde son polinizados por el viento, y su diversidad está asociada con la radiación que llega a los diversos valles y laderas abruptas de cordilleras, montañas y serranías.

En cuanto a su utilización, Cruz (2009) señala que en el Hemisferio Oriental existen especies apropiadas para la producción de celulosa, papel y alcohol, como son *Bambusa vulgaris* Var. *vulgaria* y *Dendrocalamus strictus*, otras para la construcción de distintos

tipos de muebles caracterizados por ser livianos y confortables como el género *Schizostochyum*, y otra son ricas en sabor y textura como el *Dendrocalamus asper*, el cual es utilizado en la producción de rebrotes comestibles a nivel industrial.

Por otro lado en los últimos años, casi todos los países de América se han involucrado en el conocimiento integral de los bambúes de esta parte de la tierra, profundizando su conocimiento y utilización. Cruz (2009) señala que Colombia es rica en conocimiento, plantaciones, utilización, estudios, construcciones e industrialización con bambúes, especialmente con su especie nativa *Guadua angustifolia*; Brasil ha instalado grandes extensiones de plantaciones de *Bambusa vulgaris* como generadoras de materia prima para la producción de celulosa, papel y alcohol etílico y Costa Rica posee un proyecto de vivienda social que promueve el uso *Guadua angustifolia* como materia prima en la construcción de viviendas.

En el Perú, el bambú ha sido utilizado por diversas comunidades nativas y rurales, desde las tierras altas de los Andes hasta las tierras bajas de la región amazónica (Londoño, 1998). Ulloa corroborado por Espinoza (2010) señala que en el Perú se encuentran descritos alrededor de 157 géneros y 750 especies, existiendo además 81 endemismos en 19 géneros.

Londoño (1998) señala que los bambúes son plantas con una gran diversidad morfológica; las hay de pocos centímetros con tallos herbáceos hasta bambúes de 30 metros de altura con tallos leñosos.

McClure citado por Ortiz (2017) menciona que los bambúes están conformados principalmente por rizomas, culmos y ramas, además de yemas, hojas caulinares, follaje, inflorescencia y frutos. Aunque el estudio taxonómico de las plantas se hace a partir de la flor, la floración infrecuente de los bambúes ha dado como resultado que otras estructuras morfológicas jueguen un papel relevante en la clasificación de estas plantas. A continuación, se describe cada una de estas estructuras:

- a) **Rizoma:** Es el órgano responsable de la reproducción vegetativa a través de su ramificación (Hidalgo, 2003). El sistema de rizomas forma la parte subterránea de la planta sirviéndole de anclaje a ésta en el suelo. Los rizomas cumplen una función vital: es el órgano responsable de la reproducción vegetativa a través de la ramificación de los rizomas. También cumple una función de almacenaje y

transporte de nutrientes dándole, asimismo, el espaciamiento entre culmos y el vigor (Reátegui 2009).

Castaño y Moreno (2004) señalan que es un eje segmentado, típicamente subterráneo, que constituye la estructura de soporte de la planta y juega un papel importante en la absorción de nutrientes. Existen tres formas básicas de rizomas: paquimorfo, leptomorfo y amfimorfo.

- b) **El culmo:** Constituye el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma; equivale al tallo de otras plantas leñosas. Se divide en tres partes: cuello, nudos y entrenudos. El cuello es la parte que une el rizoma y el culmo, los nudos son los puntos de unión de los entrenudos; y los entrenudos son la porción del culmo comprendida entre dos nudos (Castaño y Moreno, 2004). Es precisamente de esta parte de la planta, a partir de la cual se elabora papel. En la Figura 1 se puede ver la estructura morfológica del culmo de la *Guadua angustifolia* Kunth.

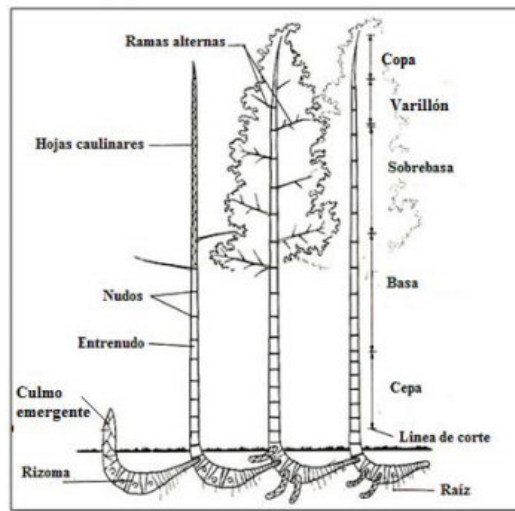


Figura 1: Estructura morfológica del culmo de la *Guadua angustifolia* Kunth.

FUENTE: Altez, 2016 citando a *Bambusa estudio*.

- c) **Ramas:** Se presume que el sistema de ramificación de los bambúes leñosos es una adaptación por la competencia de luz por lo que la rápida expansión de superficies fotosintéticas y la posición óptima de las hojas son factores importantes (Reátegui 2009 citando a Judziewicz).

- d) **Hojas:** Las hojas de bambú caen un año después de su aparición, caen y son renovadas. Las viejas hojas son cambiadas por nuevas al mismo tiempo. Incluso la temporada y la forma de renovación es diferente de acuerdo a la especie. Esta forma de mantenerse verde es para aumentar la eficiencia fotosintética (Reátegui 2009).
- e) **Hoja caulinar:** Consiste en una hoja amplia, una lámina reducida o modificada, y una lígula interna, pero la lígula externa está usualmente ausente. Pueden presentarse aurículas y fimbrias y una banda de tejido conocida como “faja” conecta la base de la hoja con la línea nodal (Reátegui 2009 citando a Judziewic).
- f) **Inflorescencia:** La espiguilla es la unidad básica de la inflorescencia de las POACEAE. En la *Guadua angustifolia* es una panícula con flores pequeñas e imperfectas, de hasta 9 cm de longitud que se encuentran ubicadas en los extremos de las ramas. Son bisexuales, poco vistosas y de color rosado claro (Hidalgo, 2003).

1.1. **GUADUA ANGUSTIFOLIA:**

Nombre científico: *Guadua angustifolia*.

Nombre común: Bambú, caña guadua, caña brava, caña macho, caña de Guayaquil.

Familia: Poaceae

La *Guadua angustifolia* es una especie endémica en América y se le considera como nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador. La distribución de esta especie se da en las siguientes zonas de vida : Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), bosque húmedo subtropical (bh-ST), bosque seco tropical (bs-T) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). Crece desde 0 msnm hasta 2 600 msnm, con temperaturas muy variables que van desde los 16 °C hasta los 36 °C, soporta alta humedad ambiental (Castaño & Moreno 2004).

Es un bambú de rizoma paquimorfo, nativo del sureste suramericano, particularmente de Colombia y Ecuador. Se encuentra en grupos de tallos espaciados, arqueados apicalmente; los tallos presentan color verde oscuro a verde claro y una banda blanquecina de 1.0 a 1.5 cm. de ancho en los nudos (Monroy 2006).

Cruz (2009) señala que esta especie es la más sobresaliente de los bambúes americanos y es muy importante a nivel mundial. Es el tercer bambú más alto del mundo superado únicamente por dos especies asiáticas.

Añazco (2013) indica que dentro de todos los bambúes americanos, la especie que más sobresale es la *Guadua angustifolia*, seleccionada como una de las 20 mejores del mundo por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, su gran tamaño (20 o 30 m) y por su comprobada utilización en la industria de la construcción y en la industria de pisos, paneles y aglomerados. Castaño & Moreno (2004) corroboran lo dicho por Añazco, señalando que la *Guadua angustifolia* es la especie más sobresaliente del continente americano.

La *Guadua angustifolia* tiene fibras naturales muy fuertes que permiten desarrollar productos industrializados tales como pisos de parquet, paneles, aglomerados, laminados y estereras. También, por su alto contenido de celulosa es una buena fuente para la obtención de pulpa y papel (Chiluiza y Hernández, 2009).

Pérez citado por Añazco (2013) señala que la guadua es considerada como uno de los bambúes de América más apropiados para la fabricación de papel. Su pulpa puede compararse con las pulpas obtenidas de *Bambusa tulda* de la India y *Arundinaria alpina* en África. El mismo autor indica que esta es la especie de bambú más utilizada en el Perú, presentado una considerable cantidad de usos, muchos de los cuales no presentan un mayor grado de procesamiento. Sin embargo en el país se consumen muchos productos de otras especies de bambú que pueden ser elaborados tomando como materia prima cañas de esta especie. Las cañas de bambú son utilizadas como secciones de tallo directamente o con diversos grados de transformación; secas y preservadas para construcciones, abiertas para cerramientos y secciones basales y apicales para usos de acompañamiento de la construcción y agricultura.

1.2. **BAMBUSA VULGARIS:**

Nombre científico:	<i>Bambusa vulgaris</i> .
Nombre común :	Bambú dorado, bambú amarillo.
Familia :	Poaceae

El bambú dorado es probablemente originario de la India, pero está muy difundido en el Sudeste asiático y en el sur de China. Se ha introducido en cultivo en zonas tropicales y subtropicales, sobre todo en las islas del Pacífico. Se cultiva en Estados Unidos de Norteamérica, Centroamérica, Caribe y ampliamente en América del Sur desde Colombia y Venezuela hasta la Argentina, donde se registra en Buenos Aires, Corrientes, Misiones, Tucumán y Jujuy (Lizarazu, 2013).

En nuestro país, Pesantes (1985) señala que se ha encontrado *Bambusa vulgaris* Var. *Striata* distribuido en el oriente, al parecer introducido, pues no se han encontrado masas homogéneas. El mismo autor señala que esta especie posee rizomas paquimorfos, matas cespitosas, sedentarias, erectas, subcilíndricas u obcónicas, 6-10 (-15) m de altura. Tiene cañas erectas en la base y curvadas hacia el ápice, leñosas e inermes.

Monge citado por López (2009) señala que esta especie es de gran importancia por sus múltiples usos en más de 100 industrias y procesos de manufacturas; sobre todo en las producciones de muebles, objetos artesanales, artes de caza y pesca, producción de alimentos y especialmente en la construcción de viviendas rurales y periurbanas; actualmente esta especie está reconocida como la mejor aportadora de pulpa para la producción de papel y carbón de alta resistencia y calidad, aventajando a otras especies forestales conocidas hasta hace poco tiempo como las mejores en este rol. El mismo autor señala que en Argentina, Brasil, Chile y México, el cultivo de esta especie para vender sus astillas a la industria papelera, se considera una oportunidad de negocio, especialmente cuando se observa que anualmente las papeleras importan celulosas de fibras cortas, y el bambú con fibra larga es un material reciclable y más barato, dando papeles más resistentes y de mejor calidad.

2. UTILIZACIÓN DE BAMBÚ EN LA INDUSTRIA PAPELERA:

Mogollón *et al.* (sf.) señala que el papel tal como se le conoce en la actualidad, tiene sus orígenes en China, en el año 105 d.C., cuando Tsai Lun fabricó papel por primera vez utilizando fibra de caña de bambú, morera y otras plantas.

Da Costa *et al.* (2015) indican que los materiales lignocelulósicos no madereros más utilizados en el mundo para la producción de celulosa son: la paja (44 por ciento), el bagazo de caña de azúcar (18 por ciento), juncos (14 por ciento), bambú (13 por ciento), entre otros. El mismo autor señala que el bambú presenta ventajas tales como: crecimiento rápido, renovación a corto plazo y fácil propagación, lo cual lo convierte en una materia prima potencial para la producción de celulosa para papel.

La potencialidad del bambú como materia prima en la producción de pulpa y papel de elevada resistencia ha sido demostrada por diversos investigadores a lo largo del mundo. Gomide (1980) manifiesta que la pulpa proveniente del bambú es diferente a otras pulpas procedentes de fibras de maderas, presentando igual o mayor resistencia al rasgado que

ellas. Por otra parte, estas pulpas pueden ser utilizadas en la producción de papel absorbente, papel de embalaje, papel de impresión, entre otros.

El mismo autor señala que actualmente cerca de 35 especies de bambú son utilizadas como materia prima para la industria de pulpa y papel. Campos *et al.* (2003) coincide con Gomide y señala especies de bambú poseen fibras de características similares a las maderas duras y otras poseen fibras semejantes a las maderas blandas, así como existen especies de características intermedias.

Espinoza (2010) señala que muchas especies de bambú (principalmente *Bambusa vulgaris*) son aprovechadas para la producción de pulpa y papel, teniendo como ventajas su rápido crecimiento, facilidad del cultivo y transporte.

Kallaway (2010) señala que la industria del bambú en el mundo está valorada en 1 billón de dólares americanos y que Estados Unidos como principal importador de bambú en el mundo, debería apuntar a usar este material lignocelulósico para la producción de papel. El mismo autor señala que utilizar fibras alternativas para la fabricación de papel incrementa el empleo en el sector agricultura y que utilizar bambú es más sostenible debido a que usa menos agua y pesticidas que otros cultivos.

En algunos países como China e India, el bambú constituye la principal fuente de materia prima para la producción de celulosa y papel (Vera, 2010). Dhamodaran *et al.* (2003) coincide con Vera, señalando que la industria de celulosa representa aproximadamente la mitad del consumo de bambú de la India, y que esta utiliza alrededor de 3 millones de toneladas para la producción de pulpa.

Figuerola & Sardiña (2009) señalan que la especie idónea para producir papel es la *Bambusa Vulgaris*, destacando que el rendimiento por hectárea llega a 560 toneladas y que este tipo de fibra puede ser utilizada en la elaboración de bolsas y cajas industriales. Los mismos autores indican que Brasil, China y Japón son los únicos países que cuentan con extensas plantaciones para la comercialización de este agro-producto. Cruz (2009) coincide con ellos destacando las plantaciones comerciales de *Bambusa vulgaris* como generadoras de materia prima para la producción de celulosa, papel y alcohol etílico en Brasil.

Castaño & Moreno (2004) señalan que en el noreste de Brasil existen más de 200 mil hectáreas cultivada de *Bambusa vulgaris*, que se destinan a la producción de pulpa para la fabricación de cartones y empaques.

Sin embargo, Vera (2010) señala que a pesar de las ventajas agronómicas y tecnológicas de la pulpa celulósica producida a partir de bambú, su uso a nivel mundial es a baja escala, debido a la falta de información científica acerca de la constitución química y anatómica del bambú, y al desconocimiento tecnológico con respecto al procesamiento industrial adecuado de esta materia prima.

En el Perú con fines experimentales, la sociedad de Paramonga Limitada S.A. en el año 1978, en la localidad de Pucallpa, instaló parcelas experimentales de bambú, obteniendo resultados satisfactorios para la obtención de pulpa de papel en plantaciones de cuatro años de *Bambusa vulgaris* var. *Striata*, la misma que fue propagada en mayor escala en los terrenos de propiedad de la ex Papelera Pucallpa; pero que por razones coyunturales se encuentra abandonada (MINAGRI, 2008).

3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL BAMBÚ:

El conocimiento de la composición química de la madera, constituye desde el punto de vista papelerero un importante elemento complementario de juicio para evaluar su aptitud para fabricación de pulpa para papel. Las especies cuyas maderas tienen altos contenidos de celulosa y hemicelulosas y bajos de lignina, extractivos y cenizas presentan mejores posibilidades que aquellas cuya composición es inversa (Bueno, 1978).

Li (2004) señala que la composición química del bambú es bastante similar a la de la madera. Los principales constituyentes son: celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales representan el 90 por ciento del total de masa. Otros constituyentes en menor cantidad son: las resinas, taninos, entre otros.

Sin embargo, el mismo autor indica que comparado con la madera, el bambú tiene mayor contenido extractivos alcalinos, como el sílice. Bueno (1978) señala que las especies que tienen altos contenidos de cenizas y/o sílice darán lugar a un mayor desgaste de los elementos que intervienen en el talado, trozado, astillado y desfibrado, pudiendo también eventualmente presentar inconvenientes en la recuperación de reactivos en los procesos químicos y en la conservación de las máquinas papeleras.

Liese citado por Gutiérrez (2015) menciona que los componentes químicos de las células del culmo son celulosa (50 por ciento), hemicelulosas (25 por ciento) y lignina (25 por ciento). Dichas cantidades son similares a la madera, sin embargo el bambú no produce componentes tóxicos (extractivos) como el duramen de la mayoría de árboles. Por ello su durabilidad natural contra la biodegradación es generalmente bastante baja.

Rodríguez y Cáceres (1982) realizaron evaluaciones químicas a diferentes especies de bambú siguiendo los métodos de la norma TAPPI, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1: Contenido de Ceniza, Lignina y Holoceulosa en diferentes especies de Bambú (por ciento bms).

<i>Especie</i>	<i>Lignina (%)</i>	<i>Holoceulosa (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>
<i>Bambusa guadua</i>	25	78,8	3,7
<i>Bambusa arundinacea</i>	26,7	79,3	2,6
<i>Bambusa vulgaris</i>	23,6	81,5	4,1
<i>Bambusa amplexifolia</i>	25,5	75,8	2,3

FUENTE: Rodríguez y Cáceres (1982)

Estrada (2010) indica que la *Bambusa vulgaris* posee 26.9 por ciento de lignina y 66.5 por ciento de celulosa, mientras que la *Guadua angustifolia* posee 15.21 por ciento de lignina y 60.83 por ciento de celulosa.

Los resultados obtenidos de la evaluación de la composición química de la especie *Guadua angustifolia* realizada por Gutierrez (2015) en comparación con otros estudios se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Comparación de los resultados de análisis de composición química de la especie *Guadua angustifolia* con otros estudios realizados.

	<i>Lignina</i>	<i>Holoceulosa**</i>	<i>Extractivos (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>Sílice en cenizas (%)</i>
Estudio					
<i>Guadua angustifolia</i>	24,07	68,3	7,54 (en etanol al 96%)	4,94	2,94
Otros estudios					
<i>Guadua angustifolia</i>					
Azini y Salgado (1992)	20,6	60,4	19 (totales)		
Cuellas (2009)	21,88	58,8	6,47 (etanol)	3,80	
Cuhuluiza (2009)	19,72	71,42		5,16	

	Lignina	Holocelulosa**	Extractivos (%)	Cenizas (%)	Sílice en cenizas (%)
Otros estudios	□				
Gonzales (2002)	22,7	71,16	0,89 (alcohol benceno)	5,85	4,29
Otavio (1987)	20,6	60,4	19,00 (totales)		
Arrabal y Montoya (2013)			16,10 (acetona) y 11,60 (agua)		
Promedio Bambú*					
Otavio <i>et al.</i> (1987)	• 0,1	64,6	15,20 (totales)		

FUENTE: Gutierrez (2015)

4. CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DEL BAMBÚ:

Haun *et al.* (1966) indican que como regla, las fibras del bambú tienen la misma longitud que las fibras de latifoliadas pero son más cortas que las fibras de la mayoría de las coníferas. Sin embargo, las fibras de la especie: *Bambusa vulgaris*, son más largas que la mayoría de las especies tropicales, y llegan a alcanzar la longitud de las fibras de pino. Los mismos autores señalan que estudios de elasticidad de fibras en bambú señala que estas son flexibles y fuertes. También se ha demostrado que el papel de bambú tiene buenas características en suavidad y absorción, por lo que se podrían utilizar en la manufactura de materiales de alta calidad, tales como: el papel tissue, papel bond, entre otros.

Egbewole *et al.* (2015) estudian culmos de *Bambusa vulgaris* provenientes de Sarawa (Nigeria) y determinan que la longitud promedio de sus fibras es 2,88 mm, el diámetro promedio de sus fibras es 14,8 μm , el diámetro promedio del lumen fue de 9,55 μm y el grosor de su pared celular fue de 2,58 μm .

Rodríguez y Cáceres (1982) señalan las siguientes características biométricas para las siguientes especies de bambú:

Tabla 3: Características Biométricas de diferentes especies de bambú.

Especie	Longitud de fibra (mm)	Diámetro de fibra (micras)	Espesor de pared (e)
<i>Bambusa guadua</i>	1,3	10	2
<i>Bambusa arundinacea</i>	1,1	10	2
<i>Bambusa vulgaris</i>	1,2	11	3
<i>Bambusa amplexifolia</i>	1,2	10	2

FUENTE: Rodríguez y Cáceres (1982)

Zaragoza *et al.* (2014) realizan un estudio anatómico de culmos de *Guadua aculeata* Rupr. provenientes de Puebla-México, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 4:

Tabla 4: Estudio anatómico de la especie *Guadua aculeata* Rupr.

