

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE MARIA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Br. David Emerson Auccapuma Llalli

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE
COCCION Y LA CONCENTRACION DEL HIDROXIDO
DE SODIO EN EL RENDIMIENTO Y LAS
PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA PULPA
FORMADA DE PAJA (*Stipa ichu L.*)**

Asesor:

PhD. Florentino Lázaro Mendoza Marín

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS - APURIMAC - PERU
2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE MARIA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Br. David Emerson Auccapuma Llalli

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE
COCCION Y LA CONCENTRACION DEL HIDROXIDO
DE SODIO EN EL RENDIMIENTO Y LAS
PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA PULPA
FORMADA DE PAJA (*Stipa ichu L.*)**

Asesor:

PhD. Florentino Lázaro Mendoza Marín

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS - APURIMAC - PERU
2018**



APROBACIÓN DEL ASESOR

Quien suscribe:

Ph.D. Ing. FLORENTINO LÁZARO MENDOZA MARÍN, por la presente:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **DAVID EMERSON AUCCAPUMA LLALLI**; ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado "EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE COCCIÓN Y LA CONCENTRACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE SODIO EN EL RENDIMIENTO Y LAS PROPIEDDES FISICO-MECÁNICAS DE LA PULPA FORMADA DE PAJA (*Stipa ichu L.*)", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 08 de agosto del 2018

Ph.D. Florentino Lázaro Mendoza Marín
Asesor de Tesis

Br. David Emerson Auccapuma Llalli
Tesista



FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el local salón de grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Sede Académica Santa de la Universidad Nacional José María Arguedas de la ciudad de Andahuaylas, siendo las ocho de la mañana del día Viernes trece de Julio del dos mil dieciocho; se reunieron MSc. Thomas Ancco Vizcarra, Ing. Juvenal Rivas Leguía e Ing. MSc. Abel Manuel Serna Herrera integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE LA TEMPERATURA , TIEMPO DE COCCION Y LA CONCENTRACION DEL HIDROXIDO DE SODIO EN EL RENDIMIENTO Y LAS PROPIEDADES FISICO- MECANICAS DE LA PULPA FORMADA DE PAJA (STIPA ICHU L.)", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial DAVID EMERSON AUCCAPUMA LLALLI , con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa del tesista, el Jurado Evaluador ACORDÓ: APROBAR por UNANIMIDAD al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial DAVID EMERSON AUCCAPUMA LLALLI, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Table with 3 columns: Nota escala vigesimal (Numeros, Letras), and Mención. Row 1: 16, DIECISEIS, MUY BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Signature of MSc. Thomas Ancco Vizcarra, Presidente del Jurado Evaluador

Signature of Ing. Juvenal Rivas Leguía, Primer Miembro del Jurado Evaluador

Signature of Ing. MSc. Abel Manuel Serna Herrera, Segundo Miembro del Jurado Evaluador



APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: "EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE COCCIÓN Y LA CONCENTRACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE SODIO EN EL RENDIMIENTO Y LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE LA PULPA FORMADA DE PAJA (*Stipa ichu* L.)"; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluado por el jurado dictaminador conformado por:

Presidente: Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra

Primer miembro: Ing. Juvenal Rivas Leguía

Segundo miembro: Ing. MSc Abel Manuel Serna Herrera

Habiendo sido aprobado por unanimidad, en la ciudad de Talavera el día 13 de julio del 2018.

Andahuaylas, 08 de agosto del 2018

Atentamente,



Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra
Presidente del Jurado Evaluador



Ing. Juvenal Rivas Leguía
Primer Miembro del Jurado Evaluador



Ing. MSc Abel Manuel Serna Herrera
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

DEDICATORIAS

A Dios por haberme dado la vida y por guiarme y que tome las decisiones correctas en los momentos difíciles de la vida.

A mis padres Ramón Auccapuma Huaraca y Aurelia Llalli Merino, quienes me guiaron e inculcaron valores para ser un buen ciudadano, a mis hermanos Charles, Edith Fanny y Marco Antonio Auccapuma Llalli, por sus motivaciones.

A mis tíos y tías en especial a Vicente Llalli Merino y a su esposa Ana Soledad Mejía Vila, quienes supieron darme sus consejos para poder seguir luchando por mis sueños.

A Shayda J. Huamaní Lazo por su comprensión y amor que me brinda día a día.

A los amigos y amiga Eles Raúl Villafuerte Contreras; Alberto Muñoz Fernández; Margoth Huamán Orosco; Mauro Rodas Guizado; Solina Cabrera Barrientos; David Llacchuas Valdivia; David Muñoz Huachuhuillca; y todos de la promoción del 2010 – I, por sus palabras de aliento y sus motivaciones.

A mis primos y primas por sus motivaciones y buenos consejos académicos y de la vida.

EPÍGRAFE

Todas las cosas del universo
representan un peligro ya sea en
su forma activa o latente.

David F. Auccapuma L.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a nuestro divino creador por darme la vida hasta estos días y poder cumplir con las cosas que me encomendó.