Variable	Sección longitudinal	Sección entrenudo			Sección cercana al nudo			Promedio
		Interno	Medio	Externo	Interno	Medio	Externo	
Longitud de fibra (mm)	Inferior	2,15	2,66	2,56	2,22	2,44	2,52	2,42
	Media	1,84	2,25	2,13	1,93	2,15	2,13	2,07
	Superior	1,84	2,22	2,12	1,66	1,99	1,96	1,96
	Promedio	1,94	2,38	2,27	1,93	2,19	2,20	2,15
Diámetro de fibra (µm)	Inferior	13,58	16,72	15,12	13,29	15,68	14,11	14,75
	Media	12,33	14,14	14,06	12,69	14,37	17,47	13,68
	Superior	12,22	13,42	12,62	12,15	13,02	12,21	12,61
	Promedio	12,71	14,76	13,93	12,71	14,36	13,60	13,68
Diámetro de lumen (µm)	Inferior	3,29	3,92	3,36	3,25	3,64	3,52	3,50
	Media	3,03	3,29	3,79	3,10	3,65	3,36	3,37
	Superior	12,22	13,42	12,62	12,15	13,02	12,21	12,61
	Promedio	12,71	14,76	13,93	12,71	14,36	13,60	13,68
Grosor de pared (µm)	Inferior	5,15	6,40	5,88	5,02	6,02	5,29	5,63
	Media	4,65	5,43	5,13	4,80	5,36	5,55	5,15
	Superior	4,58	5,08	4,79	4,73	5,00	4,61	4,80
	Promedio	4,79	5,64	5,27	4,85	5,46	5,15	5,19

Nota: Los promedios con letras iguales presentan diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia de 5 por ciento.

FUENTE: Zaragoza *et al.* (2014)

Un parámetro importante para predecir las propiedades papeleras a través de la morfología de las fibras es el índice de Runkel, el cual es la relación entre el doble del espesor de la pared y el diámetro del lumen (Toval, 2010).

Barrichuelo *et al.* (1983), afirman que la densidad básica de la madera se encuentra fuertemente correlacionada con el grosor de pared de la fibra, diámetro del lumen y longitud de la fibra; esto tiene un efecto en la calidad de la pulpa, puesto que una madera pesada que tiene pared celular gruesa y lúmenes angostos y por lo tanto más sustancia madera y menos espacios vacíos por unidad de volumen, producirá un pulpa de menor calidad al relacionar sus dimensiones de grosor de pared entre diámetro de lumen en tanto que ocurrirá lo contrario con maderas de baja densidad.

Larios (1979) clasifica la aptitud papelera de las fibras en base al índice de Runkel, tal y como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5: Clasificación de la relación de Runkel.

<i>Grado</i>	<i>Rango</i>	<i>Clasificación</i>
I	< 0,25	Excelente
II	0,25 – 0,50	Muy buena
III	0,5 – 1,00	Buena
IV	1,00 – 2,00	Regular
V	> 2,00	Mala

FUENTE: Larios (1979).

5. ELABORACIÓN DE PAPEL

5.1. OBTENCIÓN DE PULPA: PROCESO QUÍMICO; ADITIVOS DE PULPEO.

La pasta química se produce al disolver de forma química la lignina dispuesta entre las fibras de la madera, con lo cual se separan éstas sin dañarse de forma sustancial. Como en estos procesos se eliminan muchos de los componentes no fibrosos de la madera, los rendimientos son del 40 al 55 por ciento. El procedimiento implica la cocción de las astillas y los reactivos en solución acuosa en un reactor, llamado digestor, que puede funcionar por lotes o de forma continua.

En el pulpeo químico, existen dos procesos principales: el método alcalino y el método del sulfito; los cuales en general involucran el empleo de compuestos químicos en base a azufre. (León & Fuentes, 2012).

Saltman (1978) señala que el proceso químico al sulfato, comúnmente conocido como el proceso kraft, es alcalino y produce una pulpa más fuerte. El proceso más utilizado, al sulfato o kraft, utiliza hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, los cuales en su mayoría

pueden ser recuperados, mediante un proceso de evaporación, para su reutilización. El mismo autor indica que este proceso también mejora la formación de papel, dándole suavidad en la superficie y mejorando su capacidad de impresión.

Dentro del proceso kraft se puede utilizar catalizadores, para acelerar el proceso. Muchos estudios concluyen que el catalizador más utilizado es la antraquinona. Respecto al uso de este en pulpeo química al sulfato, Lowendahl citado por López *et al.* (1995) menciona que el efecto de este aditivo, y su derivado antrahidroquinona, causan reacciones que conducen a la estabilización de los carbohidratos y la oxidación de los grupos de azúcares finales presentes en la celulosa y hemicelulosa, hasta grupos de ácidos aldónicos.

Flemin *et al.* corroborado por Tejada y Gonzáles (1989) señala que las reacciones durante la obtención de pulpa a la sosa y al sulfato, aplicando la antraquinona consisten básicamente de las siguientes ventajas:

- Oxidación de los carbohidratos ocasionada por la antraquinona.
- Estabilización y protección contra reacciones de degradación y solubilización.
- Hidrólisis de las ligaduras de β -eter.
- Formación de fragmentos de lignina de menor peso molecular
- Aumento en las tasas de deslignificación.
- Recuperación de la antraquinona por entrar en procesos de óxido.

Carvalho citado por Fuenmayor y Vera (2007) señalan que el álcali activo es uno de los parámetros principales en el proceso de reducción de la pulpa, pues se relaciona directamente con la intensidad de las reacciones de deslignificación y la subdivisión de carbohidratos.

Con respecto al álcali activado empleado, Rodríguez corroborado por Casey (1980) manifiesta que a mayor álcali activado empleado, se observa un incremento en la longitud de rotura, índice de rasgado, pero al mismo tiempo disminuyen los dobles pliegues e índice de reventamiento.

Gonzáles y Bueno (1986) señalan que la lignina residual muestra una relación directa con el rendimiento de obtención de pulpa y también disminuye conjuntamente con las otras determinaciones químicas a medida que las condiciones de digestión son más energéticas.

Vera (2010) trabajando con material lignocelulósico de *Bambusa vulgaris* Schrad. proveniente de plantaciones de 2 años de edad situadas en Maranhão (Brasil), obtuvo un rendimiento de pulpa de 52,1 por ciento utilizando 0.5 de antraquinona, bajo las condiciones señaladas en la Tabla 6.

Tabla 6: Condiciones de cocción químico a la soda para *Bambusa vulgaris*.

Parámetros	Condiciones
NaOH (%)	19
Masa seca de madera (g)	70
Relación licor:madera (L:kg)	1:4
Antraquinona (%)	0,05
Temperatura mínima (°C)	25
Temperatura máxima (°C)	170
Tiempo de calentamiento (min)	80
Tiempo de cocción (min)	60

FUENTE: Vera (2010)

En Perú, el Departamento de Investigaciones y Desarrollo S.P.L (1984) realizó un estudio de factibilidad de la especie *Bambusa vulgaris* para la producción de pulpa, obteniendo un rendimiento de 60,4 por ciento en pulpa semiquímica y 53 por ciento en pulpa química con soda caustica al 18,2 por ciento de NaOH.

Clark & White (1966) obtuvieron un rendimiento en pulpa de 41 por ciento y 44 por ciento, trabajando con *Bambusa vulgaris* y *Guadua angustifolia* respectivamente, con una concentración de 18 por ciento de NaOH y un tiempo de cocción promedio de 1 hora.

Pesantes (1985) señala que en la India y el Brasil obtienen pulpas semiquímicas a partir a partir del bambú, de las cuales obtienen rendimientos del 65 por ciento. También los índices del factor desgarramiento son más altos que las obtenidas químicamente, y se emplean para la producción de cartones, bolsas, papeles de alta resistencia, entre otros.

5.2. REFINADO:

Da Silva (2009) señala que el refinado podría ser definido como una operación de la preparación de la pasta por la que se modifica, mediante la acción de un trabajo mecánico y en presencia de un medio acuoso, la morfología de las fibras y su estructura físico-química. Esta definición, aunque parezca demasiado general, contiene los dos términos básicos que

caracterizan la operación: la necesidad de dispensar energía a las fibras y que éstas tienen que estar en un medio acuoso.

El refinado de las pastas es una operación que modifica, mediante la acción de un trabajo mecánico y en presencia de un medio acuoso, la morfología de las fibras y su estructura fisicoquímica, cambiando de forma decisiva las propiedades de las hojas de papel obtenidas de la pasta refinada (Jiménez & Rodríguez, 2009).

Saltman (1978) coincide con estos autores y señala que los discos del refinador raspan y hacen que colapsen las fibras, dando como resultado una mejor calidad de unión, ya que las fibras se adhieren mejor entre sí.

Libby citado por Gonzáles y Bueno (1986) señalan que en el caso de pulpas al sulfato la facilidad de refinado es en forma inversamente proporcional al contenido de lignina y las pulpas que, contengan altos porcentajes de este componente es probable que tengan una alta drenabilidad y lentas propiedades de refinado. Por otro lado los mismos autores señalan que las hemicelulosas al ser altamente hidrofílicas son la causa que la fibra atraiga agua, se hinche y se vuelva plástica haciéndola más dócil a la acción física del refinado.

Rios (1996) señala que de manera general, se observa que conforme aumenta el grado de refinado, se incrementan los valores de longitud de rotura, dobles pliegues, índice de reventamiento, permeabilidad, y disminuyen el Índice de Rasgado y el Espesor de las hojas ensayadas.

Tissot citado por Velásquez (1981) menciona que el grado de escurrimiento de las pulpas no refinadas de los bambúes indios, no pasa de 12 o 13 grados Shopper Riegler, ya que generalmente las fibras de bambú son de paredes gruesas y lumen pequeño, dando pulpas más duras que necesitarán mayor tiempo de refinado.

Azzini & Ciaramelo (1971) trabajando con 5 especies de bambú y un refinador, a 150 rpm, obtuvieron resultados que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Grados de Refinado, Schoper Riegler, para 5 especies de bambú.

<i>Especie</i>	<i>Tiempo de refinado (minutos)</i>				
	30	45	60	75	90
	°SR	°SR	°SR	°SR	°SR
<i>Bambusa tuldooides</i>	28	43	59	69	77
<i>B. textilis</i>	24	36	54	66	75
<i>B. ventricosa</i>	28	41	55	67	76
<i>B. malingensis</i>	26	36	52	65	75
<i>B. dissimulator</i>	30	44	61	71	76

FUENTE: Azzini & Ciaramelo (1971)

Da Silva (2009) señala que entre los efectos del refinado, tenemos:

- Aumento del volumen específico.
- Aumento de la flexibilidad.
- Aumento de la superficie específica.
- Disminución de la longitud de las fibras.
- Aumento de la densidad de la hoja.
- Aumento de la resistencia a la tracción.
- Aumento de la resistencia al plegado.

6. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PAPELERAS

La fabricación de papel está lejos de ser una empresa de rutina; cada planta tiene un departamento de investigación y de pruebas para el control de calidad de los papeles. Cada hoja de ensayo tiene ciertas características peculiares de grado y peso base. Algunos de las características de ensayos son: opacidad, fuerza, la blancura, la uniformidad, color, peso base especificada, en base a las normas internacionales (Saltman, 1978).

Rodríguez (1970), señala que las propiedades físicas del papel dependen tanto de la morfología como de las características físicas y químicas de la madera de origen, así como de su proceso de digestión y del refinado, a que se haya sometido la pulpa resultante.

Britt (1970) menciona que los papeles densos se logran con pulpas menos rígidas, caso contrario en pulpas con alto contenido de lignina se producen papeles voluminosos y poco densos.

Casey (1980) señala que en general la resistencia de la pulpa disminuye con el aumento del rendimiento debido a los mayores porcentajes de lignina residual, lo que repercute en la disminución de los enlaces de resistencia y la reducción de la flexibilidad, lo que repercute en un menor contacto entre las fibras al formarse las hojas. González y Bueno (1986) mencionan también que la cantidad de lignina residual tiene un efecto negativo con la blancura y espesor a un nivel significativo.

García-Merás corroborado por Vizcaíno (2009) señala que las propiedades del papel se pueden clasificar en los cinco tipos siguientes: Físicas, ópticas, químicas, eléctricas y microscópicas.

El mismo autor caracteriza las siguientes propiedades:

- **Gramaje:** expresa el peso del papel por unidad de área. La importancia de esta propiedad radica en que el peso afecta a todas las propiedades físicas y muchas de las ópticas y eléctricas del papel.
- **Calibre:** Se mide con un micrómetro y es la distancia perpendicular entre dos superficies paralelas, planas y circulares, con diámetro aproximado de 16 mm. Esta propiedad afecta a casi todas las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel.

- **Resistencia a la tensión:** Es un componente de las resistencias más complejas de explosión, doblez y rasgado. Esta propiedad se da en da en Newtons por metro o kilonewtons por metro en el SI y es proporcional al gramaje del papel.
- **Resistencia a la explosión:** la cual se define como la presión hidrostática requerida para romper el papel cuando se le deforma en una esfera aproximada de 30.5 mm de diámetro y a una velocidad controlada de carga. Esta propiedad se relaciona con el largo y el grado de unión de estas en el papel.
- **Resistencia al doblez:** Es una prueba empírica que mide la cantidad de dobleces que el papel soportará antes de que su resistencia a la tensión caiga por debajo de un valor estándar.

Rydholm (1967) menciona que dentro de las propiedades ópticas las más importantes son la blancura, brillantez y opacidad, y que todas ellas se refieren a la habilidad de la pulpa a reflejar o absorber la luz, sus formas corresponden a la absorción de la luz visible por la lignina.

Por otro lado Jiménez & López (2007) señalan que una de las características más importantes en una hoja de papel es el efecto que causa la humedad sobre las propiedades del papel, ya que el agua tiene el efecto de plastificar las fibras de celulosa y de debilitar los enlaces entre dichas fibras, haciendo más rígido y menos flexible al papel en condiciones secas. Los mismos autores indican que existen propiedades evidentes al tacto, como: la rigidez, suavidad y textura superficial.

El Departamento de Investigaciones y Desarrollo S.P.L. (1984) ensayaron hojas producidas a partir de material lignocelulósico de *Bambusa vulgaris* proveniente de Huaral (Lima), obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8: Resultados de Ensayos físico-mecánicos sobre pulpa química y semiquímica de *Bambusa vulgaris*.

<i>Ensayos físico-mecánicos</i>	<i>Pulpa semiquímica</i>	<i>Pulpa química</i>
Longitud de rotura (m)	3617	4200
Resistencia al desgarramiento	80,8	140
Reventamiento (fact)	27,3	39
Doblado (N°)	33	100

FUENTE: Departamento de Investigaciones y Desarrollo de S.P.L. (1984)

El mencionado estudio concluyó que la pulpa química de Bambú es la de mayor calidad, siendo significativa su alta resistencia al desgarramiento, sin desmerecer la resistencia a la tensión y reventamiento, y que esta podría competir en determinadas circunstancias con la pulpa kraft importada de Chile.

7. TIPOS DE PAPEL

Fernández corroborado por Condori (2010) describe los siguientes tipos de papeles:

- 1) **Papeles de escritorio:** Son papeles bien encolados y resistentes que deben tener una superficie fina, ser blancos y no deben volverse amarillentos con el tiempo, con amplio gramaje: de 60 a 150 g/m². En esta clasificación puede incluirse por ejemplo al papel oficio, secante, vegetal, carbón.
- 2) **Papeles de imprenta:** Generalmente no son muy finos; pueden contener cargas minerales y pasta de madera, también pasta del papel reciclado que le dan opacidad a las tintas de imprenta. Para los diarios, que emplean grandes cantidades de este papel, no son necesarias unas características especiales, ya que en este caso el papel se obtiene con porcentajes considerables de pasta de madera mecánica, que es la más económica. También pueden mencionarse los papeles pigmentados, tales como el papel lustre, papel de regalo.
- 3) **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 1.11 de anchos superiores y gran velocidad. A veces son bastos, sin tratamiento de depuración de pastas y sin blanqueo, ni cola.

- 4) **Papeles para envases y embalajes:** Existen diferentes tipos que desde el muy fino (papel seda) hasta el grueso y consistente papel café (papel kraft), tissue, glassine, envases tetrapak, cartones, etc.

Pérez citado por Condori (2010) describe los siguientes papeles para envases:

- a) **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.
- b) **Papel pergamino vegetal.** Resistencia a la humedad así como a las grasas y a los aceites. Es utilizado para envolver mantequilla, margarina, carnes, quesos, etcétera. Así como para envasar aves y pescados. También se utiliza para envolver plata y metales pulidos.
- c) **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 y calandrado 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.
- d) **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.
- e) **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 industriales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El estudio se realizó en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en la Av. La Molina S/N, en el Distrito de La Molina, Provincia de Lima, Departamento de Lima.

2. MATERIALES Y EQUIPOS

2.1. MATERIAL ESTUDIADO:

Constituido por muestras de material lignocelulósico (culmos) de *Guadua Angustifolia* proveniente de La Florida (Cajamarca) y *Bambusa vulgaris* proveniente del distrito de Santa Cruz de Flores, Mala (Lima).

2.2. REACTIVOS:

Los reactivos a utilizar para un pulpeo químico alcalino con catalizador:

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Catalizador (Antraquinona)
- Agua destilada.

2.3. MATERIALES DE LABORATORIO:

- Depósitos de plástico aproximadamente de 3 a 4 litros.
- Depósitos de plástico aproximadamente de 13 a 15 litros.
- Bolsas de tela (para el lavado de la pulpa).
- Filtro de tela.
- Probetas graduadas de plástico de 500mL y 1000mL

- Guantes de hule (para el lavado de la pulpa).
- Papel secante (de celulosa).
- Papel de periódico.
- Papel filtro.
- Probeta de 100 mL
- Matraz de 250 mL
- Embudos.
- Mallas 40/60 mesh
- Cápsulas de porcelanas.
- Vasos de precipitado, probetas, pipetas, fiolas, matraces erlenmeyer y otros.

2.4. EQUIPOS:

Sierra de disco portátil (ingleteadora).

Baño termostático o baño maría.

Balanza analítica de 0,1 g y 0,1 mg de precisión.

Campana desecadora y pinzas.

Digestor rotatorio, capacidad 15 L, y accesorios

Centrifugadora.

Refinador de pasta PFI.

Aparato de control de drenabilidad *Schopper Riegler*.

Formado de hojas, con anillos de secado y discos metálicos.

Prensa hidráulica.

Reflectómetro.

Micrómetro.

Tensiómetro y accesorios.

Guillotina.

Rasgómetro y accesorios.

Estufa de secado a 105 °C.

Refrigerador.

3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1. PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA:

Las muestras de cada especie fueron astilladas utilizando una sierra de disco, una ingleteadora y un machete, obteniendo astillas con dimensiones promedio: 5 x 5 x 3 mm. Las astillas de cada especie fueron mezcladas proporcionalmente y se dejaron secar al aire para evitar su deterioro. Luego, se calculó la humedad de las astillas y se armaron paquetes de 300 gr de masa seca para cada tratamiento durante el proceso de digestión.

3.2. OBTENCIÓN DE PULPA:

Previamente al proceso de digestión, las astillas fueron sumergidas en agua durante 24 horas, con el fin de facilitar la difusión de los reactivos en la materia prima.

El proceso de digestión se llevó a cabo en un digestor rotatorio de laboratorio con capacidad de 15 L, dotado de cuatro obuses, cada uno de los cuales tiene la capacidad de procesar 150 g. de masa seca de muestra. Durante el proceso de cocción se controló cada 05 minutos los valores de temperatura y presión, para la estimación del factor H y la elaboración de los diagramas de cocción.

Las condiciones de digestión utilizadas se especifican en la Tabla 9 y en la Tabla 10 se muestra el diseño experimental utilizado para el proceso de digestión.

Tabla 9: Condiciones de digestión de las pulpas.

Reactivos	NaOH, AQ
Álcali activo (%)	18, 20, 22
Cantidad de materia seca (g)	300
Relación licor total/bambú	4/1
Temperatura de designificación (°C)	170 ± 2
Factor H	1000, 1200, 1400
Antraquinona (%)	0,05 %

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10: Diseño experimental utilizado para el proceso de digestión.

<i>Especie</i>	<i>Álcali activo (%)</i>	<i>Factor H</i>	<i>Materia seca (g)</i>	<i>Materia seca total (g)</i>
<i>Guadua angustifolia</i>	18	1000	300 X 3	2700
		1200	300 X 3	
		1400	300 X 3	
	20	1000	300 X 3	2700
		1200	300 X 3	
		1400	300 X 3	
	22	1000	300 X 3	2700
		1200	300 X 3	
		1400	300 X 3	
<i>Bambusa vulgaris</i>	18	1000	300 X 3	2700
		1200	300 X 3	
		1400	300 X 3	
	20	1000	300 X 3	2700
		1200	300 X 3	
		1400	300 X 3	
	22	1000	300 X 3	2700
		1200	300 X 3	
		1400	300 X 3	

FUENTE: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de variancia (ANOVA) para determinar la influencia de los tratamientos, considerando un intervalo de confianza del 95 por ciento y un margen de error de 0,05 por ciento, en algunos casos se consideró 0,01 por ciento.

3.3. LAVADO DE LA PULPA Y OBTENCIÓN DE RENDIMIENTO

Finalizado el proceso de digestión se procedió a detener el digestor, se bajó la presión a cero para luego proceder a descargar la pulpa. Para realizar esto, se sacaron los obuses y se enfriaron con ayuda de un balde de agua. Luego, el licor negro fue separado y cuantificado para calcular su densidad.



Figura 2: Digestor del laboratorio de pulpa y papel de la UNALM

Posteriormente se lavó la pulpa obtenida en bolsas de tela hasta eliminar todo el licor negro residual, se eliminó el exceso de agua de esta con ayuda del centrifugador y se obtuvo el peso húmedo obtenido. A partir de este paso se determinó el contenido de humedad de la pulpa para posteriormente obtener el rendimiento y porcentaje de incocidos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento } R (\%) = \frac{\text{Pulpa seca } (Ps)}{\text{Masa seca } (Ms)} * 100$$

Donde:

R = Rendimiento (%).

Ps =Peso pulpa seca (g)

Ms =Materia seca utilizada (g)



Figura 3: Incocidos y pulpa de *Guadua angustifolia*.

3.4. REFINADO DE LA PULPA Y CONTROL DE REFINADO

El refinado de la pulpa se realizó en el refinador PFI, siguiendo la norma TAPPI T 248. Para determinar el número de revoluciones a realizar se hicieron pruebas previas tratando de obtener un SR° mayor a 40, determinándose que se harían pruebas con dos niveles de refinado: a 4000 y 6000 revoluciones por cada proceso.



Figura 4: Refinador PFI.

Por cada pulpa obtenida, se pesó 30 g de masa seca, se refinó y se procedió al control de refinado utilizando el método *Shopper Riegler* ($^{\circ}\text{SR}$), según la norma SCAN-M 3:65.

3.5. FORMACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE HOJAS DE ENSAYO:

La formación de hojas para los ensayos físicos se realizaron conforme a la norma TAPPI 205 os-71 con cada una de las pulpas obtenidas, obteniendo 18 paquetes de 7 hojas de aproximadamente 2 g por cada especie.

Las hojas se acondicionaron según la norma NTP-ISO 187 a $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura y a 65 por ciento de HR ± 2 por ciento HR.

3.6. 3.3.6. ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS DE LAS HOJAS DE ENSAYOS:

Se realizaron los siguientes ensayos físico-mecánicos conforme a las normas técnicas enumeradas en la Tabla 11.

Tabla 11: Normas de los ensayos físico-mecánicos de la hoja de pulpa.

PROPIEDAD	NORMA o MÉTODO
Humedad de las hojas	NTP-ISO 287
Gramaje	NTP-ISO 536
Espesor y densidad	NTP-ISO 534
Resistencia a la tensión	Norma TAPPI 404 cm-92
Alargamiento por tensión	Norma TAPPI 404 cm-92
Resistencia al rasgado	Norma TAPPI 220 os-71
Determinación de blancura	Norma TAPPI 562 om-10
Determinación de la opacidad	Norma TAPPI 425 om-96
Doble pliegues	Norma TAPPI 511 om-96
Permeabilidad: Método Gurley	Norma TAPPI 460 om-96

FUENTE: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PROCESO DE COCCIÓN

Los resultados de los rendimientos de las pulpas químicas obtenidas se muestran en la Tabla 12, para *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*, respectivamente.

Tabla 12: Rendimientos de pulpa química obtenida a partir de tallos de *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*

Factor H	Álcali Activo (%)	<i>Guadua angustifolia</i>		<i>Bambusa vulgaris</i>	
		Incocidos (%)	Rendimiento promedio (%)	Incocidos (%)	Rendimiento promedio (%)
1000	18	4,31	49,44	5,95	44,49
	20	4,00	48,13	5,23	44,07
	22	4,03	47,09	4,31	42,10
1200	18	3,39	48,63	5,25	43,45
	20	3,67	48,22	5,12	43,32
	22	2,53	47,37	4,34	41,56
1400	18	2,60	48,96	5,20	44,92
	20	2,56	46,60	4,51	44,39
	22	2,40	46,19	4,50	42,63

Mediante el análisis de variancia (ANOVA) para los rendimientos promedios de ambas especies, se demuestra el rendimiento promedio de la especie *Bambusa vulgaris* difieren de manera significativa a los rendimientos de la especie *Guadua angustifolia*. Los rendimientos obtenidos para ambas especies, oscilan entre 40 y 50 por ciento, lo que coincide con León & Fuentes (2012) quienes señalan que los rendimientos de una pasta química están en un rango de 40 al 55 por ciento.

Los rendimientos obtenidos para ambas especies con un factor H de 1000, utilizando un 18 por ciento de álcali activo son mayores que los obtenido por Clark & White (1966) quien obtuvo la pulpa a la soda sin aditivos. Esto puede deberse al uso de antranquinona en la presente investigación, la cual según Lowehdal citado por López *et al.* (1995) estabiliza los

carbohidratos y oxida azúcares finales presentes en la celulosa y hemicelulosa, obteniendo un mayor rendimiento, debido al aumento en las tasas de deslignificación.

Como se observa en la Figura 4 los rendimientos obtenidos para la *Guadua angustifolia* son mayores que los obtenidos para la especie *Bambusa vulgaris* independientemente de las variables utilizadas, lo cual coincide con Clark & White (1966) quienes haciendo un estudio comparativo entre ambas especies, obtuvieron rendimientos mayores en la especie *Guadua angustifolia*.

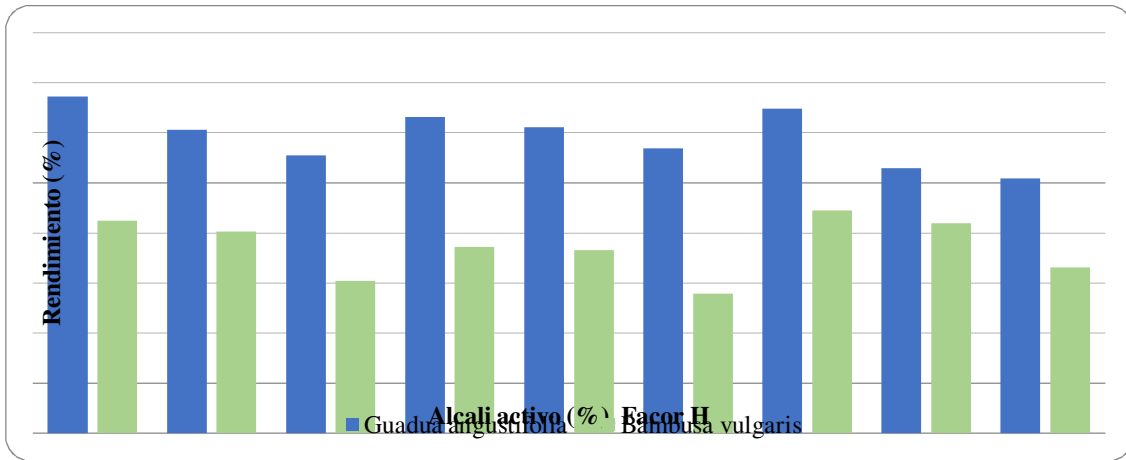


Figura 5: Comparación de rendimientos de pulpa química entre las especies *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

Por otro lado en general, tal y como se observa en las Figuras 6, a mayor cantidad de álcali activo empleado, menor fue el rendimiento obtenido de la pulpa, independientemente del factor H utilizado.

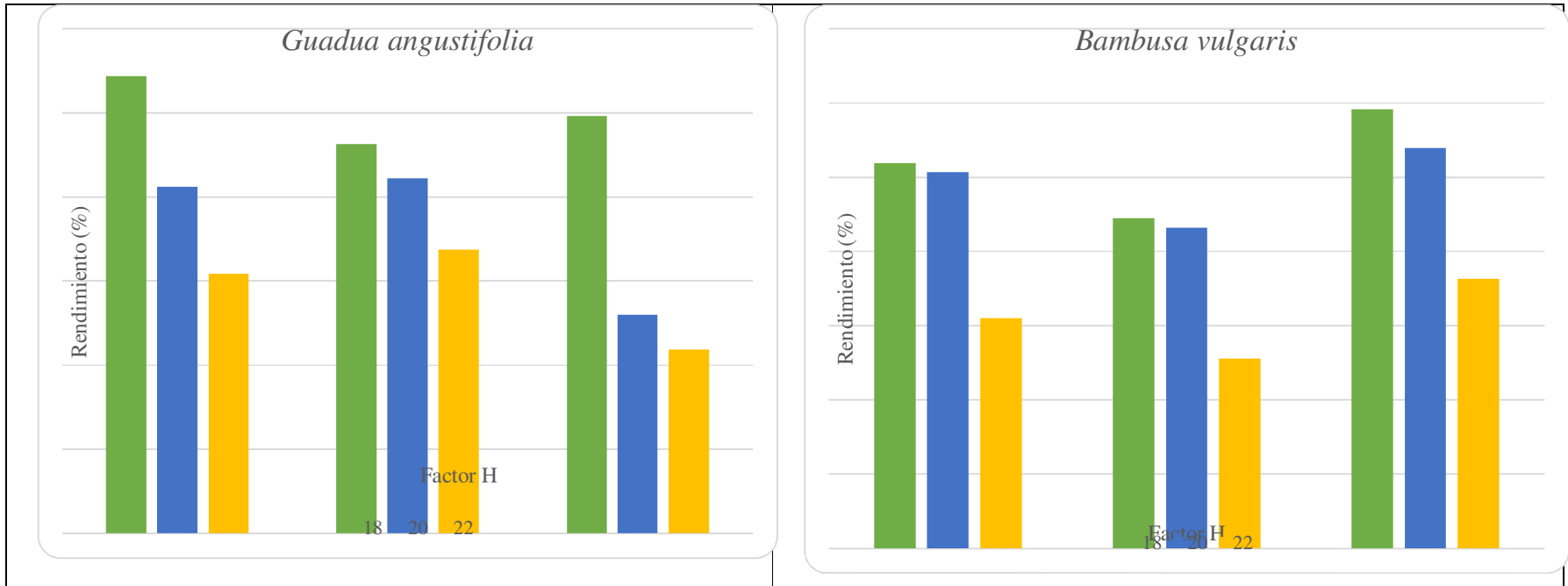


Figura 6: Comparación de rendimientos de pulpa química utilizando diferentes concentraciones de álcali activo para la especie *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

Lo antes mencionado es explicado por Fuenmayor y Vera (2017), quienes señalan que el álcali activo es uno de los parámetros principales en el proceso de reducción de la pulpa, pues se relaciona directamente con la intensidad de las reacciones de deslignificación y la subdivisión de carbohidratos. Gonzáles y Bueno (1986) señalan que la lignina residual muestra una relación directa con el rendimiento de obtención de pulpa respecto, por lo que se podría deducir que la pulpa de *Guadua angustifolia* tiene una mayor cantidad de lignina residual.

2. ESTUDIO BIOMÉTRICO DE FIBRAS

El resultado del estudio biométrico de fibras de las especies en estudio se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13: Resultados de estudio biométrico de las especies *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

<i>Especie</i>	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>
<i>Longitud de fibra (mm)</i>	2,70	2,19
<i>Diámetro de fibra (μm)</i>	12,95	14,23
<i>Grosor de pared (μm)</i>	5,32	2,39
<i>Diámetro de lumen (μm)</i>	7,63	11,85
<i>Índice de Runkel</i>	1,40	0,40

En la Tabla 13 se observa que la longitud de fibra promedio de *Bambusa vulgaris* (2.19 mm) es inferior a la encontrada por Egbewole *et al.* (2015), quien hizo un estudio anatómico de cúlmos de *Bambusa vulgaris* provenientes de Sarawa (Nigeria). Sin embargo, este mismo valor es superior al encontrado por Rodríguez y Cáceres (1982).

En cuanto al diámetro de fibras de *Bambusa vulgaris* (14.23 μm) es superior al encontrado por Rodríguez y Cáceres (1982), y similar al encontrado por Egbewole *et al.* (2015). El grosor de pared celular de *Bambusa vulgaris* (2.39 μm) es similar a los resultados de los estudios realizados por Egbewole *et al.* (2015), y Rodríguez y Cáceres (1982).

Con respecto a la especie *Guadua angustifolia*, el valor de la Longitud promedio de fibra es superior a la encontrada por Zaragoza *et al.* (2014), quienes hicieron un estudio biométrico de cúlmos de la especie *Guadua aculeata* Rupr. Proveniente de Puebla (México).

En la Figura 7 se puede observar que la pared celular de las fibras de *Bambusa vulgaris* es menor que la pared celular de la especie *Guadua angustifolia*, conllevando a que esta tenga un índice de Runkel mayor que la *Bambusa vulgaris*. Con respecto este parámetro, en base a la clasificación propuesta por Larios (1979) la especie *Guadua angustifolia* tendría una aptitud papelera regular, mientras que la especie *Bambusa vulgaris* tendría una aptitud papelera muy buena.

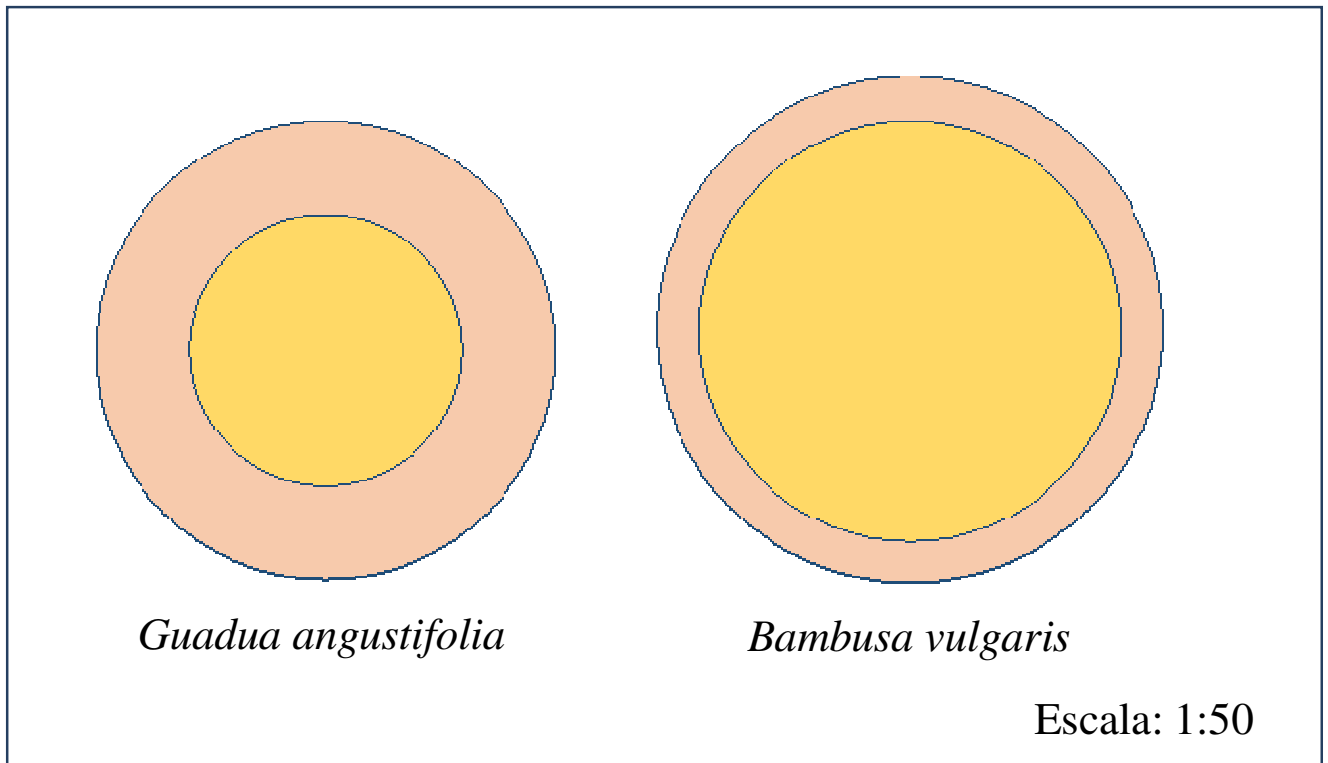


Figura 7: Representación gráfica a escala 1:50 del grosor de la pared celular para las especies de bambú en estudio.

3. REFINADO Y PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS:

Los resultados del control de refinado y ensayos físico-mecánicos de las hojas elaboradas se muestran en la Tabla 14

Tabla 14: Resultados de control de refinado y ensayos físico-mecánicos.

Espece	Vueltas	Factor H	Alcali (%)	Schopper (°SR)	Graneje (g/m ²)	Espesor (mm)	Blancura (%)	Opacidad (%)	Permeabilidad	Longitud de rotura (m)	Alargamiento (mm)	Rasgado (Mn-m ² /g)	Doble pliegues (N ^o)
<i>Guadua angustifolia</i>	4000	1000	18	30	66,661	9,88	30,04	96,04	0,93	6129	3,86	6,32	480
	4000	1000	20	28	66,027	9,38	30,86	97,64	1,17	4070	3,67	6,48	460
	4000	1000	22	30	60,342	9,43	33,86	97,21	0,90	3667	3,67	5,44	436
	4000	1200	18	30	66,079	9,33	30,14	98,64	1,00	4750	4,20	8,08	500
	4000	1200	20	30	62,577	8,62	25,79	96,64	1,30	3943	3,76	6,13	480
	4000	1200	22	29	60,659	8,76	27,79	96,93	1,10	4130	3,50	4,96	488
	4000	1400	18	42	59,898	11,18	25,86	98,07	1,20	6180	4,40	6,00	560
	4000	1400	20	23	64,592	10,60	22,14	97,57	1,23	4650	4,05	6,00	460
	4000	1400	22	29	62,474	9,05	29,86	95,50	1,05	4190	3,65	6,12	452
	6000	1000	18	31	63,771	8,52	30,71	96,21	1,13	4580	4,00	5,36	448
	6000	1000	20	36	63,872	8,90	29,79	97,71	2,40	4730	4,57	7,37	388
	6000	1000	22	33	65,274	9,81	27,29	97,79	1,50	5330	4,60	5,36	380
	6000	1200	18	30	58,446	8,21	30,79	97,50	1,63	4610	4,85	7,76	488
	6000	1200	20	40	74,343	8,60	26,07	97,93	2,10	4570	4,20	7,00	452
	6000	1200	22	33	68,429	9,07	27,57	99,21	1,50	4190	3,90	6,12	440
	6000	1400	18	38	65,196	9,07	29,29	97,14	1,56	3920	3,85	4,68	460
	6000	1400	20	25	67,849	9,33	22,00	95,00	1,30	4420	4,40	5,40	440
	6000	1400	22	41	61,788	8,10	26,79	95,71	1,25	9180	4,15	5,40	432
<i>Bambusa vulgaris</i>	4000	1000	18	25	65,141	10,57	34,64	99,07	0,30	3600	3,35	5,00	468
	4000	1000	20	21	59,471	9,74	36,64	96,07	0,70	3510	3,25	5,44	448
	4000	1000	22	21	61,135	9,29	35,71	98,21	1,50	3170	4,00	3,84	424
	4000	1200	18	22	61,619	9,74	33,07	97,64	0,30	3280	3,15	4,44	488
	4000	1200	20	21	67,084	10,88	33,93	97,86	0,45	3610	3,55	4,68	468
	4000	1200	22	22	65,628	11,10	37,50	95,57	0,40	3070	3,30	4,92	476
	4000	1400	18	22	66,026	10,43	34,00	97,00	0,40	3710	3,70	5,20	544
	4000	1400	20	21	64,459	10,60	33,21	96,86	0,30	3190	3,95	4,40	440
	4000	1400	22	20	58,526	9,31	39,00	95,64	0,30	3280	3,30	4,32	436
	6000	1000	18	28	63,896	9,29	35,93	97,43	0,90	4710	4,20	6,10	428
	6000	1000	20	26	60,154	8,98	37,93	96,21	1,30	3860	3,60	5,44	368
	6000	1000	22	25	62,379	9,69	36,71	99,29	1,45	3500	4,65	4,56	360
	6000	1200	18	29	60,681	8,95	34,64	97,79	0,60	4020	4,50	5,28	468
	6000	1200	20	33	63,758	9,48	36,36	96,79	0,70	4180	4,35	5,32	432
	6000	1200	22	24	62,908	9,90	35,57	97,36	0,50	3790	3,90	4,84	420
	6000	1400	18	26	65,093	9,10	34,71	99,29	0,90	4250	3,95	5,68	440
	6000	1400	20	26	64,111	9,00	35,57	96,36	0,50	4670	4,25	5,97	420
	6000	1400	22	24	60,850	9,26	38,21	97,29	0,40	3700	3,60	4,77	412

3.1. REFINADO. EFECTO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES:

Mediante el análisis de variancia (ANOVA) para los grados de drenabilidad (°SR) promedio de ambas especies, se demuestra que los grados de refinado (°SR) de los valores de la especie *Bambusa vulgaris* difieren de manera significativa a los valores de la especie *Guadua angustifolia*.