A la Universidad Nacional José María Arguedas y a toda la plana de docentes por haberme formado con el mejor de sus intenciones.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina por haberme acogido como tesista en el departamento Académico de Industrias Forestales encabezada por su Jefe de departamento académico y del laboratorio de pulpa y papel el PhD. Héctor Enrique Gonzales Mora, Lic. Guzmán Loayza Deysi, docente del Departamento Académico de Industrias Forestales y a MSc. Tatiana Condezo Castro, docente del Departamento Académico de Industrias Forestales, quienes supieron darle las pautas necesarias para culminar con las corridas experimentales de esta tesis.

Al Sr. Marco Panduro Paucar y Enrique Cabrera Vaquerizo, técnicos del laboratorio de pulpa y papel del Departamento Académico de Industrias Forestales, por haberme guiado incondicionalmente.

A mi asesor de tesis PhD. Florentino Lázaro Mendoza Marín por su apoyo, orientación, sugerencia y comprensión durante la ejecución de la presente tesis.

A la Bióloga María Del Carmen Delgado Layme por contribuir de manera incondicional en la etapa de la certificación del material vegetal.

A los miembros del jurado evaluador de la presente tesis Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra (Presidente del Jurado Evaluador), Ing. Juvenal Rivas Leguía (Primer Miembro del Jurado Evaluador) y al Ing. MSc Abel Manuel Serna Herrera (Segundo Miembro del Jurado Evaluador) por sus aportes, apoyo y paciencia en la ejecución de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIAS.....	vi
EPÍGRAFE	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
SÍMBOLOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Paja (<i>Stipa ichu L.</i>).....	7
2.2.1. Clasificación taxonómica.....	7
2.2.2. Composición química.....	7
2.2.3. Química de los materiales fibrosos	8
2.2.3.1. Celulosa.....	9
2.2.3.2. Hemicelulosa	10
2.2.3.3. Lignina	10
2.2.3.4. Extraíbles.....	10
2.2.4. Antraquinona	11
2.2.4.1. Catálisis con antraquinona.....	12
2.2.4.2. Efecto de la antraquinona en las propiedades físicas	12
2.2.4.3. Mecanismos de reacción de la antraquinona	13
2.2.5. Propiedades físico-mecánicas de pulpas para papel	14
2.2.5.1. Blancura.....	14
2.2.5.2. Índice de rasgado	15
2.2.5.3. Longitud de rotura.....	16
2.2.5.4. Doble pliegues	16
2.3. Industria de pulpa y papel.....	16

2.3.1. Evolución de la industria papelera	16
2.3.2. Fuentes para la fabricación de pulpa y de papel	17
2.3.2.1. Fibras procedentes de cultivos madereros.....	17
2.3.2.2. Fibras procedentes de cultivos agrícolas	17
2.3.3. Proceso de producción de pulpa de papel	19
2.3.3.1. Procesos mecánicos.....	19
2.3.3.2. Procesos químicos.....	20
2.3.3.2.1. Proceso a la soda	20
2.3.3.2.1.1. Proceso Soda-Antraquinona (AQ).....	20
2.3.3.2.2. Proceso kraft o al sulfato.....	21
2.3.3.2.3. Proceso al sulfito ácido	21
2.3.3.3. Proceso semiquímico.....	22
2.3.4. Pulpa celulósica y clasificación	23
2.3.4.1. Según la materia prima empleada.....	23
2.3.4.2. Según su estado de purificación	23
2.4. Variables de estudio	24
2.4.1. Temperatura de cocción	24
2.4.2. Tiempo de cocción.....	24
2.4.2.1. Tiempo de elevación.....	25
2.4.2.2. Tiempo a temperatura máxima	25
2.4.3. Concentración de hidróxido de sodio	25
CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS	26
3.1. Lugar de ejecución.....	26
3.2. Material de estudio.....	26
3.2.1. Universo y/o población.....	26
3.2.2. Muestra.....	26
3.3. Equipos, instrumentos, materiales, reactivos e insumos	26
3.4. Metodología.....	30
3.4.1. Obtención de pulpa para papel	30
3.4.1.1. Descripción de las operaciones de la metodología experimental del diagrama de bloques	31
3.4.2. Métodos de determinación.....	33
3.4.2.1. Determinación del rendimiento de la pulpa	33
3.4.2.2. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de pulpas para papel.....	34

3.4.2.2.1. Preparación de pulpa	34
3.4.2.2.2. Propiedades físico-mecánicas	36
3.4.3. Análisis estadístico	38
3.4.4. Análisis del diseño factorial.....	41
3.4.5. Hipótesis estadístico	41
3.4.6. Anova para el diseño factorial 2 ³	43
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION.....	44
4.1. Resultados y discusiones del rendimiento en pulpa de paja (<i>Stipa ichu L.</i>).....	44
4.1.1. Resultados del rendimiento en pulpa de paja.....	44
4.1.1.1. Discusiones del rendimiento en pulpa de paja	47
4.2. Resultados y discusiones de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu L.</i>).....	49
4.2.1. Resultados de blancura de la pulpa formada de paja.....	49
4.2.1.1. Discusiones de la blancura de la pulpa formada de paja.....	52
4.2.2. Resultados del índice de rasgado de la pulpa formada de paja	53
4.2.2.1. Discusiones de la índice de rasgado de la pulpa formada de paja	56
4.2.3. Resultados de longitud de rotura de la pulpa formada de paja.....	57
4.2.3.1. Discusiones de la longitud de rotura de la pulpa formada de paja.....	60
4.2.4. Resultados de doblez pliegues de la pulpa formada de paja.....	61
4.2.4.1. Discusiones de la doblez pliegues de la pulpa formada de paja.....	64
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	67
SUGERENCIAS.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
ANEXOS	73
APÉNDICES	121

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Constituyentes químicos de la madera y su proporción promedio.....	9
Figura 2. Unidad estructural de la celulosa α – D glucosa.....	10
Figura 3. Molécula de antraquinona y enumeración de los carbonos en el núcleo.....	12
Figura 4. Ciclo redox de la antraquinona.....	13
Figura 5. Ciclo redox de la antraquinona.....	14
Figura 6. Diagrama de bloques.....	31
Figura 7. Diagrama de contrastación de variables.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de la paja.	8
Tabla 2. Composición química de la paja	8
Tabla 3. Composición química de fibras.....	8
Tabla 4. Rendimiento promedio de algunas materias primas.	18
Tabla 5. Componentes químicos de las fuentes de pasta y de papel (%).	19
Tabla 6. Composición química en pulpa para papel de la paja	19
Tabla 7. Procesos semiquímicos para la producción de pulpa papelera.....	22
Tabla 8. Equipos.	27
Tabla 9. Instrumentos.....	28
Tabla 10. Materiales.....	28
Tabla 11. Reactivos.....	30
Tabla 12. Insumos.....	30
Tabla 13. Matriz del diseño estadístico modelo 2 ³	40
Tabla 14. Anova para el diseño factorial 2 ³	43
Tabla 15. Resultados del rendimiento.	45
Tabla 16. Análisis de Varianza para rendimiento.....	45
Tabla 17. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para el rendimiento.	46
Tabla 18. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para el rendimiento.	47
Tabla 19. Resultados de la blancura (° Photovolt).....	50
Tabla 20. Análisis de Varianza para la blancura.	51
Tabla 21. Análisis de varianza del efecto interacción simple A x C para la blancura.	51
Tabla 22. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para la blancura.	51
Tabla 23. Resultados del índice de rasgado.....	53
Tabla 24. Análisis de Varianza para el índice de rasgado.	54
Tabla 25. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para el índice de rasgado.	55
Tabla 26. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para el índice de rasgado.	56
Tabla 27. Resultados de la longitud de rotura	57
Tabla 28. Análisis de Varianza para la longitud de rotura.	58

Tabla 29. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para la longitud de rotura.	59
Tabla 30. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para la longitud de rotura.	60
Tabla 31. Resultados de la doblez pliegues.	61
Tabla 32. Análisis de Varianza para la doblez pliegues.	62
Tabla 33. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para la doblez pliegues.	62
Tabla 34. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para la doblez pliegues.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Panel fotográfico del material vegetal paja (<i>Stipa ichu L.</i>).....	73
Anexo 2. Panel fotográfico de la parte experimental del acondicionamiento de la paja.....	74
Anexo 3. Panel fotográfico de la parte experimental de digestión y formado de la pulpa de paja.....	75
Anexo 4. Panel fotográfico de la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja.....	76
Anexo 5. Análisis estadístico de datos para rendimiento en pulpa de la paja....	77
Anexo 6. Análisis estadístico de datos para grado de blancura de la pulpa formada de la paja.....	78
Anexo 7. Análisis estadístico de datos para resistencia al rasgado de pulpa formada de la paja.....	80
Anexo 8. Análisis estadístico de datos para longitud de rotura de pulpa formada de la paja.....	81
Anexo 9. Análisis estadístico de datos para doblez pliegues de pulpa formada de la paja.....	83
Anexo 10. Anova de interacción simple simple (A x B x C) para rendimiento en pulpa de paja.....	85
Anexo 11. Anova de interacción simple (A x C) para blancura de la pulpa formada de paja.....	88
Anexo 12. Anova de interacción simple (A x B x C) para índice de rasgado de la pulpa formada de paja.....	89
Anexo 13. Anova de interacción simple simple (A x B x C) para la longitud de rotura de la pulpa formada de paja.....	92
Anexo 14. Anova de interacción simple simple (A x B x C) para la doblez pliegues de la pulpa formada de paja.....	95
Anexo 15. Resultados individuales de cada corrida experimental.....	98
Anexo 16. Balance de materia por etapas de la investigación “Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu L.</i>)”.....	102
Anexo 17. Balance de energía de la investigación “Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y	

las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu L.</i>) en la etapa de la digestión.	106
Anexo 18. Certificación de la paja (<i>Stipa ichu L.</i>).	110
Anexo 19. Normas TAPPI.	112
Anexo 20. Requisitos de pruebas físico-mecánicas para diferentes tipos de papel... ..	119
Anexo 21. Matriz de consistencia.....	120