En cuanto a facilidad de refinado, la especie *Guadua angustifolia* es más fácil de refinar que la especie *Bambusa vulgaris*, lo cual podría deberse a una diferencia de edades entre las muestras. A pesar de que en el presente estudio no se contempló la evaluación de edades de las muestras, se presume que la muestra de *Bambusa vulgaris* tienen más edad que la muestra de *Guadua angustifolia*. Por otro lado, se hizo el análisis de variancia (ANOVA) para los grados de drenabilidad (°SR) promedio de las especies en estudio, bajo dos grados de refinado, permite que los grados de drenabilidad a dos grados de refinado difieren de manera significativa. El grado de drenabilidad (°SR) de las pulpas refinadas para ambas especies en estudio aumenta a mayor número de vueltas en el refinador PFI.

Con referencia al refinado y su relación con las propiedades físicas del papel, se observa en la Figura 8, que a un mayor grado de refinado, disminuye el espesor de las hojas independientemente de la especie; este efecto es corroborado por Ríos (1996) quien menciona que conforme aumenta el grado de refinado, disminuye el espesor de las hojas.

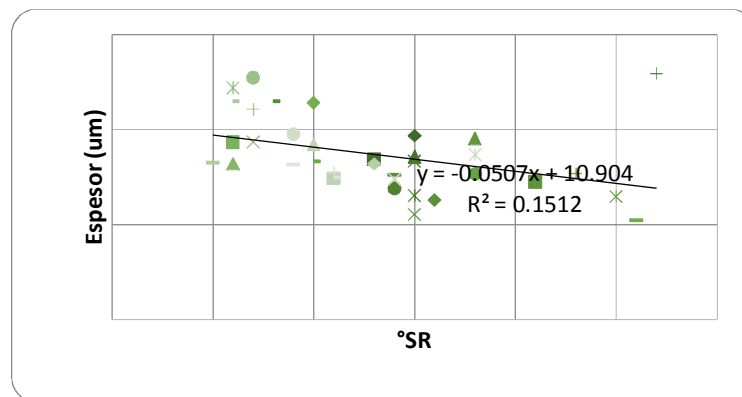


Figura 8: Comparación del espesor a diferentes grados de refinado para las dos especies de bambú en estudio.

Asimismo, con referencia a las propiedades ópticas, en la Tabla 14 se observa que a un mayor número de vueltas en el refinador PFI, la blancura decrece, lo cual coincide con lo

expuesto por Rodríguez (1979) quien señala que el efecto del refinado se refleja en un decrecimiento de la blancura.

En la Figura 9 se observa que para ambas especies a un mayor grado de refinado, se tiene una mayor longitud de rotura. Esta tendencia es corroborada por Ríos (1996) quien señala que conforme aumenta el grado de refinado se incrementa el valor de longitud de rotura, debido a la mejor calidad de la unión de las fibras.

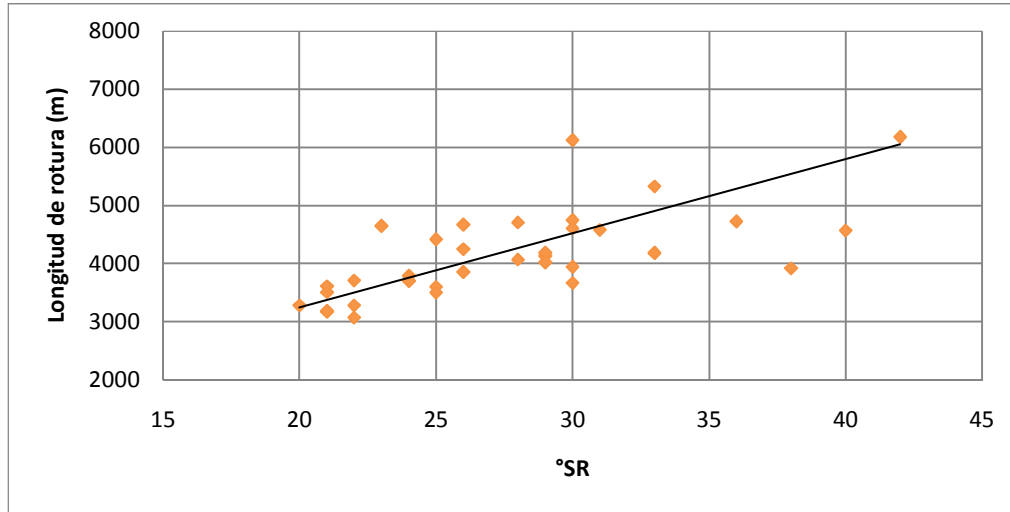


Figura 9: Comparación de la longitud de rotura a diferentes grados de refinado para las dos especies de bambú en estudio.

4. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS:

Para la evaluación de las propiedades mecánicas se hizo un ajuste para llegar a un Grado de refinado, a 45 (Anexo 5) obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15: Propiedades físico-mecánicas de la especie *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris* a un °SR 45.

Especie	Factor H	Alcalí (%)	Shopper (°SR)	Gramaje (g/m ²)	Espesor (mm)	Blancura (%)	Opacidad (%)	Permeabilidad (seg)	Longitud de rotura (m)	Alargamiento (mm)	Rasgado (Mn-m ² /g)	Doble pliegues (N ^o)
<i>Guadua angustifolia</i>	1000	18	45	66,7	9,67	30,04	96,7	1,44	7941	4,13	6,32	480
	1000	20	45	66,0	9,14	30,86	98,4	1,74	6124	3,97	6,48	460
	1000	22	45	60,3	9,22	33,86	97,9	1,40	5479	3,93	5,44	436
	1200	18	45	66,1	9,12	30,14	99,4	1,50	6562	4,47	8,08	500
	1200	20	45	62,6	8,41	25,79	97,4	1,80	5755	4,03	6,13	480
	1200	22	45	60,7	8,54	27,79	97,7	1,64	6063	3,79	4,96	488
	1400	18	45	59,9	11,14	25,86	98,2	1,30	6542	4,45	6,00	560
	1400	20	45	64,6	10,28	22,14	98,6	1,97	7308	4,44	6,00	460
	1400	22	45	62,5	8,82	29,86	96,3	1,59	6123	3,94	6,12	452
	1000	18	45	63,8	8,33	30,71	96,9	1,60	6271	4,25	5,36	448
	1000	20	45	63,9	8,78	29,79	98,1	2,70	5817	4,73	7,37	388
	1000	22	45	65,3	9,64	27,29	98,4	1,90	6780	4,81	5,36	380
	1200	18	45	58,4	8,00	30,79	98,2	2,14	6422	5,12	7,76	488
	1200	20	45	74,3	8,52	26,07	98,2	2,27	5174	4,29	7,00	452
	1200	22	45	68,4	8,90	27,57	99,8	1,90	5640	4,11	6,12	440
	1400	18	45	65,2	8,97	29,29	97,5	1,79	4766	3,98	4,68	460
	1400	20	45	67,8	9,05	22,00	95,9	1,97	6836	4,76	5,40	440
	1400	22	45	61,8	8,04	26,79	95,9	1,38	9663	4,22	5,40	432
<i>Bambusa vulgaris</i>	1000	18	45	65,1	8,70	34,64	100,0	1,44	8201	5,57	7,22	404
	1000	20	45	59,5	7,49	36,64	97,6	1,77	6557	5,73	8,11	371
	1000	22	45	61,1	7,04	35,71	99,7	1,51	6153	5,72	6,51	347
	1200	18	45	61,6	7,59	33,07	99,1	1,58	7133	6,17	7,00	414
	1200	20	45	67,1	8,64	33,93	99,4	1,91	6429	5,81	7,35	391
	1200	22	45	65,6	8,94	37,50	97,0	1,68	6513	5,47	7,48	402
	1400	18	45	66,0	8,28	34,00	98,5	1,78	8563	6,37	7,76	470
	1400	20	45	64,5	8,35	33,21	98,4	1,84	7137	6,11	7,07	363
	1400	22	45	58,5	6,97	39,00	97,2	1,68	6780	5,79	7,10	356
	1000	18	45	63,9	7,70	35,93	98,5	1,56	6341	5,46	6,99	373
	1000	20	45	60,2	7,20	37,93	97,4	2,88	6698	6,20	7,55	307
	1000	22	45	62,4	7,82	36,71	100,0	2,01	7402	6,31	6,78	296
	1200	18	45	60,7	7,46	34,64	98,8	2,04	6268	6,22	6,06	417
	1200	20	45	63,8	8,35	36,36	97,5	2,40	5813	5,23	5,65	393
	1200	22	45	62,9	7,94	35,57	98,7	2,03	6366	5,70	7,18	352
	1400	18	45	65,1	7,32	34,71	100,5	2,04	5888	5,48	6,79	379
	1400	20	45	64,1	7,22	35,57	97,6	1,78	6388	6,03	7,08	359
	1400	22	45	60,9	7,30	38,21	98,6	1,78	11356	5,95	6,10	344

4.1. ESPESOR:

Comparando las dos especies, se puede observar que las hojas ensayadas de *Bambusa vulgaris* tienen un mayor espesor que las hojas ensayadas de *Guadua angustifolia*, lo cual difiere a lo expresado por Gonzales y Bueno (1987), quienes demostraron que a un mayor porcentaje de lignina residual las hojas tenían un mayor espesor.

Para la especie *Guadua angustifolia* existe evidencia estadística que demuestra que el porcentaje de álcali utilizado afecta de manera significativa al espesor. Como se observa en la Figura 10, existe una correlación negativa entre el espesor y el porcentaje de álcali activo utilizado, lo cual coincide con lo expuesto por Gonzales y Bueno (1987), quienes relacionan el espesor de manera inversamente proporcional con la cantidad de lignina residual, la cual está inversamente relacionada al álcali utilizado.

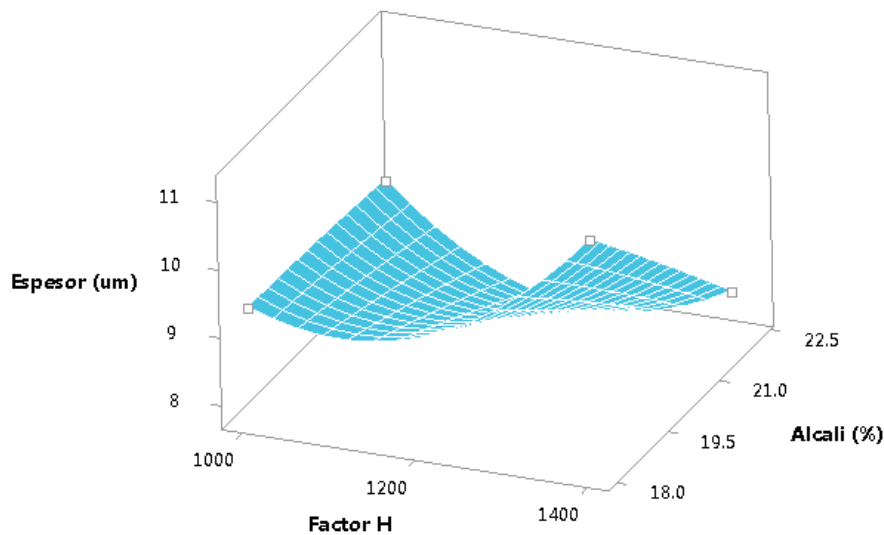


Figura 10: Superficie de respuesta del espesor en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie *Guadua angustifolia*.

Con respecto a la *Bambusa vulgaris*, no existe evidencia estadística que demuestre que el porcentaje de álcali activo o Factor H influya de manera significativa en esta propiedad.

4.2. BLANCURA Y OPACIDAD:

El papel elaborado en base a tallos de la especie *Bambusa vulgaris* tiene mayor blancura que la de *Guadua angustifolia*. Esto se debe al menor rendimiento de pulpa de *Bambusa vulgaris*, lo cual está directamente relacionado al menor contenido de lignina residual que

esta posee, la cual según Gonzáles y Bueno (1986) tiene un efecto positivo en la blancura de los papeles. Casey (1980) coincide con dichos autores señalando que los grupos cromofóricos de la lignina son responsables del 90 por ciento del color oscuro de la pulpa.

Tanto para la blancura como para la opacidad, no existe evidencia estadística que demuestre que el porcentaje de álcali activo o Factor H influya de manera significativa en estas propiedades ópticas.

4.3. PERMEABILIDAD:

Para ambas especies de bambú en estudio existe evidencia estadística que demuestra que el álcali utilizado influye en la permeabilidad.

En la Figura 11 se observa que para ambas especies la permeabilidad crece hasta cierto punto de álcali utilizado, para luego decrecer, debido a que mayores cantidades de reactivo se llevan consigo otros componentes de la pulpa a parte de la lignina.

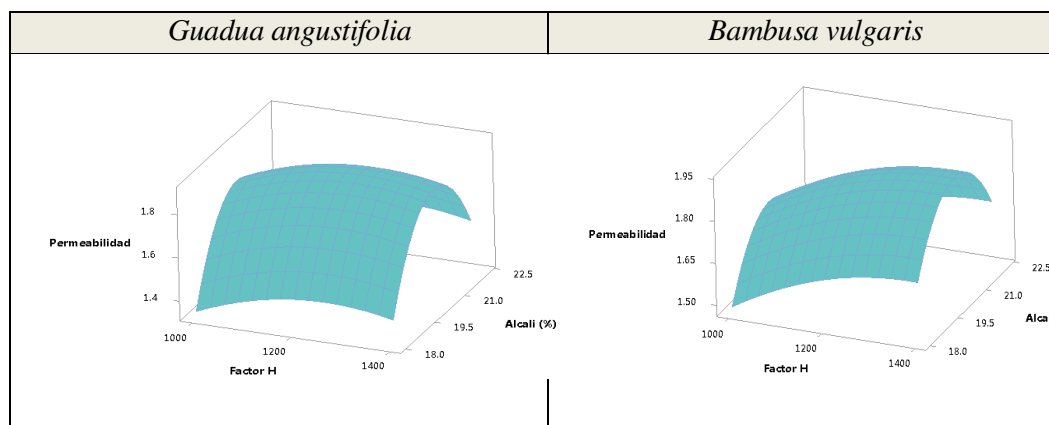


Figura 11: Superficie de respuesta la permeabilidad en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

4.4. LONGITUD DE ROTURA:

La longitud de rotura para la especie *Bambusa vulgaris* es mayor que la de la especie *Guadua angustifolia*, lo cual está relacionado al menor porcentaje de lignina residual que la *Bambusa vulgaris* posee, deducido a partir del rendimiento que la pulpa que esta especie tuvo. Casey (1980) coincide con esta observación, señalando que en general la resistencia de las pulpas disminuye con el aumento del rendimiento debido a los mayores porcentajes de lignina residual.

Para la especie *Bambusa vulgaris* existe evidencia estadística que demuestra que el porcentaje de álcali utilizado afecta de manera significativa a la longitud de rotura.

En la Figura 12 se observa que durante la digestión, el índice de rotura de la especie *Bambusa vulgaris* disminuye, lo cual difiere a lo expuesto por Rodríguez corroborado por Casey (1980), quien señala que a mayor álcali activado empleado se observa un incremento en la longitud de rotura.

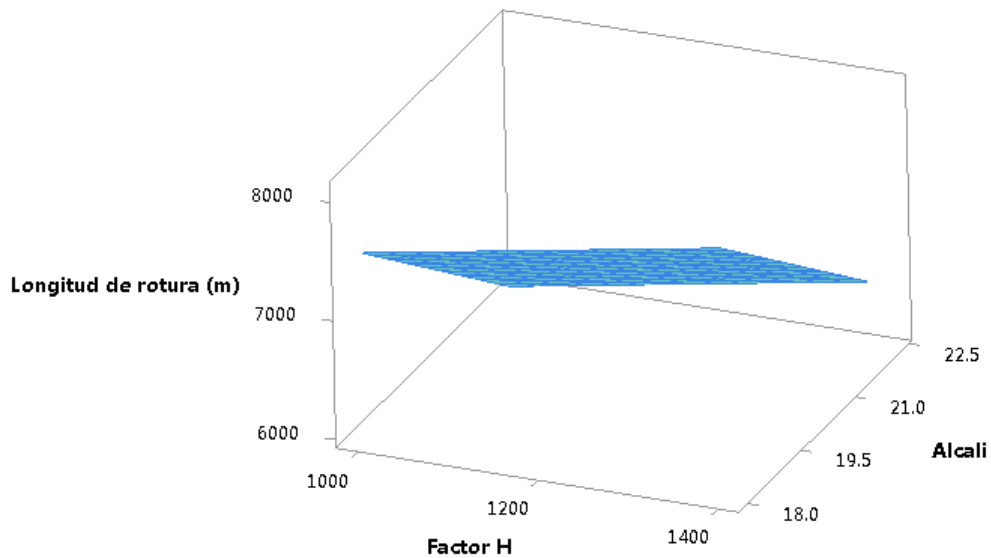


Figura 12: Superficie de respuesta de la longitud de rotura (m) en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie *Bambusa vulgaris*.

Los valores encontrados en los ensayos de longitud de rotura con un refinado de 6000 para la especie *Bambusa vulgaris* son superiores a los obtenidos por el Departamento de Investigación y Desarrollo S.P.L (1984), quienes ensayaron hojas producidas a partir de material lignocelulósico de *Bambusa vulgaris* proveniente de Huaral (Lima).

Con respecto a la *Guadua angustifolia*, no existe evidencia estadística que demuestre que el porcentaje de álcali activo o Factor H influyan de manera significativa en esta propiedad.

4.5. ALARGAMIENTO:

El alargamiento para la especie *Bambusa vulgaris* es superior a la de *Guadua angustifolia*.

Para ambas especies de bambú en estudio existe evidencia estadística que demuestra que el álcali influye en el alargamiento. Como se muestra en la Figura 13, para ambas especies, a más álcali utilizado hay un decrecimiento de la longitud de rotura.

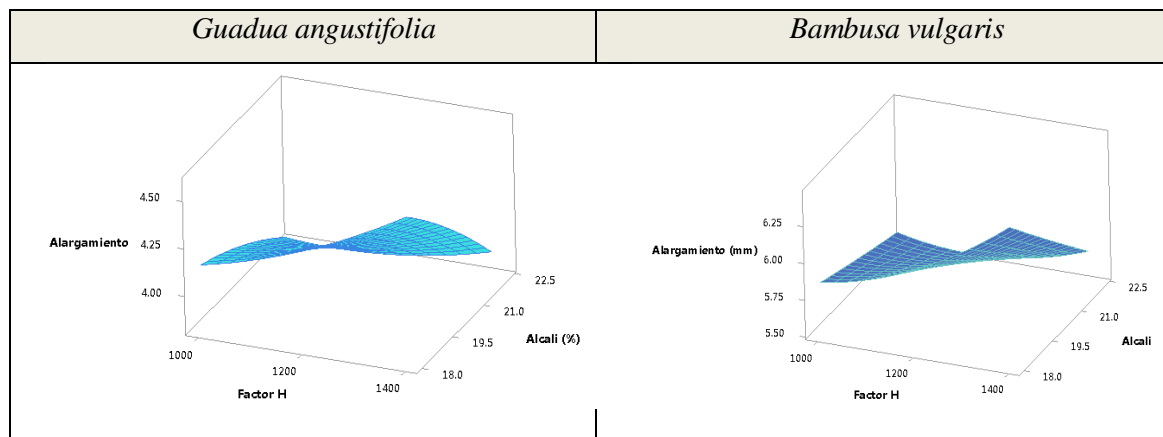


Figura 13: Superficie de respuesta del alargamiento en relación al factor H y álcali (por ciento) de la especie *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

4.6. ÍNDICE DE RASGADO:

En la Tabla 15 se puede ver que en general existe una relación directa entre el índice de rasgado y el gramaje del papel, Lo cual coincide con lo señalado por Vizcaíno (2009), quien señala que el gramaje de un papel es proporcional al índice de rasgado.

No existe evidencia estadística que la influencia del porcentaje de álcali activo o Factor H influyan de manera significativa en esta propiedad mecánica. Lo cual difiere lo expuesto por Casey (1980), quien señala que a mayor álcali activado empleado se observa un incremento en el índice de rasgado.

4.7. DOBLE PLIEGUES:

Para ambas especies existe evidencia estadística que demuestra el efecto significativo del álcali utilizado en los dobles pliegues.