ABREVIATURAS

m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
GPS	: Sistema de posicionamiento global
UTM	: Universal transversal mercator
GE	: General Electric
AQ	: Antraquinona
min.	: Minutos
AA	: Álcali activo
TM/año	: Toneladas métricas por año
UNALM	: Universidad Nacional Agraria La Molina
t/ha	: Toneladas por hectárea
mN-m²/g	: Milinewton metro cuadrado por gramo
Nm/g	: Newton metro por gramo
kPa-m²/g	: Kilo pascal metro cuadrado por gramo
m	: Metro
#	: Número
cm	: Centímetro
pH	: Potencial de hidrógeno
Unid.	: Unidad
L	: Litro
g	: Gramo
Cap.	: Capacidad
ml	: Mililitro
cm²	: Centímetro cuadrado
kg	: Kilogramo
b.m.s.	: Base masa seca
rpm	: Revoluciones por minuto
ph	: Pulpa húmeda
ps	: Pulpa seca
°SR	: Grados Shopper Riegler
g/L	: Gramos por litro
kg/cm²	: Kilogramos por centímetro cuadrado
HR	: Humedad relativa
nm	: Nanómetro
LR	: Longitud de rotura

GI	: Grados de libertad
NTP	: Norma Técnica Peruana
LSD	: Diferencia mínima significativa
E.E.	: Error Estándar
PFI	: Laboratory beating of pulp
MIT	: Folding endurance of paper

SÍMBOLOS

°C	: Grados Celsius
(C₆H₁₀O₅)_n	: Formula química condensada de la celulosa
C₁₄H₈O₂	: Formula química de la antraquinona
AHQ	: Hidroxiantraquinona
AHQ⁻	: Hidroantraquinona
HAQ⁻²	: Dianión Hidroantraquinona
Na₂S	: Sulfato de sódio
Ca	: Cálcio
Mg	: Magnésio
NH₃	: Amoníaco
NaOH	: Hidróxido de sódio
Na	: Sódio

RESUMEN

La paja (*Stipa ichu* L.), es un recurso vegetal que pertenece a la familia de las poaceas, en la presente se emplea la variedad conocida en quechua como Sikaw ichu, recolectado a 3902 m.s.n.m. de la Comunidad Campesina de Checche, Distrito José María Arguedas, Provincia Andahuaylas, Región Apurímac – Perú, con un periodo vegetativo de crecimiento de un año y medio, cosechado en el mes de julio del año 2017. En la presente, se investiga su efecto de la temperatura, tiempo de cocción y concentración de hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de la paja (*Stipa ichu* L.). En ello se aplicó un diseño factorial 2³ para determinar los efectos siguiendo el proceso Soda-Antraquinona y los procedimientos de normas TAPPI para la determinación de las propiedades físico-mecánicas. Los resultados fueron analizados mediante estadística inferencial, y prueba de hipótesis con ANOVA con un nivel de confianza al 95%, el resultado del rendimiento es 38.22%, y en las propiedades físico-mecánicas el grado de blancura es 39.62 °Photovolt, el índice de rasgado es 9.32 mN-m²/g; longitud de rotura es 8404.67 m y la doblez pliegues es 559 #, en ello la temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; y la concentración de hidróxido de sodio de 15% tienen efecto estadísticamente significativo en el rendimiento en pulpa, mientras que en las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada los factores que ejercen efectos estadísticamente significativos es como sigue: para la blancura lo ejercen la temperatura de cocción de 170 °C y la concentración del hidróxido de sodio al 19%, en el índice de rasgado lo ejerce los tres factores en los siguientes niveles 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH mientras que en la longitud de rotura y la doblez pliegues también lo ejercen los tres factores en los siguientes niveles 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH respectivamente. Los tratamientos óptimos en la región experimental para el rendimiento es a 170 °C, 75 min; y 15%, de NaOH, grado de blancura a 170 °C y 19% de NaOH, índice de rasgado a 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH; longitud de rotura a 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH y los doblez pliegues es a 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH. Llegándose a las conclusiones que la temperatura, tiempo de cocción y concentración de hidróxido de sodio ejercen efecto en el rendimiento en pulpa y en las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

Palabras claves: *Cocción, concentración del hidróxido de sodio, temperatura, tiempo, rendimiento, propiedades físico-mecánicas, pulpa formada, paja.*

ABSTRACT

The straw (*Stipa ichu L.*), is a plant resource that belongs to the family of the poaceas, in the present the variety known in Quechua as Sikaw ischu is used, collected at 3902 m.s.n.m. of the Peasant Community of Checche, José María Arguedas District, Andahuaylas Province, Apurímac Region - Peru, with a vegetative period of one and a half years, harvested in July of 2017. In the present, the effect of temperature, cooking time and concentration of sodium hydroxide on the yield and physico-mechanical properties of the straw formed pulp (*Stipa ichu L.*) is investigated. In this, a factorial design 2^3 was applied to determine the effects following the Soda-Anthraquinone process and the TAPPI standards procedures for the determination of the physico-mechanical properties. The results were analyzed by inferential statistics, and test of hypothesis with ANOVA with a confidence level of 95%, the result of the yield is 38.22%, and in the physical-mechanical properties the degree of whiteness is 39.62 ° Photovolt, the index of Ripped is 9.32 mN-m² / g; break length is 8404.67 m and fold creases is 559 #, in it the cooking temperature of 170 ° C, cooking time of 75 min; and the concentration of sodium hydroxide of 15% have a statistically significant effect on the pulp yield, while in the physical-mechanical properties of the pulp formed the factors that exert statistically significant effects are as follows: for whiteness, the firing temperature is 170 ° C and the sodium hydroxide concentration is 19%, the tearing index is exerted by the three factors at the following levels 170 ° C, 45 min; and 19% NaOH while in the length of break and crease fold the three factors also exert on the following levels 160 ° C, 45 min; and 15% NaOH respectively. The optimal treatments in the experimental region for the yield is at 170 ° C, 75 min; and 15% NaOH, whiteness at 170 ° C and 19% NaOH, tearing index at 170 ° C, 45 min; and 19% NaOH; break length at 160 ° C, 45 min; and 15% NaOH and fold creases is at 160 ° C, 45 min; and 15% NaOH. Reaching the conclusions that the temperature, cooking time and concentration of sodium hydroxide exert an effect on the pulp yield and the physical-mechanical properties of the straw-formed pulp (*Stipa ichu L.*).

Key words: *Cooking, concentration of sodium hydroxide, temperature, time, yield, physico-mechanical properties, formed pulp, straw.*

CHUMASQA

Ischuqa huk poeceakunapa ayllunman iñiq kay mascapaypiqa churapakuchkan runasimipi risqisqa sikaw ischu qina kayqa pallachikurqa 3902 m.s.n.m. Comunidad Campesina checchemanta, Distrito José María Arguedasmanta, Provincia Andahuaylaspi, Región Apurímaq – Perú suyumanta, huk wata partiyuq wiñainimpi chaymy pallasqa karqa Anta Situwa killapi 2017. Kay, mascapaypiqa mascayku quñikaypa efectunta, pachapa yanuyinta hinallataq hidróxido sodiopa quñuynintawan rendimientupi hinallataq propiedades físico-mecanicantawan ischumanta pulpa ruwasqapi. Chaypaqmy qatiyku diseño factorialta 2^3 hinaspataqmy efectukunata tarinapaq qatirqaniku Soda-Antraquinonapa ñanninta chaynallataqmy normas TAPPI ñanintapas. Kay maskapasqaykupa qispichisqaykuta yuyanmanakurqa estadística inferencialwan hinallataq tantyaytañataqmy ANOVA nisqantakama huk iñiywan 95%. Rendimientupa qispichisqaykuqa kan 38.22%; chay propiedades físico-mecanicapiqa yuraq kaq han 39.62 °Photovolt; índice de ragaduraqa kan 9.32 9.32 mN-m²/g; longitud de roturaqa kan 8404.67 m hinallataq doblez plieguesqa llusqirqa 559 # chaypiñataqmy chay factor quñipay 170 °C, pachapa yanuyin 75 min; hinallataq hidróxido sodiopa quñuynintawan 15% churapakuyninpi paikunam hawarichukurqa efectunta pulpapa rendimientunpi chaynallataqmy propiedades físico-mecanicapiqa ischumanta pulpa ruwasqapi factorkuna efectunta qawarichikurqakuqa: yuraqpaqa kan quñipay 170 °C hinallataq hidróxido sodiopa quñuynintawan 19% churapakuyninpi, índice rasgadupiqa kimsantin facturkunam churapakunku efectunta 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH, longitud de roturapaq chaynallataqmy doblez plieguespaqwan kimsantin facturkunam churapakunku efectunta 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH chay qatillapy. Allin kaq tratamientuqa kay mascapaypiqa yuyaymanasqaman hinaqa rendimientupaqa kan 170 °C, 75 min; y 15% de NaOH, yuraqkaqpaqñataqmy kan 170 °C y 19% de NaOH, índice de rasgadopaqñataqmy kan 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH; longitud de roturapaqñataqmy kan 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH hinallataqmy doblez plieguespaqñataqmy kah 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH. Chaymy chayarqaniku quñikaypa yanuyin, pachapa yanuyin hinallataq hidróxido sodiopa quñuyninpiwan efectunta churapakunku pulpapa rendimientunpi chaynallataq propiedades físico-mecanicaspipas ischumanta pulpa ruwasqapi.

Tiksi rimaykuna: *Yanuy, hidróxido sodiopa quñuynin, quñikay, pacha, rendimiento, propiedades físico-mecánicas, pulpa ruwasqa, ischu.*

CAPITULO 1: INTRODUCCION

La paja (*Stipa ichu L.*) o en el vocablo quechua comúnmente llamado ichu es un recurso natural silvestre caracterizado por ser una planta perenne que se desarrolla por encima de los 2800 – 4200 msnm. Este recurso se desarrolla de manera silvestre en nuestra región y en regiones vecinas como: Ayacucho, Huancavelica, Cusco, Puno y otros departamentos, además este recurso vegetal se encuentra en otros países como: Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Chile y Argentina y también en la sierra de México y Guatemala. En nuestra región y regiones vecinas su uso está empleado como forraje para el ganado, principalmente para camélidos sudamericanos o auquénidos como la llama, la alpaca, la vicuña y el guanaco y también comúnmente usado para techar las casas incluyendo las raíces, trenzados en anillo para proteger los cuernos del respaldo del yugo, en la agricultura se usa la paja como para elaborar chuño y para revestir el K´airu (montón de tierra dentro de las parcelas, en que se guarda la papa), estas son su buena utilización como recurso pero con fines de aperturar terrenos agrícolas nuevas se está procediendo con la quema e incluso generándose incendio incontrolables y en algunos casos la minería también está devastando y dejando sin cubierta las áreas donde se desarrolla la paja. Los estudios sobre este recurso muchas veces están centrados en la parte alimentaria para ganados como alimento balanceado pero el estudio o investigaciones realizadas orientadas a otras líneas es muy poco, pero son actividades de envergadura mundial tales como la industria de pulpa y papel.