Como se muestra en la Figura 14 existe una correlación negativa entre el álcali activo utilizado y los doble pliegues para ambas especies. Esto coincide con Rodríguez corroborado por Casey (1980), quien señala que, a mayor álcali activado empleado, disminuyen los dobles pliegues e índice de reventamiento.

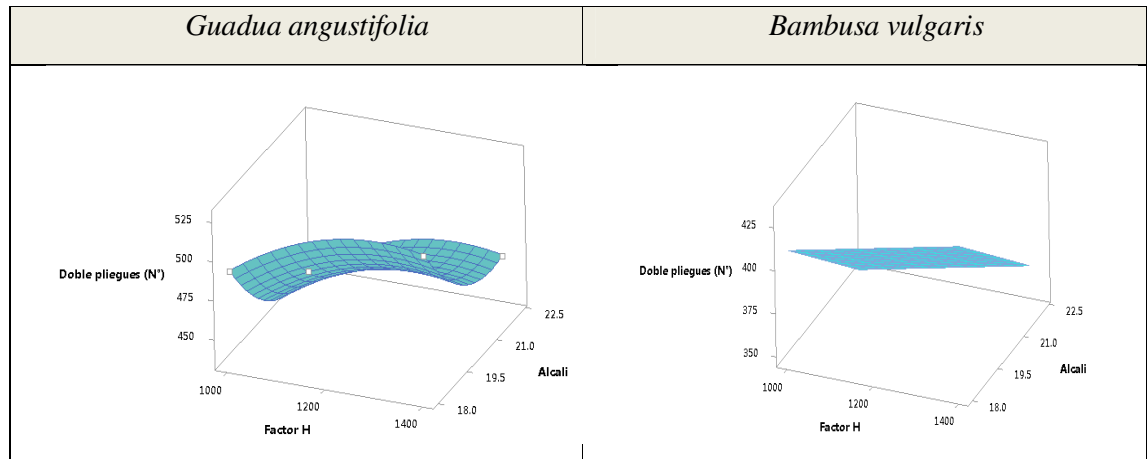


Figura 14: Superficie de respuesta de los doble pliegues en relación al factor H y álcali (por ciento) para *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

5. APTITUD PAPELERA:

Según la evaluación de las propiedades físico-mecánicas obtenidas en el presente estudio para ambas especies de bambú, comparando con las normas técnicas peruanas (Tabla 16) de papeles y cartones, se podría recomendar la elaboración de papel para envoltura delgado.

Por otro lado, en vista de que los valores de propiedades para ambas especies en estudio superan con creces los valores límites exigidos, este papel podría ser sometido a un proceso de blanqueamiento, para ser utilizado en la fabricación de papel bond, papel servilleta y papel estucado.

Tabla 16: Requisitos de pruebas físico-mecánicas para diferentes clases de papel.

Tipo de papel	Permeabilidad			Longitud de rotura (m)			Rasgado (Mn-m2/g)		
	INACAL (1992)	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>	INACAL (1992)	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>	INACAL (1992)	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>
Papel Bond 60 (blanqueado)	0,4	2,14	2,88	4000	6422	6698	2,94	7.76	7.55
Papel servilleta	-			-					
Papel para envolver	0,4			3150			4,41		
Papel estucado 80 (blanqueado)	0,8			4000			3,92		

FUENTE: INACAL (1992)

V. CONCLUSIONES

- 1) En base a las propiedades físico-mecánicas de las hojas, ambas especies podrían utilizarse en la fabricación de papel envoltura delgado.
- 2) El porcentaje de álcali activo influye sobre las propiedades espesor, permeabilidad, longitud de rotura, alargamiento y doble pliegues en la especie *Guadua angustifolia*. Mientras que para la *Bambusa vulgaris* este factor influye en: la permeabilidad, la longitud de rotura, el alargamiento y doble pliegues.
- 3) Los rendimientos obtenidos de pulpa química a partir de culmos de la especie *Guadua angustifolia* son superiores a los obtenidos bajo las mismas condiciones trabajando con culmos de *Bambusa vulgaris*.
- 4) La calidad del papel proveniente de los culmos de la especie *Bambusa vulgaris* es superior al papel obtenido a partir de culmos de *Guadua angustifolia*, a partir del análisis de las propiedades físico-mecánicas encontradas.

VI. RECOMENDACIONES

- En base a las propiedades físico-mecánicas evaluadas, se recomienda hacer estudios de tratamientos de blanqueo para ambas especies para su posterior uso en la fabricación de papel bond, papel estucado y papel de servilleta.
- Se recomienda hacer estudios de refinado para ambas especies.
- Para que se instale una industria papelera en el Perú en base a Bambú, tal y como existe en otros países como: Brasil, India y China, se necesita incentivar la instalación de plantaciones de bambú, a través de créditos accesibles para el sector privado y garantizar la seguridad jurídica en cuanto a tenencia de tierras.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altez, A. (2016). Deterioro causado por dos hongos de pudrición en las propiedades físico-mecánicas del compuesto bambú-plástico. Tesis para obtener el título de Ing. químico. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 152 p.
- Añazco, M (2013). Estudio de vulnerabilidad del Bambú (*Guadua angustifolia*) al cambio climático en la costa del Ecuador y norte del Perú. Quito, EC. 134 p.
- Azzini, A. Ciaramello, D. (1971). Bambu como materia-prima para papel: Estudos sôbre o emprego de cinco espécies de bambusa, na producao de celulose sulfato. Boletim científico do Instituto Agrônômico de estado de S. Paulo. Vol. 30 N°23. Sao Pablo, BR; p. 305-319.
- Barrichuelo L. Foelkel, C. Gonzaga, J. Busnardo, C. (1983). Basic density and characterists of Eucalyptus grandiswood fibers. In: Proceedings of ABCP 16th Annual Meeting, 3rd Latin American cellulose and papers Congress. Sao Paulo, BR. 113-125 P.
- Bueno, J. (1978). Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricación de pulpa para papel. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 223 p.
- Britt, K. (1790). Handbook of pulp and paper Technology. Segunda edición. Ed. Van Nostrand. New York, US.723 p.
- Casey, J. (1980). Pulp and paper. Vol. 1: Chemistry and Chemical Technology. 3ra. Edición. New York, US. 817 p.
- Cruz, H. (2009). Bambú Guadua. *Guadua angustifolia* kunth. Bosques naturales en Colombia. Plantaciones en MX. 990 p.
- Chiluiza, C. Hernández, J. (2009). Elaboración de papel artesanal de cada guadua (*Guadua angustifolia* k). Tesis para obtener el título de Ingeniero agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito, EC. 186 p.

- Clark, T. White, G. (1966). Fiber and paper making characteristics of bamboo. Boletín Técnico Nro. 1961. Servicio de Investigación de Agricultura. US.
- Cáceres, H. Rodríguez, L. (1982). Producción y evaluación de pulpas celulósicas a partir de diferentes especies de bambú. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, CO.
- Castaño, F. Moreno, R. (2004). Guadua para todos: Cultivo y aprovechamiento. Bogotá, CO. 188 p.
- Campos, J. Peñaloza, R. Kahler, C. Poblete, H. Cabrera, J. (2003). Bambú en Chile. Corporación de Investigación Tecnológica de Chile. Universidad Austral de Chile. Santiago de Chile. CL. 144 p.
- Condori, D. (2010). Evaluación de las propiedades físicas, químicas y ópticas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora (*Schoenoplectus totora*). Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Del Altiplano. Puno, PE. 97 p.
- Da Costa, V. Da Silva, A. Marabezi. (2015). Bamboo cellulosic pulp produced by the ethanol/water process for reinforcement applications. Revista Ciência Florestal. Vol. 25. N°1. Santa Maria, BR. p. 127-135.
- Da Silva, E. (2009). Curso de fabricação de papel. BR. 93 p.
- Dhamondaran, T. Gnanaharan, R. Sankara, K. (2003). Bamboo for pulp and paper. Kerala Forest Research Institute. Kerala, IN. 77 p.
- Departamento de Investigaciones y Desarrollo S.P.L. (1984). Informe de bambú Chancay: Segunda corrida Industrial en la Planta de pulpa PPX-8 y Máquina PPX-7 usado en papel kraft 110 g. Chancay, Lima, PE. 41 p.
- Egbewole, Z. Rotowa, O. Omoake, P. (2015). Evaluation of fibre quality of *Bambusa vulgaris* (Bamboo) as a raw material for pulp and paper Production. PAT. NG. Vol. 11 (2); 188-202.
- Estrada, M. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Tesis para obtener el título de Magister en Ingeniería. Bogotá, CO. Universidad de los Andes. 124 p.

- Espinoza, A. (2010). Aptitud de *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento. Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 72 p.
- Figueroa, V. Sardiña, C. (2009). Bambú en Chile. Posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo. Santiago de Chile, CL. 63 p.
- Gomide, J. (1980). Antraquinona: um eficiente aditivo para a polpação alcalina de madeira. O Papel, São Paulo, BR. Vol. 41. N°10; p 39-48.
- Gonzáles, E. Bueno, J. (1986). Influencia de la lignina residual en las propiedades físico-mecánicas de la pulpa química al sulfato de Huamansamana (*Jacaranda copaiba Aubl*). Revista Forestal del Perú. Vol.13 N°2. Lima, PE. p 1-13.
- Haun, J. Clark, T. White, G. (1966). Fiber and papermaking characteristics of bamboo. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1361.
- Hidalgo, O. (2003). Bamboo: The Gift of the Gods. Bogotá, CO. Oscar Hidalgo López. 283 p.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 1992. Norma Técnica Peruana de papel y cartón. Lima, PE.
- Jiménez, A. López, D. (2007). Análisis dinámico de los rodillos del sistema de una máquina de conversión de papel Tissue. Tesis Lic. Ing. Mecánica. Universidad de las Américas Puebla. Puebla. MX. 168 p.
- Jiménez, L. Rodríguez, A. (2009). Fabricación de papel a partir de materias primas alternativas a las convencionales. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Córdoba. Córdoba. AR. 50 p.
- Kallaway, E. (2010). Bamboo as a new fiber source in the US paper industry: a feasibility analysis for booshoot gardens. Tesis para obtener el grado de bachiller en Ciencias. Universidad de Oregón. US. 81 p.
- Larios. S. (1979). Indices de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, MX.68 p.

- León, C. Fuentes, M. (2012). Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Tesis para obtener el título de Ing. Químico. Cartagena de Indias, CO. Universidad de Cartagena. 115 p.
- Lizarazu, M. (2013). Bambúes leñosos del Noreste argentino y regiones limítrofes: estudios taxonómicos, morfológicos, anatómicos y biogeográficos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, AR. 241 p.
- López, E. Scheuch, H. Gonzáles, E. (1995). Pulpa química y semiquímica al sulfato y a la soda con antraquinona de *Podocarpus montanus*. Revista Forestal del Perú. Vol. 22 N°1-2. Lima, PE. p 27-33.
- López, A. (2009). Caracterización dasométrica de *Bambusa vulgaris Schrader ex wendland* en la provincia de Granma. Tesis para optar el grado de magister en Ciencias Agrícolas. Facultad de ciencias agrícolas de la Universidad de Granma. Bayamo, CU. 76 p.
- Li, X. (2004). Physical, chemical and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. Tesis para obtener el grado de Master en Ciencias. Universidad Nacional de Louisiana. US. 68 p.
- Londoño, X. (1998). Evaluation of Bamboo Resources in Latin America. Final Report Projetc 96-8300-01-4, INBAR. M.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2008. Plan Nacional de promoción del Bambú (2008-2020). Lima, PE. 33 p.
- Monroy, E. (2006). Tratamiento químico de cuatro especies de bambú para su preservación, utilizando ácido bórico-bórax-dicromato de sodio por el método de inmersión y baño caliente-frío. Tesis para obtener el título de Ing. químico. Universidad de San Carlos de Guatemala. GT. 69 p.
- Ortíz, S. (2017). Caracterización y clave de identificación de los bambúes en la región Nor-Oriental (San Martín, Amazonas y Cajamarca). Tesis para obtener el título de Ing. químico. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 171 p.
- Pesantes, M. (1985). Estudio de las posibilidades para establecer plantaciones de Bambú para la producción de pulpa y papel en Pucallpa. Tesis para obtener el título de Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 72 p.

- Reátegui, N. (2009). Caracterización y Clave de Identificación de Bambúes en el ámbito Chanchamayo, Departamento de Junín. Tesis para obtener el título de Ing. forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 168 p.
- Rydholm, S. (1967). Pulping processes. Interscience Publishers. New York. US. 1269 p.
- Ríos, D. (1996). Aptitud papelera de la mezcla de 4 especies forestales del CIEFOR. Pto. Almendras – Iquitos. PE. 52 p.
- Rodríguez, J. (1970). Los controles en la fabricación de Papel. Editorial Blume. 1ra. Edición. Madrid, ES. 359 p.
- Saltman, D. (1978). Paper Basics: Forestry, Manufacture, Selection, Purchasing, Mathematics, and Metrics, Recycling. US. 223 p.
- Tejada, M. Gonzales, E. (1989). Obtención de pulpa de *Eucalyptus globulus* mediante los procesos al sulfato y a la sosa con antraquinona. Revista Forestal del Perú. Vol. 16 N°1. Lima, PE. p. 55-64.
- Toval, G. (2010). Calidad de la madera de *Eucalyptus globulus* como materia prima para la industria pastero-pepelera. Boletín del CIDEU N°8-9. ES. 5-14 p.
- Velásquez, F. (1981). Evaluación de Pulpa química a la sosa y sosa azufre de Paca (*Guadua angustifolia*). Tesis para obtener el Título de Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 81 p.
- Vera, M. (2010). Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu. Piracicaba. BR. 90 p.
- Vizcaíno, L. (2009). Influencia de la humedad y la temperatura en las características dieléctricas del papel Kraft. Tesis para obtener el título de Ing. Eléctrico. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, ES. 131 p.
- Zaragoza-Hernández, I. Borja De La ROSA, A. Zamudio, J. Ordoñez-Candelaria, V. Bácnas-Pazos, G. (2014). Anatomía del culmo de bambú (*Guadua aculeata Rupr.*) de la región nororiental del estado de Puebla, México. Revista Madera y Bosque. Vol. 20. N°3. Puebla, MX; p 87-96.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 RENDIMIENTOS PROMEDIO DE LAS ESPECIES DE BAMBÚ EN ESTUDIO.

Tabla 1: Rendimiento de pulpa química obtenida a partir de tallos de *Guadua Angustifolia*.

<i>Especie</i>	<i>Factor H</i>	<i>Álcali activo (%)</i>	<i>Peso seco de astillas (g)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Rendimiento promedio (%)</i>
<i>Guadua angustifolia</i>	1000	18	300	51.26	55.83%	49.44%
			300	63.61	40.87%	
			300	57.25	51.61%	
		20	300	66.66	47.65%	48.13%
			300	59.62	45.73%	
			300	59.23	51.00%	
		22	300	62.87	43.95%	47.09%
			300	61.37	42.75%	
			300	59.36	54.57%	
	1200	18	300	62.24	46.67%	48.63%
			300	58.60	48.76%	
			300	59.47	50.47%	
		20	300	61.31	52.76%	48.22%
			300	64.23	46.28%	
			300	59.41	45.63%	
		22	300	63.66	48.65%	47.37%
			300	64.06	47.85%	
			300	69.90	45.62%	
	1400	18	300	60.38	48.90%	48.96%
			300	59.77	48.85%	
			300	61.40	49.13%	
		20	300	61.69	48.60%	46.60%
			300	58.79	43.89%	
			300	61.01	47.29%	
22		300	62.81	46.51%	46.19%	
		300	60.86	48.52%		
		300	58.08	43.53%		

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 2: Rendimiento de pulpa química obtenida a partir de tallos de Bambusa vulgaris.

<i>Especie</i>	<i>Factor H</i>	<i>Álcali activo</i>	<i>Peso seco de astillas (g)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Rendimiento promedio (%)</i>
<i>Bambusa vulgaris</i>	1000	18	300	50.63	47.64%	44.19%
			300	52.88	44.33%	
			300	50.00	40.60%	
		20	300	53.36	41.96%	44.07%
			300	51.85	43.74%	
			300	50.28	46.51%	
		22	300	50.28	40.84%	42.10%
			300	53.03	43.49%	
			300	52.97	41.97%	
	1200	18	300	51.37	43.43%	43.45%
			300	53.59	42.68%	
			300	52.00	44.23%	
		20	300	53.02	42.83%	43.32%
			300	54.29	45.43%	
			300	55.37	41.72%	
		22	300	51.92	43.66%	41.56%
			300	54.28	40.87%	
			300	54.84	40.15%	
	1400	18	300	55.53	44.44%	44.92%
			300	55.38	45.40%	
			300	55.40	44.87%	
		20	300	55.85	44.90%	44.39%
			300	54.57	44.13%	
			300	52.37	44.14%	
22		300	52.40	41.89%	42.63%	
		300	52.66	42.14%		
		300	53.00	43.86%		

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 2
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RENDIMIENTOS PROMEDIO DE LAS
ESPECIES DE BAMBÚ EN ESTUDIO.

Ho: Los rendimientos promedio de la especie *Bambusa vulgaris* es igual a los rendimientos de la especie *Guadua angustifolia*.

Ha: Los rendimientos promedio de la especie *Bambusa vulgaris* difieren de manera significativa a los rendimientos de la especie *Guadua angustifolia*.

Tabla 1: Estadísticos calculados

<i>Grupos</i>	<i>n</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
<i>Guadua angustifolia</i>	9	4.31	0.48	0.0001216
<i>Bambusa vulgaris</i>	9	3.91	0.43	0.0001324

FUENTE: *Elaboración propia.*

Tabla 2: Resultados del Análisis de varianza.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.00876	□	0.0088	68.9385	3.413E-07	4.4940
Dentro de los grupos	0.00203	16	0.0001			
Total	0.01079	17				

FUENTE: *Elaboración propia.*

Como el F calculado es mayor al Valor crítico para F en tabla, $68.9385 > 4.4940$, con un nivel de significación de 5 por ciento, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto los rendimientos promedio de la especie *Bambusa vulgaris* difieren de manera significativa a los rendimientos de la especie *Guadua angustifolia*.

ANEXO 3
ESTUDIO BIOMÉTRICO DE LAS ESPECIES DE BAMBÚ EN ESTUDIO.

Tabla 1: Estudio Biométrico de *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris*.

<i>Especie</i>	<i>Guadua angustifolia</i>				<i>Bambusa vulgaris</i>			
	<i>Longitud de fibra (mm)</i>	<i>Diámetro de fibra (μm)</i>	<i>Grosor de pared (μm)</i>	<i>Diámetro de lumen (μm)</i>	<i>Longitud de fibra (mm)</i>	<i>Diámetro de fibra (μm)</i>	<i>Grosor de pared (μm)</i>	<i>Diámetro de lumen (μm)</i>
1	2.68	13.86	5.05	8.81	2.38	14.86	2.70	12.16
1	3.12	13.86	6.41	7.46	2.20	14.86	2.70	12.16
1	3.12	12.51	5.05	7.46	1.96	13.51	2.70	10.81
1	2.80	17.92	6.41	11.51	2.50	18.92	2.70	16.22
1	3.12	15.22	5.05	10.16	2.71	16.22	1.35	14.86
1	2.11	13.86	6.41	7.46	1.81	14.86	2.70	12.16
1	1.78	13.86	6.41	7.46	1.48	14.86	2.70	12.16
1	2.00	7.11	5.05	2.05	1.70	8.11	1.35	6.76
1	2.43	15.22	6.41	8.81	2.13	16.22	1.35	14.86
1	2.72	13.86	6.41	7.46	2.42	14.86	2.70	12.16
1	2.72	8.46	5.05	3.41	2.47	9.46	2.70	6.76
1	2.72	12.51	5.05	7.46	2.17	13.51	2.70	10.81
1	2.72	13.86	6.41	7.46	1.26	14.86	1.35	13.51
1	2.38	13.36	6.41	6.96	2.08	14.86	2.70	12.16
1	2.20	7.96	6.41	1.55	1.90	9.46	2.70	6.76
1	2.43	12.01	6.41	5.61	2.13	13.51	2.70	10.81
1	3.12	12.01	3.70	8.31	2.20	13.51	2.70	10.81
1	2.50	13.36	3.70	9.66	1.53	14.86	2.70	12.16
1	2.05	13.36	3.70	9.66	1.75	14.86	2.70	12.16
1	3.12	14.72	2.35	12.36	2.18	16.22	1.35	14.86
1	3.12	12.01	3.70	8.31	2.47	13.51	2.70	10.81
1	2.82	12.01	3.70	8.31	2.52	13.51	2.70	10.81
1	3.12	7.96	6.41	1.55	2.27	9.46	2.70	6.76
1	3.12	17.42	6.41	11.01	2.48	18.92	2.70	16.22
1	2.73	14.72	6.41	8.31	2.43	16.22	1.35	14.86
1	2.81	12.01	3.70	8.31	2.51	13.51	2.70	10.81
1	3.12	12.01	6.41	5.61	2.82	13.51	2.70	10.81
1	2.72	14.72	6.41	8.31	2.42	16.22	2.70	13.51
1	2.77	13.36	5.05	8.31	2.47	14.86	1.35	13.51
1	2.73	13.36	3.70	9.66	2.43	14.86	2.70	12.16
Promedio	2.70	12.95	5.32	7.63	2.19	14.23	2.39	11.85

ANEXO 4
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS GRADOS SHOPPER OBTENIDAS DE LAS PULPAS DE LAS ESPECIES DE BAMBÚ EN ESTUDIO

Ho: Las medias de los Grados Shopper de la especie *Guadua angustifolia* son iguales a los Grados Shopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

Ha: Las medias de los Grados Schopper de la especie *Guadua angustifolia* son diferentes a los Grados Shopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

Tabla 1: Estadísticos calculados

<i>Especie</i>	<i>n</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
<i>Guadua angustifolia</i>	18	596	33.111	33.752
<i>Bambusa vulgaris</i>	18	436	24.222	11.712

Tabla 2: Resultados del Análisis de varianza.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	711.1111	1	711.1111	31.2823	0.0000	4.1300
Dentro de los grupos	772.8889	34	22.7320			
Total	1484	35				

Como el F calculado es mayor al Valor crítico para F en tabla, $31.2823 > 4.1300$, entonces con un nivel de significación de 5 por ciento, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto las medias de los Grados Schopper de la especie *Guadua angustifolia* difieren de manera significativa a las medias de los Grados Shopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

ANEXO 5
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) A LOS GRADOS SHOPPER OBTENIDOS PARA LA *GUADUA ANGUSTIFOLIA* A DIFERENTES GRADOS DE REFINADO.