La pulpa de la celulosa de la madera en la actualidad a nivel internacional se ha convertido en un producto primario como los alimentos de primera necesidad, no solo de la madera también del cáñamo, residuos agroindustriales y otros porque el papel sigue siendo el principal medio de comunicación porque al siglo XXI aún no ha sido reemplazo por los avances tecnológicos, más al contrario se está estimulando su consumo. Con relación a la industria de pulpa y papel en el Perú, este es un país importador de estos productos, los cuales provienen principalmente de Brasil. Por tal razón se estudiaron el efecto que tiene la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*), de esa manera contribuir en primer lugar al ámbito académico y también a la industria de pulpa y papel.

1.1. Justificación

Dada la problemática mundial de utilizar materias primas madereras como frondosas y latifoliadas para la fabricación de pulpa y papel, donde estas materias primas son recursos tardíos en cuanto a su desarrollo, porque el Perú es un país importador de pulpa y papel a pesar de tener plantas productoras de pulpa y papel como por ejemplo la empresa Trupal, sociedad paramonga, kimberly, etc; porque en nuestra región de Apurímac y la provincia de Andahuaylas la inexistencia de industrias dedicadas a la producción de pulpa y papel y hoy en día se le está dando un mal uso a la paja (*Stipa ichu L.*) porque con fines agrícolas se viene quemando y con fines mineros se devasta su área de desarrollo, razón para que nazca la iniciativa de realizar la presente investigación, primero para generar conocimiento a nivel académico buscando una materia prima donde su capacidad de crecimiento y renovación sea de periodos cortos y que sus propiedades de la pulpa sean iguales o superiores a las materias primas convencionales y en segundo lugar contribuir a las industrias dedicadas a la producción de pulpa y papel, la presente investigación está orientado para los investigadores inmersos en la línea no alimentaria y para las empresas que tienen puesto el interés en la búsqueda de materias primas nuevas con capacidades de regeneración rápida, es así que se ha puesto el interés en un recurso vegetal silvestre de estado perenne que es la paja (*Stipa ichu L.*) conocido comúnmente como Sikaw ichu. Además dicha investigación está en lineamiento de la ley N° 26821 “Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales” en su artículo 9 prescribe sobre la investigación científica donde que el estado promueve la investigación científica y tecnológica sobre la diversidad, calidad, composición, potencialidad y gestión de los recursos naturales, de esta manera se podría dar el valor agregado a las materias primas que se encuentran en estado silvestre, residuos de la agricultura (paja de cebada, avena, trigo, etc.) y de la Agroindustria y así se podría industrializar la paja o ichu, y poder generar una industria de pulpa y papel en el sur del país, para que se pueda concretizar esta ambición se deberá de desarrollar muchas más investigaciones tales como: Impacto social, ambiental, capacidad productiva de la paja en TM/año, estudios de pre factibilidad de una planta industrial y también mejorar la técnica de la obtención de pulpa y papel basado tal vez en la presente investigación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- ❖ Determinar el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

1.2.2. Objetivos específicos

- ❖ Determinar el rendimiento en la pulpa de paja (*Stipa ichu L.*) por efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH.
- ❖ Determinar las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*) por efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH.
- ❖ Determinar las variables óptimas de temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

Abarca y Blanco (2008), en su investigación “**Obtención de pulpa a la soda antraquinona de *Tectona grandis* creciendo en Costa Rica**”, concluye que se obtuvo la mejor pulpa de *Tectona grandis* en proceso Soda-Antraquinona un rendimiento de 45.5 %, bajo las siguientes condiciones de temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción de 45 minutos y a una concentración de hidróxido de sodio de 7 % y una resistencia al rasgado de 3.9 mN-m²/g y una longitud de rotura de 3,180 m.

Albarracín, Jaramillo y Albuja (2015), en su investigación “**Obtención de bioetanol anhidro a partir de paja (*Stipa ichu*)**”, concluye que la paja (*Stipa ichu*) en porcentaje del peso seco tiene una composición en promedio de humedad 57.7 %, celulosa 45.9 %, lignina 18.2 %, pentosanos 5.5 %, cenizas 5.6 % y resinas, ceras y grasas 6.7 %.