Ho: Las medias de los Grados Shopper de la especie *Guadua angustifolia* son iguales para los dos grados de refinado (4000 y 6000)

Ha: Las medias de los Grados Shopper de la especie *Guadua angustifolia* difieren de manera significativa para los dos grados de refinado (4000 y 6000)

Tabla 1: Estadísticos calculados

<i>Refinado</i>	<i>n</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
4000	9	271	30.1111	24.8611
6000	9	325	36.1111	26.6111

Tabla 2: Resultados del Análisis de varianza.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	162	1	162	6.2947	0.0233	4.4940
Dentro de los grupos	411.7778	16	25.7361			
Total	573.7778	17				

Como el F calculado es mayor al Valor crítico para F en tabla, $6.2947 > 4.4940$, entonces con un nivel de significación de 5 por ciento, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto las medias de los Grados Schopper de la especie *Guadua angustifolia* difieren de manera significativa para los dos grados de refinado.

ANEXO 6
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) A LOS GRADOS SHOPPER OBTENIDOS
PARA LA *BAMBUSA VULGARIS* A DIFERENTES GRADOS DE REFINADO.

Ho: Las medias de los Grados Shopper de la especie *Bambusa vulgaris* son iguales para los dos grados de refinado (4000 y 6000)

Ha: Las medias de los Grados Shopper de la especie *Bambusa vulgaris* difieren de manera significativa para los dos grados de refinado (4000 y 6000)

Tabla 1: Estadísticos calculados.

<i>Refinado</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
4000	9	195	21.667	2.000
6000	9	241	26.778	8.194

Tabla 2: Resultados de análisis de varianza.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	117.5556	1	117.5556	23.0627	0.00020	4.4940
Dentro de los grupos	81.5556	16	5.0972			
Total	199.1111	17				

Como el F calculado es mayor al Valor crítico para F en tabla, $23.0627 > 4.4940$, con un nivel de significación de 5 por ciento, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto las medias de los Grados Schopper de la especie *Bambusa vulgaris* difieren de manera significativa para los dos grados de refinado.

ANEXO 7
**AJUSTE DE DATOS PARA COMPARACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-
MECÁNICAS.**

1) Análisis de correlación de las variables de estudio:

Utilizando el software de análisis estadístico JMP, se obtuvo el análisis de correlación por pares de las variables en estudio, para así determinar qué propiedades se veían afectadas de manera significativa a partir del Grado Schopper.

A continuación en las Tablas 1 y 2 se muestran el resultado del análisis para las especies en estudio:

Tabla 1: Matriz de correlaciones para la especie *Guadua angustifolia*.

	<i>Factor H</i>	<i>Alcali</i>	<i>Schopper</i>	<i>Gramaje</i>	<i>Espesor</i>	<i>Blancura</i>	<i>Opacidad</i>	<i>Permeabilidad</i>	<i>Longitud</i>	<i>Alargamiento</i>	<i>Rasgado</i>	<i>Doble pliegues</i>
<i>Factor H</i>	1.0000	0.0000	0.1312	-0.0774	0.1244	-0.6073	-0.2270	-0.0535	0.2204	0.0251	-0.2025	0.3663
<i>Alcali</i>	0.0000	1.0000	-0.0787	-0.0203	-0.1774	-0.0840	-0.0787	0.0000	0.0283	-0.3120	-0.3561	-0.5322
<i>Schopper</i>	0.1312	-0.0787	1.0000	0.0579	-0.1004	0.0721	0.2253	0.4546	0.5028	0.2513	-0.0276	0.0610
<i>Gramaje</i>	-0.0774	-0.0203	0.0579	1.0000	-0.0166	-0.2975	0.1764	0.3427	-0.1351	-0.0121	0.1379	-0.2765
<i>Espesor</i>	0.1244	-0.1774	-0.1004	-0.0166	1.0000	-0.2871	0.2473	-0.2979	0.0017	0.0415	-0.0932	0.3291
<i>Blancura</i>	-0.6073	-0.0840	0.0721	-0.2975	-0.2871	1.0000	0.1318	-0.1402	-0.1872	-0.2152	0.1990	-0.0645
<i>Opacidad</i>	-0.2270	-0.0787	0.2253	0.1764	0.2473	0.1318	1.0000	0.3025	-0.2329	0.1905	0.4320	0.1170
<i>Permeabilidad</i>	-0.0535	0.0000	0.4546	0.3427	-0.2979	-0.1402	0.3025	1.0000	-0.0529	0.5216	0.3128	-0.4337
<i>Longitud</i>	0.2204	0.0283	0.5028	-0.1351	0.0017	-0.1872	-0.2329	-0.0529	1.0000	0.2939	-0.0557	0.0220
<i>Alargamiento</i>	0.0251	-0.3120	0.2513	-0.0121	0.0415	-0.2152	0.1905	0.5216	0.2939	1.0000	0.4361	-0.1432
<i>Rasgado</i>	-0.2025	-0.3561	-0.0276	0.1379	-0.0932	0.1990	0.4320	0.3128	-0.0557	0.4361	1.0000	0.1653
<i>Doble pliegues</i>	0.3663	-0.5322	0.0610	-0.2765	0.3291	-0.0645	0.1170	-0.4337	0.0220	-0.1432	0.1653	1.0000

Tabla 2: Matriz de correlaciones para la especie *Bambusa vulgaris*.

	<i>Factor H</i>	<i>Alcali</i>	<i>Schopper</i>	<i>Gramaje</i>	<i>Espesor</i>	<i>Blancura</i>	<i>Opacidad</i>	<i>Permeabilidad</i>	<i>Longitud</i>	<i>Alargamiento</i>	<i>Rasgado</i>	<i>Doble pliegues</i>
<i>Factor H</i>	1.0000	0.0000	-0.1432	0.1962	0.0145	-0.1165	-0.2353	-0.5929	0.0649	-0.0460	-0.1627	0.3242
<i>Alcali</i>	0.0000	1.0000	-0.3273	-0.3141	0.0482	0.6406	-0.2963	0.2093	-0.4416	-0.0153	-0.6003	-0.5095
<i>Schopper</i>	-0.1432	-0.3273	1.0000	0.0713	-0.4628	0.0532	0.1874	0.2155	0.7309	0.6418	0.5393	-0.2601
<i>Gramaje</i>	0.1962	-0.3141	0.0713	1.0000	0.6360	-0.5489	0.2741	-0.2427	0.1782	0.0921	0.2978	0.4244
<i>Espesor</i>	0.0145	0.0482	-0.4628	0.6360	1.0000	-0.3402	-0.0489	-0.4425	-0.5353	-0.4161	-0.1069	0.5103
<i>Blancura</i>	-0.1165	0.6406	0.0532	-0.5489	-0.3402	1.0000	-0.4474	0.2482	-0.0300	-0.0929	-0.0592	-0.5410
<i>Opacidad</i>	-0.2353	-0.2963	0.1874	0.2741	-0.0489	-0.4474	1.0000	0.3480	0.1085	0.3643	0.1085	-0.0924
<i>Permeabilidad</i>	-0.5929	0.2093	0.2155	-0.2427	-0.4425	0.2482	0.3480	1.0000	0.1150	0.4889	-0.1240	-0.6388
<i>Longitud</i>	0.0649	-0.4416	0.7309	0.1782	-0.5353	-0.0300	0.1085	0.1150	1.0000	0.5307	0.6946	-0.1798
<i>Alargamiento</i>	-0.0460	-0.0153	0.6418	0.0921	-0.4161	-0.0929	0.3643	0.4889	0.5307	1.0000	0.0772	-0.4061
<i>Rasgado</i>	-0.1627	-0.6003	0.5393	0.2978	-0.1069	-0.0592	0.1085	-0.1240	0.6946	0.772	1.0000	0.0700
<i>Doble pliegues</i>	0.3242	-0.5095	-0.2601	0.4244	0.5103	-0.5410	-0.0924	-0.6388	-0.1798	-0.4061	0.0700	1.0000

2) Ajuste de datos a un SR 45:

Para la especie *Guadua angustifolia*, se encontró que el grado Schopper afecta de manera significativa a las siguientes propiedades:

- Espesor
- Opacidad
- Permeabilidad
- Longitud de rotura
- Alargamiento

Espesor

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente de espesor en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*:

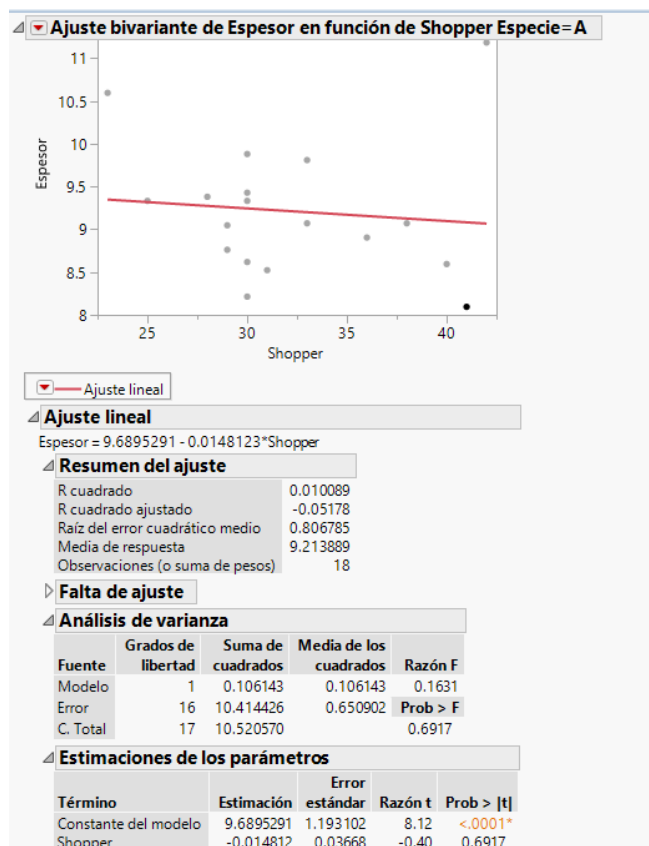


Figura 1: Ajuste bivalente de espesor en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Espesor} = 9.6895291 - 0.0148123 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de Espesor para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 3: Ajuste de los datos de Espesor para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Espesor</i>	<i>Espesor ajustado a 45 SR</i>
1000	18	30	9.88	9.67
	20	28	9.38	9.14
	22	30	9.43	9.22
1200	18	30	9.33	9.12
	20	30	8.62	8.41
	22	29	8.76	8.54
1400	18	42	11.18	11.14
	20	23	10.60	10.28
	22	29	9.05	8.82
1000	18	31	8.52	8.33
	20	36	8.90	8.78
	22	33	9.81	9.64
1200	18	30	8.21	8.00
	20	40	8.60	8.52
	22	33	9.07	8.90
1400	18	38	9.07	8.97
	20	25	9.33	9.05
	22	41	8.10	8.04

Opacidad

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente de Opacidad en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*:

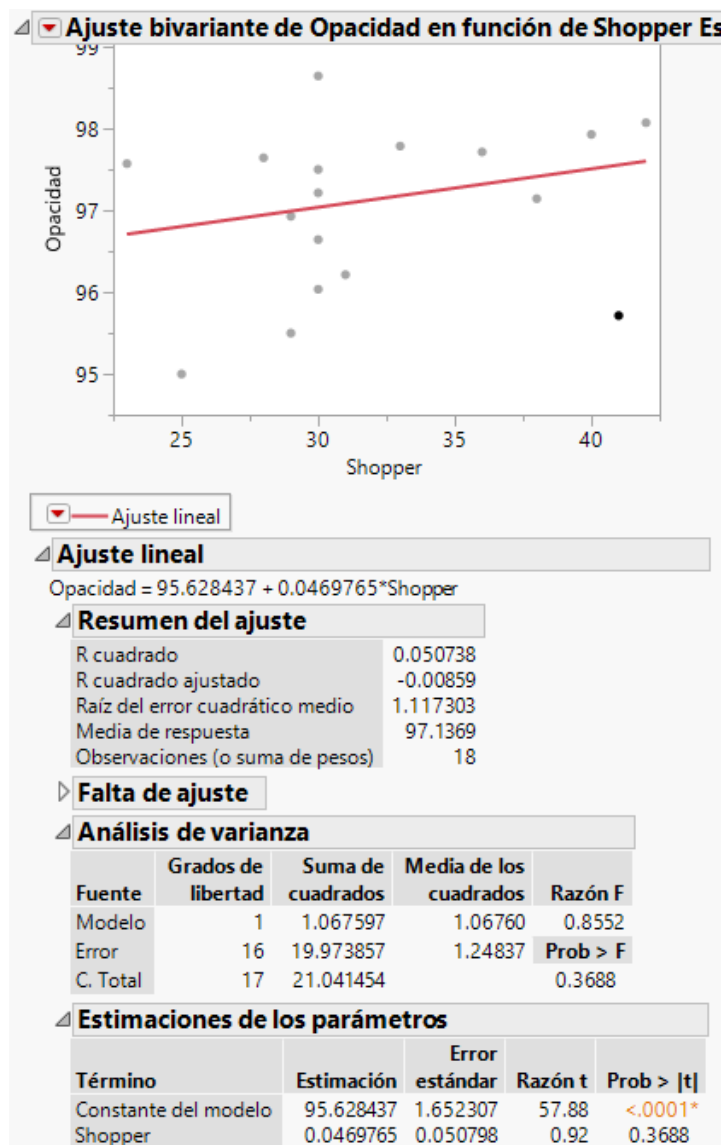


Figura 2: Ajuste bivalente de la opacidad en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Opacidad} = 95.628437 + 0.0469765 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de Opacidad para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 4: Ajuste de los datos de Opacidad para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Opacidad</i>	<i>Opacidad ajustado a 45 SR</i>
1000	18	30	96.04	96.74
	20	28	97.64	98.44
	22	30	97.21	97.92
1200	18	30	98.64	99.35
	20	30	96.64	97.35
	22	29	96.93	97.68
1400	18	42	98.07	98.21
	20	23	97.57	98.60
	22	29	95.50	96.25
1000	18	31	96.21	96.87
	20	36	97.71	98.14
	22	33	97.79	98.35
1200	18	30	97.50	98.20
	20	40	97.93	98.16
	22	33	99.21	99.78
1400	18	38	97.14	97.47
	20	25	95.00	95.94
	22	41	95.71	95.90

Permeabilidad

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivariante de la permeabilidad en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*:

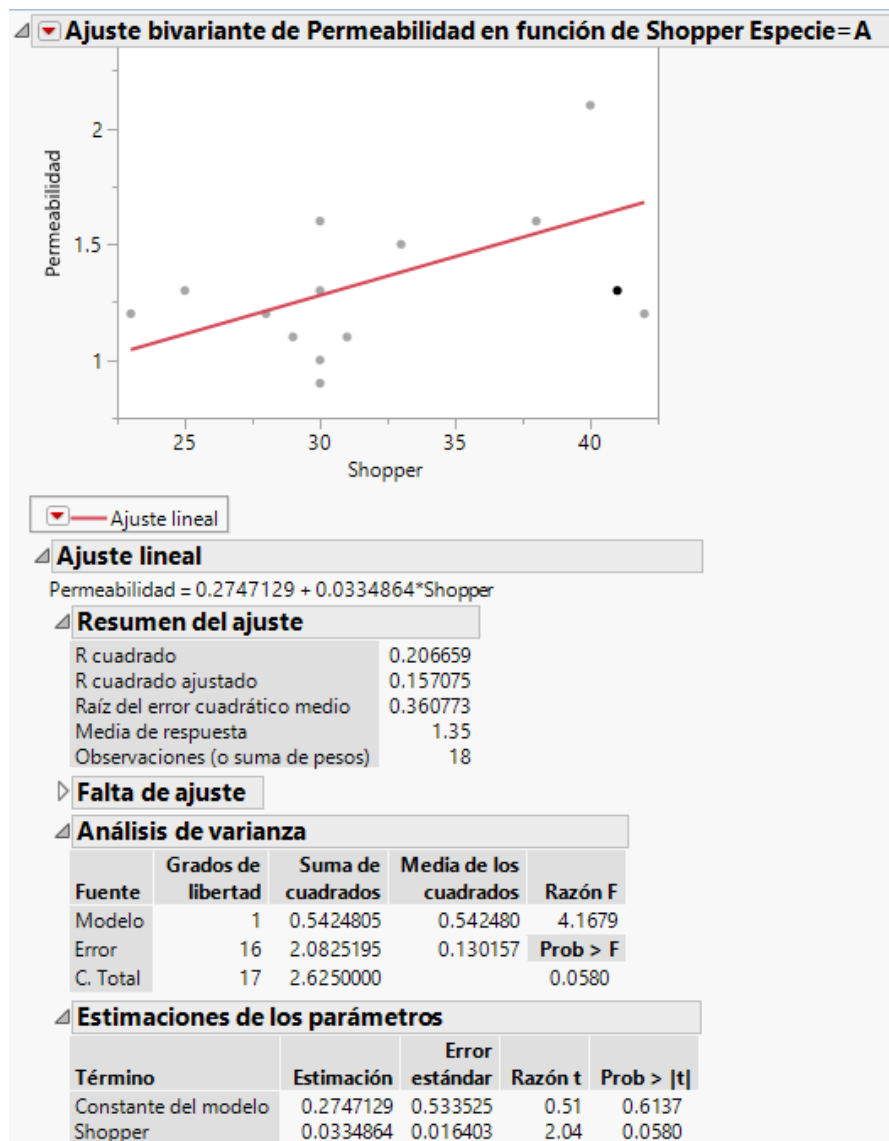


Figura 3: Ajuste bivariante de la permeabilidad en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Permeabilidad} = 0.2747129 + 0.0334864 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de Permeabilidad para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 5: Ajuste de los datos de Permeabilidad para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Permeabilidad</i>	<i>Permeabilidad ajustada</i>
1000	18	30	0.9	1.44
	20	28	1.2	1.74
	22	30	0.9	1.40
1200	18	30	1.0	1.50
	20	30	1.3	1.80
	22	29	1.1	1.64
1400	18	42	1.2	1.30
	20	23	1.2	1.97
	22	29	1.1	1.59
1000	18	31	1.1	1.60
	20	36	2.4	2.70
	22	33	1.5	1.90
1200	18	30	1.6	2.14
	20	40	2.1	2.27
	22	33	1.5	1.90
1400	18	38	1.6	1.79
	20	25	1.3	1.97
	22	41	1.3	1.38

Longitud de rotura

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivariante de la longitud de rotura en función al grado Shopper de la especie *Guadua angustifolia*:

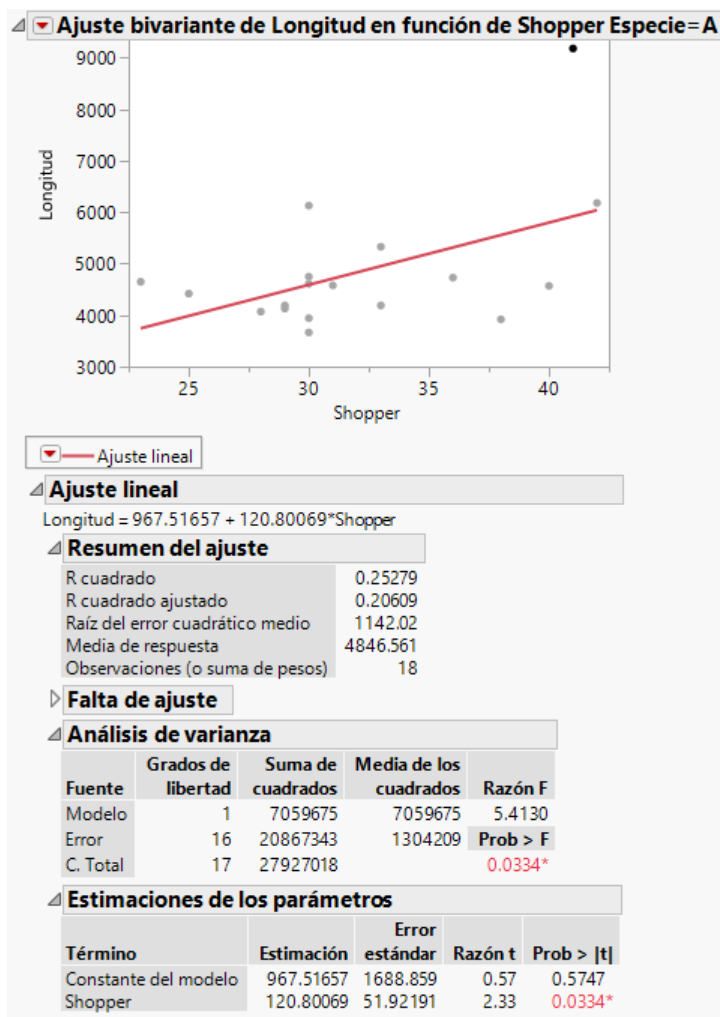


Figura 4: Ajuste bivariante de la longitud de rotura en función al grado Shopper de la especie *Guadua angustifolia*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Longitud} = 967.51657 + 120.80069 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 6: Ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Longitud de rotura</i>	<i>Longitud de rotura ajustada</i>
1000	18	30	6129	7940.6
	20	28	4070	6123.6
	22	30	3667	5478.7
1200	18	30	4750	6562.0
	20	30	3943	5754.9
	22	29	4130	6062.8
1400	18	42	6180	6542.4
	20	23	4650	7307.6
	22	29	4190	6122.8
1000	18	31	4580	6271.2
	20	36	4730	5817.2
	22	33	5330	6779.6
1200	18	30	4610	6422.0
	20	40	4570	5174.0
	22	33	4190	5639.6
1400	18	38	3920	4765.6
	20	25	4420	6836.0
	22	41	9180	9663.2

Alargamiento

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivariante del alargamiento en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*:

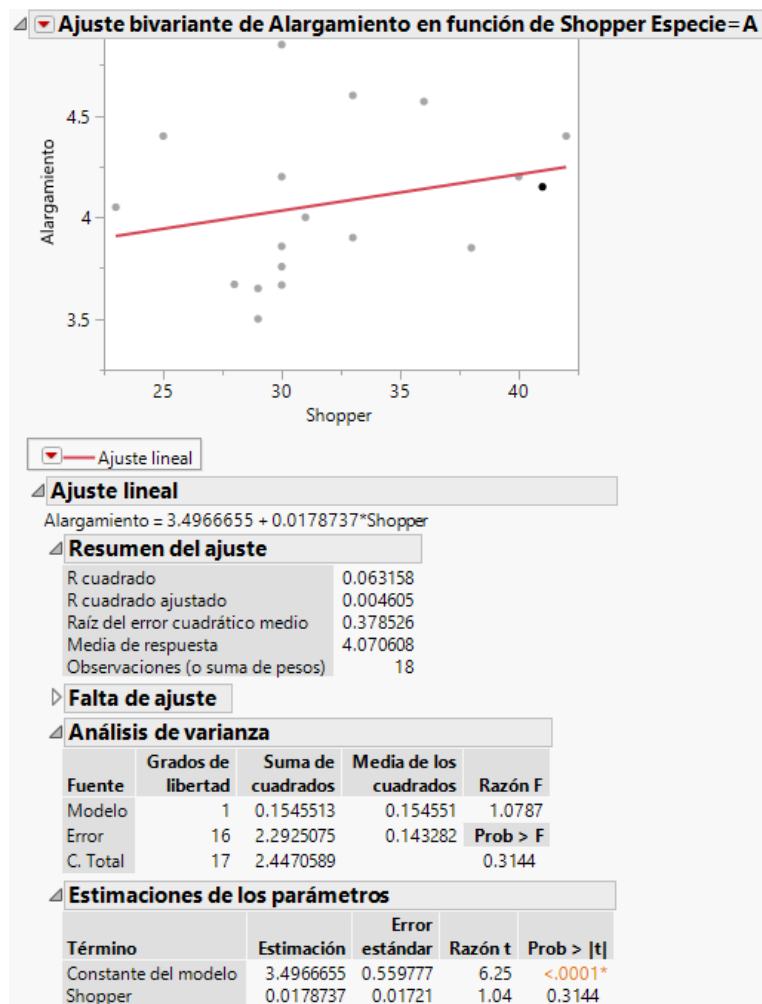


Figura 5: Ajuste bivalente del alargamiento en función al grado Schopper de la especie *Guadua angustifolia*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Alargamiento} = 3.4966655 + 0.0178737 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 7: Ajuste de los datos del alargamiento para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Alargamiento</i>	<i>Alargamiento ajustado</i>
1000	18	30	3.86	4.13
	20	28	3.67	3.97
	22	30	3.67	3.93
1200	18	30	4.20	4.47
	20	30	3.76	4.03
	22	29	3.50	3.79
1400	18	42	4.40	4.45
	20	23	4.05	4.44
	22	29	3.65	3.94
1000	18	31	4.00	4.25
	20	36	4.57	4.73
	22	33	4.60	□□□□□
1200	18	30	4.85	5.12
	20	40	4.20	4.29
	22	33	3.90	4.11
1400	18	38	3.85	3.98
	20	25	4.40	4.76
	22	41	4.15	4.22

Para la especie *Bambusa vulgaris*, se encontró que el grado Schopper afecta de manera significativa a las siguientes propiedades:

- Espesor
- Opacidad
- Permeabilidad
- Longitud de rotura
- Alargamiento
- Índice de desgarramiento
- Doble pliegues

Espesor

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente de espesor en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

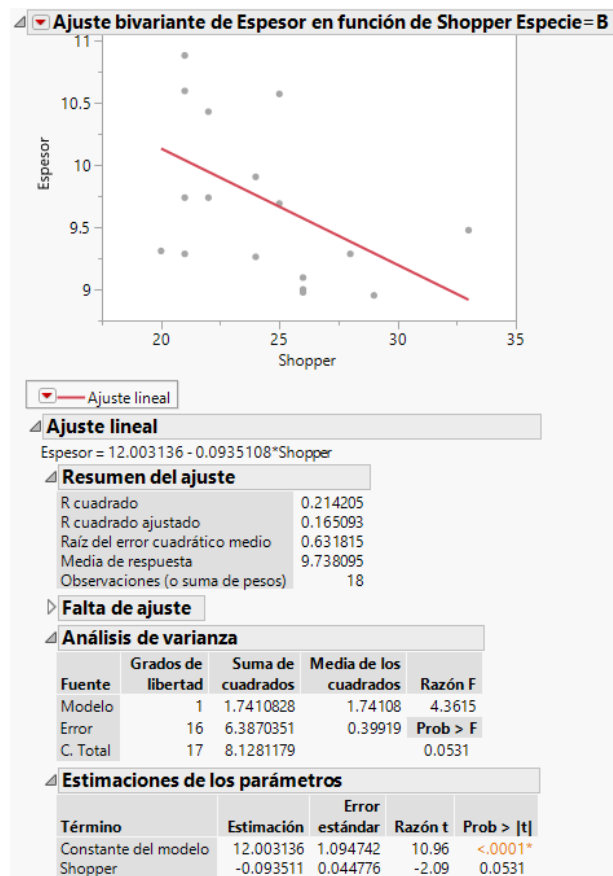


Figura 6: Ajuste bivalente de espesor en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Espesor} = 12.003136 - 0.0935108 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de Espesor para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 8: Ajuste de los datos de Espesor para un SR de 45.

Factor H	Álcali	SR	Espesor	Espesor ajustado a 45 SR
1000	18	30	10.57	8.70
	20	28	9.74	7.49
	22	30	9.29	7.04
1200	18	30	9.74	7.59
	20	30	10.88	8.64
	22	29	11.10	8.94
1400	18	42	10.43	8.28
	20	23	10.60	8.35
	22	29	9.31	6.97
1000	18	31	9.29	7.70
	20	36	8.98	7.20
	22	33	9.69	7.82
1200	18	30	8.95	7.46
	20	40	9.48	8.35
	22	33	9.90	7.94
1400	18	38	9.10	7.32
	20	25	9.00	7.22
	22	41	9.26	7.30

Opacidad

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente de opacidad en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

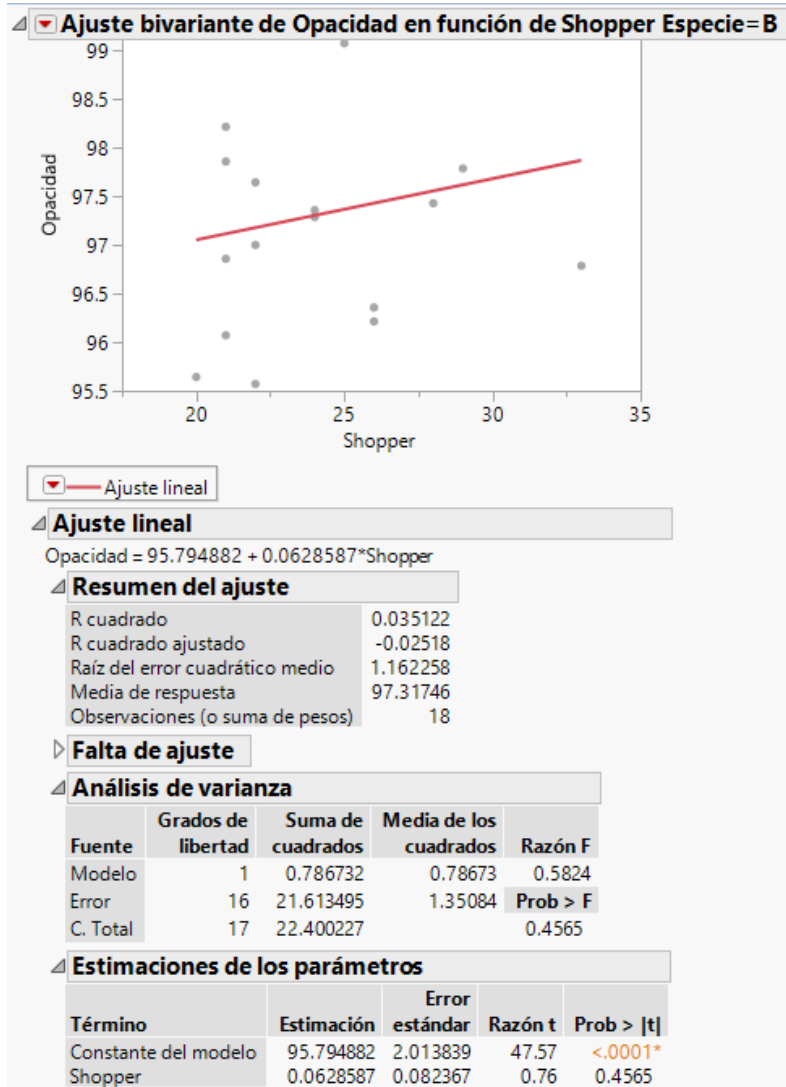


Figura 7: Ajuste bivalente de la opacidad en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Opacidad} = 95.794882 + 0.0628587 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de Opacidad para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 9: Ajuste de los datos de Opacidad para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Opacidad</i>	<i>Opacidad ajustado a 45 SR</i>
1000	1,930	30	99.07	100.33
	20	28	96.07	97.58
	22	30	98.21	99.72
1200	18	30	97.64	99.09
	20	30	97.86	99.37
	22	29	95.57	97.02
1400	18	42	97.00	98.45
	20	23	96.86	98.37
	22	29	95.64	97.21
1000	18	31	97.43	98.50
	20	36	96.21	97.41
	22	33	99.29	100.54
1200	18	30	97.79	98.79
	20	40	96.79	97.54
	22	33	97.36	98.68
1400	18	38	99.29	100.48
	20	25	96.36	97.55
	22	41	97.29	98.61

Permeabilidad

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivariante de la permeabilidad en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

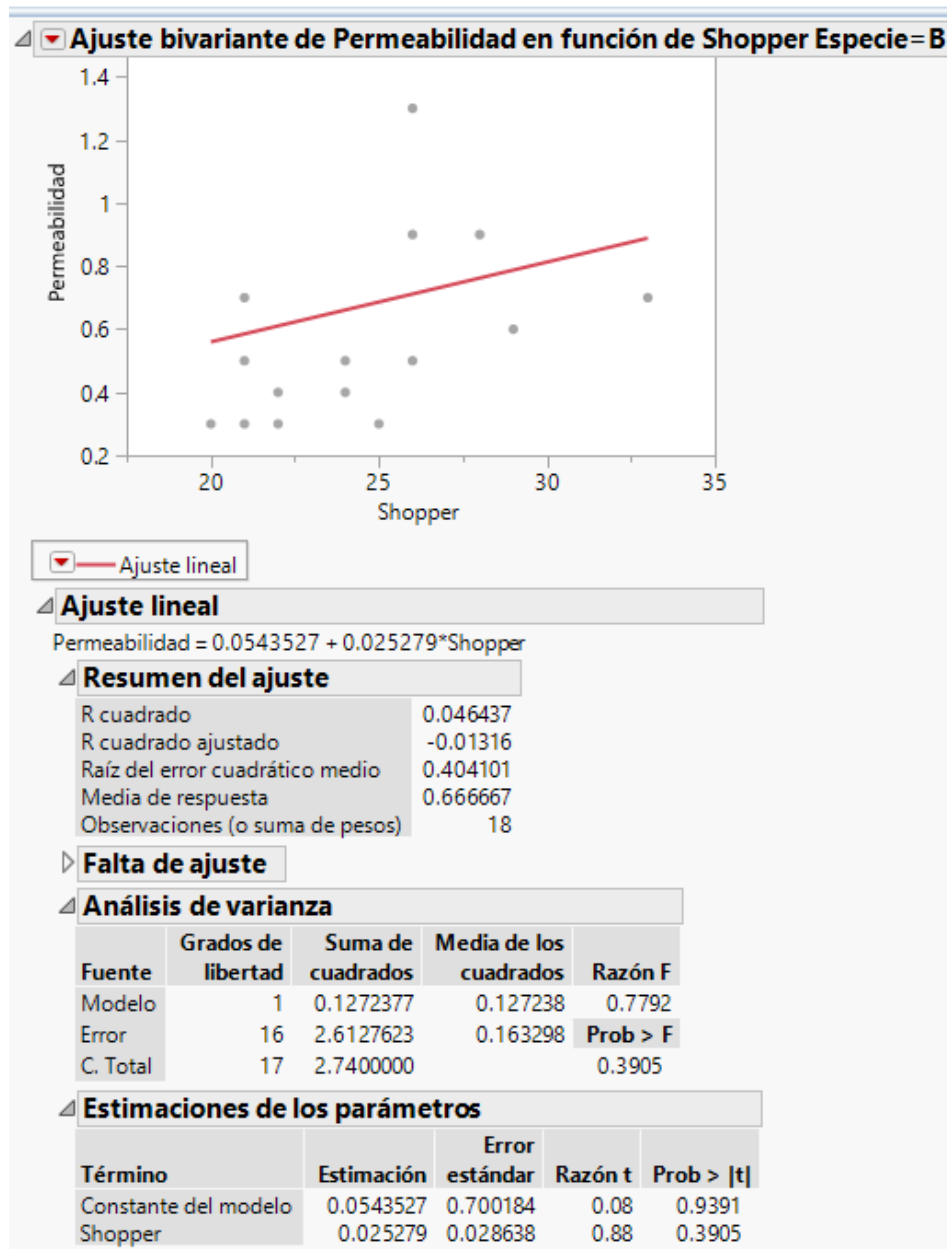


Figura 8: Ajuste bivariante de la permeabilidad en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*

A partir de la ecuación:

$$\text{Permeabilidad} = 0.0543527 + 0.025279 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de Permeabilidad para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 10: Ajuste de los datos de Permeabilidad para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Permeabilidad</i>	<i>Permeabilidad ajustada</i>
1000	18	30	0.9	1.44
	20	28	1.2	1.77
	22	30	0.9	1.51
1200	18	30	1.0	1.58
	20	30	1.3	1.91
	22	29	1.1	1.68
1400	18	42	1.2	1.78
	20	23	1.2	1.84
	22	29	1.1	1.68
1000	18	31	1.1	1.56
	20	36	2.4	2.88
	22	33	1.5	2.01
1200	18	30	1.6	2.04
	20	40	2.1	2.40
	22	33	1.5	2.03
1400	18	38	1.6	2.04
	20	25	1.3	1.78
	22	41	1.3	1.78

Longitud de rotura

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente de la longitud de rotura en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

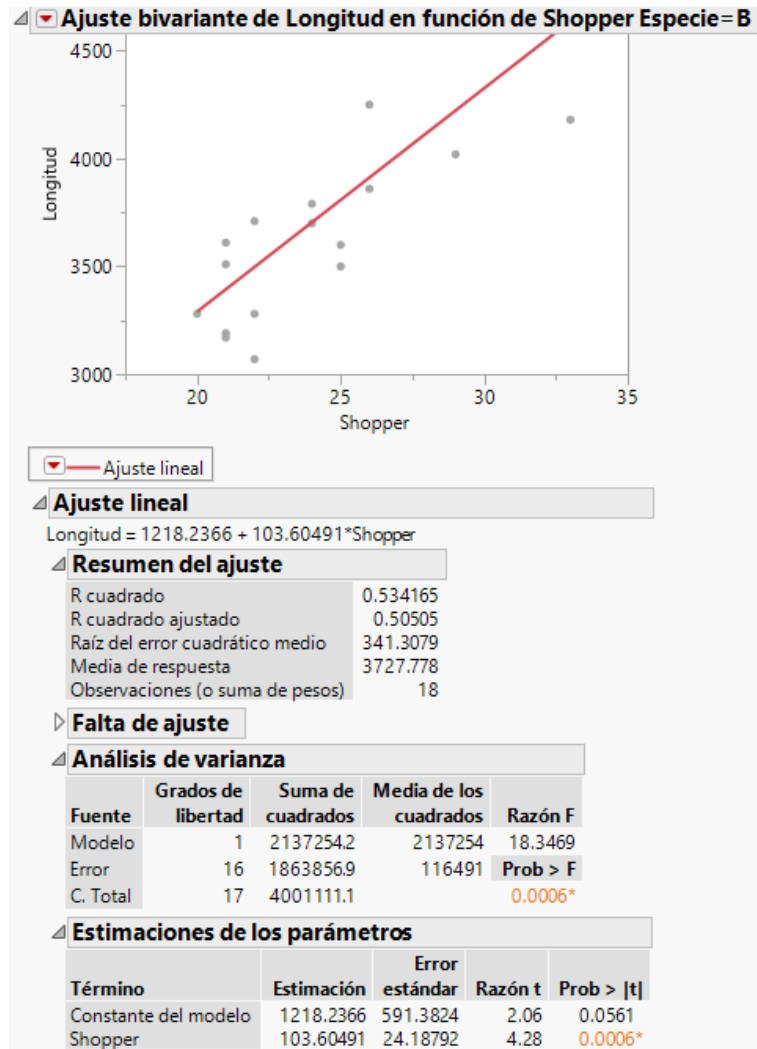


Figura 9: Ajuste bivalente de la longitud de rotura en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Longitud} = 1218.2366 + 103.60491 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 11: Ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45.