Asencios (1991), en su investigación “**Obtención de Pulpa al Sulfato, con y sin Antraquinona, de cuatro especies de la Zona de Dantas - Huánuco**”, concluye que se obtuvo un rendimiento de 37.72 en pulpa de Lupuna bajo la aplicación del álcali activo de 18 %, temperatura máxima de 160, tiempo total de cocción de 150 minutos, de los cuales 120 minutos corresponden al tiempo a temperatura máxima y la aplicación de 0.1 % de AQ, una blancura de 12.9 y 12.2 °Photovolt para pupas sin blanquear de Lupuna y Huimba respectivamente, una longitud de rotura de 6,446.00 m para pulpa formada de Lupuna y 7,422.00 m para Huimba y una doblez pliegues de 218 # para una pulpa formada de Lupuna y 848 # para una pulpa formada de Huimba.

Bueno (1978), en su investigación “**Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricación de pulpa para papel**”, concluye que el menor rendimiento de la pulpa cuanto más energético es el tratamiento químico, se debe a que los reactivos solubilizan la lignina, las hemicelulosas y las fracciones más débiles de la celulosa en proporción a la energía de tratamiento; igualmente son solubilizados los extractivos, por esta razón las pulpas químicas están constituidas principalmente por celulosa con algo de hemicelulosas, lignina residual y extractivos.

Cáceres (1983), en su investigación “**Producción y evaluación de pulpas celulósicas a partir de diferentes especies de bambu**”, concluye que en pulpa de bambusa vulgaris bajo las condiciones de álcali activo de 14 %, temperatura de cocción de 165 °C y tiempos de cocción a temperatura máxima (30, 60 y 120 minutos) obtuvo rendimientos de (62.2, 53.0 y 48.0 %) respectivamente.

Dick (2014), en su investigación “**Caracterización y evaluación de fibras de Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Sojak para la producción de papel**”, concluye que en un proceso a la soda en pulpa de junco obtuvo rendimientos de 42.3, 38.7, 36.0, 32.9 y 33.0 % bajo las siguientes condiciones de álcali activo (7, 9, 11, 12, 13 %), temperatura de cocción de 170 °C y tiempo a temperatura máxima de 30 minutos.

Libby (1976), en “**Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel**”, concluye que las pulpas sin blanquear en general exhiben valores de blancura que varían de 25 a 65 unidades GE (del método General Electric).

Muro (2005), en su investigación “**Efecto de la concentración de antraquinona en el rendimiento de pulpa papelera y caracterización físico química de papel obtenido de fibra de bagazo de caña (Saccharum officinarum)**”, concluye que la adición de 0,1 % AQ/madera seca, reduce el tiempo de cocción e incrementa el rendimiento y las propiedades mecánicas de la celulosa aislada hasta alcanzar valores que corresponden casi a los de la celulosa.

Rios y Vesga (2008), en su investigación “**Obtención y evaluación de pulpa a partir de raquis de la palma africana mediante los procesos de soda y Soda – Antraquinona**”, concluye que las fibras de las plantas no maderables se impregnan con facilidad y tienen un contenido bajo en lignina reactiva, la cantidad de reactivos que se necesita es menor que en el pulpeo de madera. Por lo tanto se requiere de 10 al 15 % de NaOH referido al material fibroso base seca, si la concentración aumenta se presenta mayor absorción de NaOH y disminución del rendimiento por degradación de carbohidratos. Y encontró valores de la resistencia al rasgado de 7.66 y 8.38 mN-m²/g para 150 °C de temperatura, 60 minutos de tiempo y 15 % concentración de NaOH y 8.38 mN-m²/g para 160 °C de temperatura, 90 minutos de tiempo y 15 % concentración de NaOH para la pulpa formada de palma africana y afirma lo siguiente el efecto positivo del aumento de temperatura y del tiempo de cocción, condujo al incremento de las propiedades físico-mecánicas, además afirma que el efecto positivo del aumento

de temperatura y del tiempo de cocción, conduce al incremento de las propiedades físico-mecánicas.

Rojas y Gómez (2004), en su investigación “**Obtención y evaluación de pulpas semiquímicas al sulfito neutro a partir de la hoja de palma africana**”, concluye que se encontraron valores de doblez pliegues desde 242 a 270 # para las siguientes condiciones de temperatura de 160 °C, tiempos de cocción de 90 y 60 minutos y a una concentración de álcali activo de 22 %.

Rosales (1992), en su investigación “**Pulpa Química a la Soda de Paja de Arroz (*oryza sativa L.*) Var. Naylamp y Paja de Trigo (*Triticum aestivum L.*) Var. Ollanta**”, concluye que se obtuvo rendimientos de 51.6 % en pulpa de la paja de arroz y 46.5 % en pulpa de la paja de trigo, las condiciones de operación fueron de 12 y 14 % de NaOH, temperatura de cocción de 150 y 160 °C y el tiempo a temperatura máxima de 60 y 70 minutos respectivamente, blancuras de 47.9 y 40 °Photovolt para pulpas de paja de arroz y de trigo, una longitud de rotura de 4,436.00 m para pulpa formada de la paja de arroz y 8,011.00 m para pulpa formada de la paja de trigo y una doblez pliegues de 42 # para una pulpa formada de la paja de arroz, mientras que para la pulpa formada de la paja de trigo 258 #.