Factor H	Álcali	SR	Longitud de rotura	Longitud de rotura ajustada
1000	18	30	6129	8201
	20	28	4070	6557
	22	30	3667	6153
1200	18	30	4750	7133
	20	30	3943	6429
	22	29	4130	6513
1400	18	42	6180	8563
	20	23	4650	7137
	22	29	4190	6780
1000	18	31	4580	6341
	20	36	4730	6698
	22	33	5330	7402
1200	18	30	4610	6268
	20	40	4570	5813
	22	33	4190	6366
1400	18	38	3920	5888
	20	25	4420	6388
	22	41	9180	11356

Alargamiento

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente del alargamiento en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

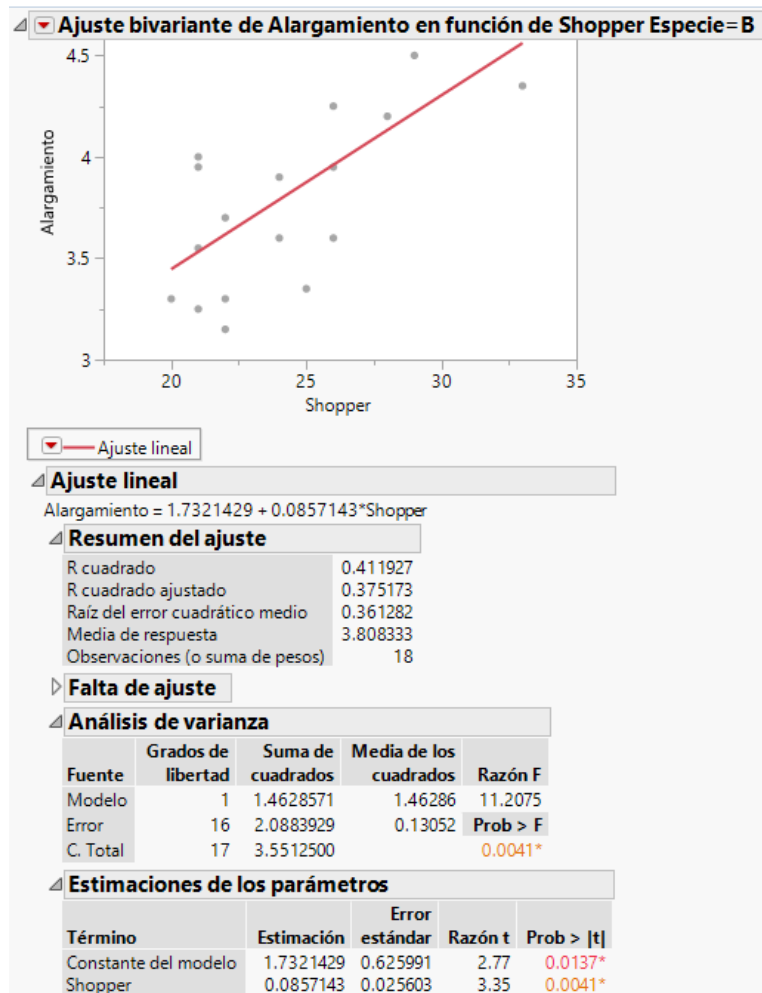


Figura 10: Ajuste bivalente del alargamiento en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Alargamiento} = 1.7321429 + 0.0857143 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 12: Ajuste de los datos del alargamiento para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Alargamiento</i>	<i>Alargamiento ajustado</i>
1000	18	30	3.86	5.57
	20	28	3.67	5.73
	22	30	3.67	5.72
1200	18	30	4.20	6.17
	20	30	3.76	5.81
	22	29	3.50	5.47
1400	18	42	4.40	6.37
	20	23	4.05	6.11
	22	29	3.65	5.79
1000	18	31	4.00	5.46
	20	36	4.57	6.20
	22	33	4.60	6.31
1200	18	30	4.85	6.22
	20	40	4.20	5.23
	22	33	3.90	5.70
1400	18	38	3.85	5.48
	20	25	4.40	6.03
	22	41	4.15	5.95

Índice de rasgado

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivariante del índice de rasgado en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

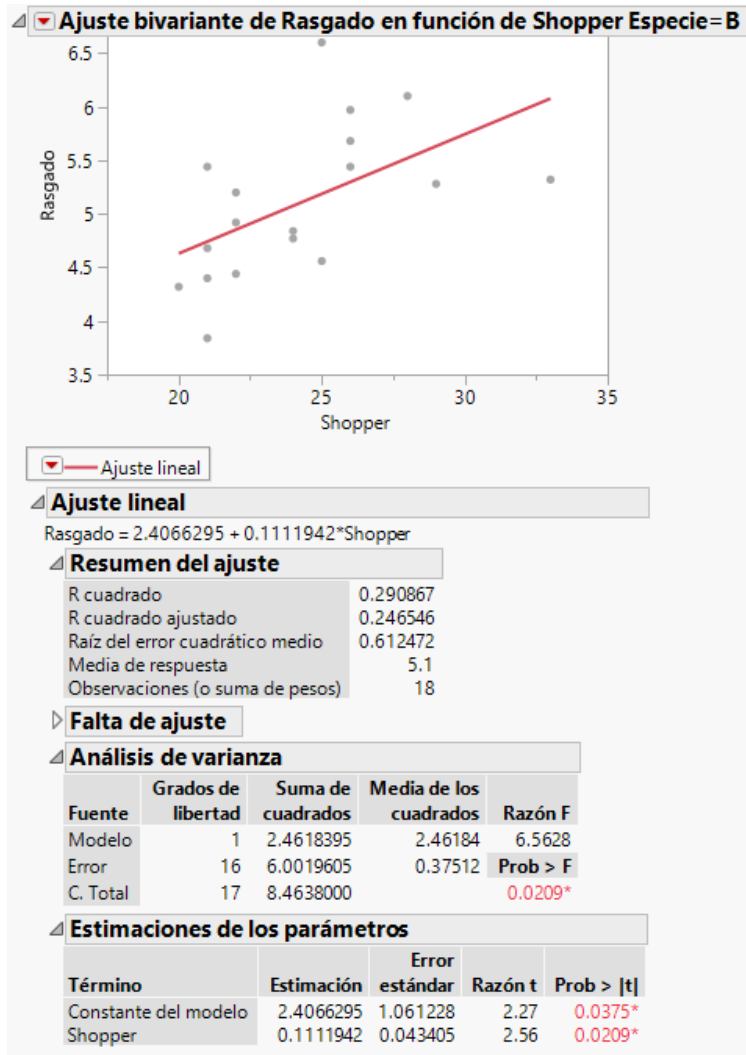


Figura 11: Ajuste bivariante del índice de rasgado en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Rasgado} = 2.4066295 + 0.1111942 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 13: Ajuste de los datos del Índice de rasgado para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Índice de rasgado</i>	<i>Índice de rasgado ajustado</i>
1000	18	30	5.00	7.22
	20	28	5.44	8.11
	22	30	3.84	6.51
1200	18	30	4.44	7.00
	20	30	4.68	7.35
	22	29	4.92	7.48
1400	18	42	5.20	7.76
	20	23	4.40	7.07
	22	29	4.32	7.10
1000	18	31	5.10	6.99
	20	36	5.44	7.55
	22	33	4.56	6.78
1200	18	30	4.28	6.06
	20	40	4.32	5.65
	22	33	4.84	7.18
1400	18	38	4.68	6.79
	20	25	4.97	7.08
	22	41	3.77	6.10

Doble pliegues

Utilizando el software de análisis estadístico JMP se hizo el ajuste bivalente de doble pliegues en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*:

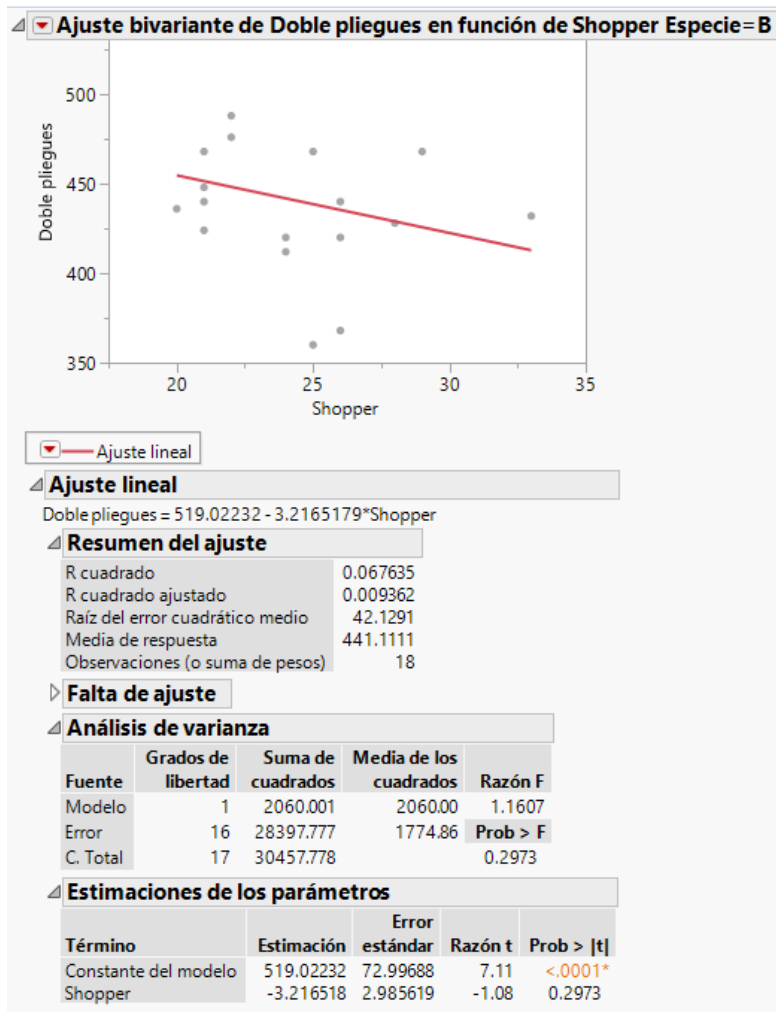


Figura 12: Ajuste bivalente de doble pliegues en función al grado Schopper de la especie *Bambusa vulgaris*.

A partir de la ecuación:

$$\text{Doble pliegues} = 519.02232 - 3.2165179 * \text{Schopper}$$

Se hizo el ajuste de los datos de la Longitud de rotura para un SR de 45, obteniendo:

Tabla 14: Ajuste de los datos del alargamiento para un SR de 45.

<i>Factor H</i>	<i>Álcali</i>	<i>SR</i>	<i>Doble pliegues</i>	<i>Doble pliegues ajustado</i>
1000	18	30	468.00	403.67
	20	28	448.00	370.80
	22	30	424.00	346.80
1200	18	30	488.00	414.02
	20	30	468.00	390.80
	22	29	476.00	402.02
1400	18	42	544.00	470.02
	20	23	440.00	362.80
	22	29	436.00	355.59
1000	18	31	428.00	373.32
	20	36	368.00	306.89
	22	33	360.00	295.67
1200	18	30	468.00	416.54
	20	40	432.00	393.40
	22	33	420.00	352.45
1400	18	38	440.00	378.89
	20	25	420.00	358.89
	22	41	412.00	344.45

ANEXO 8
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES AJUSTADAS A 45°SR CON
RESPECTO A ALCALI ACTIVO Y FACTOR H UTILIZADO.

Utilizando el software de análisis estadístico Minitab, se obtuvo la regresión de superficie de respuesta de las propiedades físico-mecánicas relacionadas con el álcali activo y Facto H utilizado.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	7.07358	1.41472	5.43	0.097
Lineal	2	3.47803	1.73902	6.67	0.079
Factor H	1	0.34442	0.34442	1.32	0.334
Alcali (%)	1	3.13361	3.13361	12.02	0.040
Cuadrado	2	1.84014	0.92007	3.53	0.163
Factor H*Factor H	1	1.83908	1.83908	7.06	0.077
Alcali (%)*Alcali (%)	1	0.00106	0.00106	0.00	0.953
Interacción de 2 factores	1	1.75541	1.75541	6.74	0.081
Factor H*Alcali (%)	1	1.75541	1.75541	6.74	0.081
Error	3	0.78181	0.26060		
Total	8	7.85540			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.510495	90.05%	73.46%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	8.638	0.381	22.70	0.000	
Factor H	0.240	0.208	1.15	0.334	1.00
Alcali (%)	-0.723	0.208	-3.47	0.040	1.00
Factor H*Factor H	0.959	0.361	2.66	0.077	1.00
Alcali (%)*Alcali (%)	-0.023	0.361	-0.06	0.953	1.00
Factor H*Alcali (%)	-0.662	0.255	-2.60	0.081	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Espesor (um)} = 6.9 - 0.0232 \text{ Factor H} + 1.86 \text{ Alcali (\%)} + 0.000024 \text{ Factor H*Factor H} - 0.0058 \text{ Alcali (\%)*Alcali (\%)} - 0.001656 \text{ Factor H*Alcali (\%)}$$

Figura 1: Regresión de superficie de respuesta: Espesor vs Factor H y álcali activo para la especie *Guadua angustifolia*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	0.30543	0.07636	5.54	0.063
Lineal	2	0.03775	0.01887	1.37	0.353
Factor H	1	0.01298	0.01298	0.94	0.387
Alcali (%)	1	0.02477	0.02477	1.80	0.251
Cuadrado	2	0.26769	0.13384	9.70	0.029
Factor H*Factor H	1	0.01145	0.01145	0.83	0.414
Alcali (%)*Alcali (%)	1	0.25624	0.25624	18.58	0.013
Error	4	0.05518	0.01379		
Total	8	0.36061			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.117450	84.70%	69.40%	22.54%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1.8854	0.0875	21.54	0.000	
Factor H	0.0465	0.0479	0.97	0.387	1.00
Alcali (%)	0.0642	0.0479	1.34	0.251	1.00
Factor H*Factor H	-0.0757	0.0830	-0.91	0.414	1.00
Alcali (%)*Alcali (%)	-0.3579	0.0830	-4.31	0.013	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Permeabilidad} = -37.55 + 0.00477 \text{ Factor H} + 3.611 \text{ Alcali (\%)} - 0.000002 \text{ Factor H*Factor H} - 0.0895 \text{ Alcali (\%)*Alcali (\%)}$$

Pareto de los efectos para Permeabilidad

Figura 2: Regresión de superficie de respuesta: Permeabilidad vs Factor H y álcali activo para la especie *Guadua angustifolia*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	0.165759	0.041440	6.24	0.052
Lineal	2	0.057061	0.028531	4.30	0.101
Factor H	1	0.056283	0.056283	8.48	0.044
Alcali	1	0.000778	0.000778	0.12	0.749
Cuadrado	2	0.108698	0.054349	8.19	0.039
Factor H*Factor H	1	0.005689	0.005689	0.86	0.407
Alcali*Alcali	1	0.103009	0.103009	15.52	0.017
Error	4	0.026547	0.006637		
Total	8	0.192306			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0814662	86.20%	72.39%	30.11%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1.8745	0.0607	30.87	0.000	
Factor H	0.0969	0.0333	2.91	0.044	1.00
Alcali	0.0114	0.0333	0.34	0.749	1.00
Factor H*Factor H	-0.0533	0.0576	-0.93	0.407	1.00
Alcali*Alcali	-0.2269	0.0576	-3.94	0.017	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Permeabilidad} = -23.44 + 0.00368 \text{ Factor H} + 2.275 \text{ Alcali} - 0.000001 \text{ Factor H*Factor H} - 0.0567 \text{ Alcali*Alcali}$$

Pareto de los efectos para Permeabilidad

Figura 3: Regresión de superficie de respuesta: Permeabilidad vs Factor H y álcali activo para la especie *Bambusa vulgaris*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	2	3711213	1855607	6.51	0.031
Lineal	2	3711213	1855607	6.51	0.031
Factor H	1	410388	410388	1.44	0.275
Alcali	1	3300825	3300825	11.58	0.014
Error	6	1710341	285057		
Total	8	5421555			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
533.907	68.45%	57.94%	25.63%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	7052	178	39.62	0.000	
Factor H	262	218	1.20	0.275	1.00
Alcali	-742	218	-3.40	0.014	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Longitud de rotura (m)} = 12900 + 1.31 \text{ Factor H} - 371 \text{ Alcali}$$

Pareto de los efectos para Longitud de rotura (m)

Figura 4: Regresión de superficie de respuesta: Longitud de rotura vs Factor H y álcali activo para la especie *Bambusa vulgaris*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.462366	0.092473	3.29	0.178
Lineal	2	0.428516	0.214258	7.63	0.067
Factor H	1	0.106386	0.106386	3.79	0.147
Alcali (%)	1	0.322130	0.322130	11.48	0.043
Cuadrado	2	0.007090	0.003545	0.13	0.886
Factor H*Factor H	1	0.005271	0.005271	0.19	0.694
Alcali (%)*Alcali (%)	1	0.001819	0.001819	0.06	0.816
Interacción de 2 factores	1	0.026759	0.026759	0.95	0.401
Factor H*Alcali (%)	1	0.026759	0.026759	0.95	0.401
Error	3	0.084210	0.028070		
Total	8	0.546575			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.167541	84.59%	58.92%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	4.113	0.125	32.94	0.000	
Factor H	0.1332	0.0684	1.95	0.147	1.00
Alcali (%)	-0.2317	0.0684	-3.39	0.043	1.00
Factor H*Factor H	0.051	0.118	0.43	0.694	1.00
Alcali (%)*Alcali (%)	-0.030	0.118	-0.25	0.816	1.00
Factor H*Alcali (%)	-0.0818	0.0838	-0.98	0.401	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Alargamiento} = -0.4 + 0.00168 \text{ Factor H} + 0.43 \text{ Alcali (\%)} + 0.000001 \text{ Factor H*Factor H} - 0.0075 \text{ Alcali (\%)*Alcali (\%)} - 0.000204 \text{ Factor H*Alcali (\%)}$$

Pareto de los efectos para Alargamiento

Figura 5: Regresión de superficie de respuesta: Alargamiento vs Factor H y álcali activo para la especie *Guadua angustifolia*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.563162	0.112632	7.12	0.069
Lineal	2	0.479459	0.239729	15.15	0.027
Factor H	1	0.173562	0.173562	10.97	0.045
Alcali	1	0.305896	0.305896	19.33	0.022
Cuadrado	2	0.020607	0.010303	0.65	0.582
Factor H*Factor H	1	0.020543	0.020543	1.30	0.337
Alcali*Alcali	1	0.000064	0.000064	0.00	0.953
Interacción de 2 factores	1	0.063097	0.063097	3.99	0.140
Factor H*Alcali	1	0.063097	0.063097	3.99	0.140
Error	3	0.047474	0.015825		
Total	8	0.610637			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.125797	92.23%	79.27%	5.22%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	5.8153	0.0938	62.02	0.000	
Factor H	0.1701	0.0514	3.31	0.045	1.00
Alcali	-0.2258	0.0514	-4.40	0.022	1.00
Factor H*Factor H	0.1013	0.0890	1.14	0.337	1.00
Alcali*Alcali	0.0056	0.0890	0.06	0.953	1.00
Factor H*Alcali	-0.1256	0.0629	-2.00	0.140	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Alargamiento (mm)} = 3.7 + 0.00105 \text{ Factor H} + 0.208 \text{ Alcali} + 0.000003 \text{ Factor H*Factor H} + 0.0014 \text{ Alcali*Alcali} - 0.000314 \text{ Factor H*Alcali}$$

Pareto de los efectos para Alargamiento (mm)

Figura 6: Regresión de superficie de respuesta: Alargamiento vs Factor H y álcali activo para la especie *Bambusa vulgaris*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	7043	2347.6	3.51	0.105
Lineal	2	6019	3009.3	4.51	0.076
Factor H	1	1536	1536.0	2.30	0.190
Alcali	1	4483	4482.7	6.71	0.049
Interacción de 2 factores	1	1024	1024.0	1.53	0.271
Factor H*Alcali	1	1024	1024.0	1.53	0.271
Error	5	3340	667.9		
Total	8	10382			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
25.8440	67.83%	48.53%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	479.56	8.61	55.67	0.000	
Factor H	16.0	10.6	1.52	0.190	1.00
Alcali	-27.3	10.6	-2.59	0.049	1.00
Factor H*Alcali	-16.0	12.9	-1.24	0.271	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Doble pliegues (N°) = $-303 + 0.880 \text{ Factor H} + 34.3 \text{ Alcali} - 0.0400 \text{ Factor H*Alcali}$

Pareto de los efectos para Doble pliegues (N°)

Figura 7: Regresión de superficie de respuesta: Doble pliegues vs Factor H y álcali activo para la especie *Guadua angustifolia*.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	2	6350.9	3175.5	3.72	0.089
Lineal	2	6350.9	3175.5	3.72	0.089
Factor H	1	751.2	751.2	0.88	0.384
Alcali	1	5599.8	5599.8	6.57	0.043
Error	6	5114.8	852.5		
Total	8	11465.8			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
29.1971	55.39%	40.52%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	390.73	9.73	40.15	0.000	
Factor H	11.2	11.9	0.94	0.384	1.00
Alcali	-30.5	11.9	-2.56	0.043	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Doble pliegues (N°)} = 629 + 0.0559 \text{ Factor H} - 15.27 \text{ Alcali}$$

Pareto de los efectos para Doble pliegues (N°)

Figura 8: Regresión de superficie de respuesta: Doble pliegues vs Factor H y álcali activo para la especie *Bambusa vulgaris*.