Vera (2010), en su investigación “**Evaluación de dos pulpeos soda-antraquinona y bisulfito-base magnesio para bambú**”, concluye que obtuvo un rendimiento de 48.57 % en pulpa de bambú en un proceso Soda-AQ bajo las siguientes condiciones álcali activo de 19 %, temperatura de 170 °C y con un tiempo de cocción de 140 minutos de los cuales 60 corresponden al tiempo a temperatura máxima y bajo la aplicación de 0.05 % de antraquinona y encontró una resistencia al rasgado de 10.57 mN-m²/g en pulpa formada de bambú.

Veroes (2004), en su investigación “**Evaluación del bagazo de cocuy (*Agave cocui trelease*), como materia prima para la elaboración de pulpa para papel**”, concluye que las condiciones de cocción como más adecuadas son 12 % AA y 15 minutos a temperatura máxima de 160 °C. Los datos físico-mecánicas para las condiciones anteriormente mencionada es como sigue Índice de estallido 12.75 kPa m²/g, Índice de rasgado 15 mN m²/g, Índice de tensión 23.7 N m/g, además de acuerdo a la evaluación de las características químicas del proceso de pulpeo y determinación de sus propiedades físico-mecánicas da como una materia prima adecuada para elaborar papel de mediana resistencia como papeles para envolver, algunos papeles de impresión y otros que no necesiten elevada resistencia. Y señala también que la antraquinona opera como un

catalizador redox promoviendo la transferencia de electrones desde una fuente (carbohidratos) a un sumidero (lignina), de este modo, se acelera la degradación y solubilización de la lignina y por oxidación de sus grupos reductores terminales, los carbohidratos se estabilizan.

2.2. Paja (*Stipa ichu* L.)

La paja (*Stipa ichu* L.) es una planta perenne que forma matas densas con culmos de 20 - 130 cm de alto (Mendoza, 2008). Es un pasto de los andes peruanos, que también aparece en zonas similares de Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Chile y Argentina. Tiene presencia también en la sierra de México y Guatemala. Es empleado como forraje para el ganado, principalmente camélidos sudamericanos o auquénidos como la llama, la alpaca, la vicuña y el guanaco (Hurtado, 2016).

El aspecto de las matas es de color pajizo por las láminas secas de los años anteriores, que se quedan en la mata. Láminas rectas involutivas, filiformes de 10 - 40 cm de largo. Panícula oblonga, 5 - 40 cm de largo, en el ápice con un mechón de pelos en forma de pupas. Comúnmente usado incluyendo las raíces para techar las casas, trenzados en anillo para proteger los cuernos del respaldo del yugo, en la agricultura se usa la paja como para elaborar chuño y para revestir el K'airu (montón de tierra dentro de las parcelas, en que se guarda la papa), es también común su uso como leña (Mendoza, 2008).

2.2.1. Clasificación taxonómica

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Ciperales*

Familia: *Poaceae*

Género: *Stipa*

Especie: *Stipa ichu* L.

Fuente: Dueñas, (2017)

2.2.2. Composición química

La composición de la paja se muestra en la Tabla 01 que son las concentraciones de humedad, celulosa, lignina, pentosanos, cenizas, sílice, resinas, ceras y grasas de la paja, mientras en la Tabla 02 se muestra la

composición química de la paja de nuestra investigación que es procedente de la Comunidad Campesina de Huancabamba Checche Huaraccopata, Distrito José María Arguedas, Provincia de Andahuaylas Región Apurímac, y en la Tabla 03 se muestra la composición química de la paja de arroz, trigo, cebada y avena.

Tabla 1. Composición de la paja (*Stipa ichu L.*).

Parámetro	Composición promedio (% peso)
Humedad	57,7
Celulosa	45,9
Lignina	18,2
Pentosanos	5,5
Cenizas	5,6
Resinas, ceras y grasas	6,7

Fuente: Albarracín, Jaramillo y Albuja (2015)

Tabla 2. Composición química de la paja (*Stipa ichu L.*).

Composición	Contenido (%)
Holocelulosa	70.08
Lignina	14.87
Extractivos en alcohol	10.13
Cenizas	2.92
Sílice	1.93

Fuente: UNALM (2017)

Tabla 3. Composición química de fibras.

Paja	Composición química (%)				
	Celulosa	Lignina	Pentosanos	Cenizas	Sílice
Arroz	28 – 48	12 – 16	23 – 28	15 – 20	9 – 14
Trigo	29 – 51	16 – 21	26 – 32	4.5 – 9	3 – 7
Cebada	31 – 45	14 – 15	24 – 29	5 – 7	3 – 6
Avena	31 - 48	14 - 19	27 - 30	2 – 5	0.5 – 4

Fuente: Saldívar (2005)

2.2.3. Química de los materiales fibrosos

Desde el punto de vista teórico casi cualquier material fibroso puede utilizarse en la producción de pulpa para papel. El hecho de que un material

vegetal pueda convertirse en pulpa y papel no indica que la planta de donde proviene pueda crecer, colectarse, almacenarse y procesarse de manera económica para hacer viable la operación. La madera es el material lignocelulósico más utilizado en la obtención de pulpas (fibras) para los procesos de fabricación de papel. Está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y otros compuestos en menor proporción como se ilustra en la Figura 01 (Rojas y Gomez, 2004).

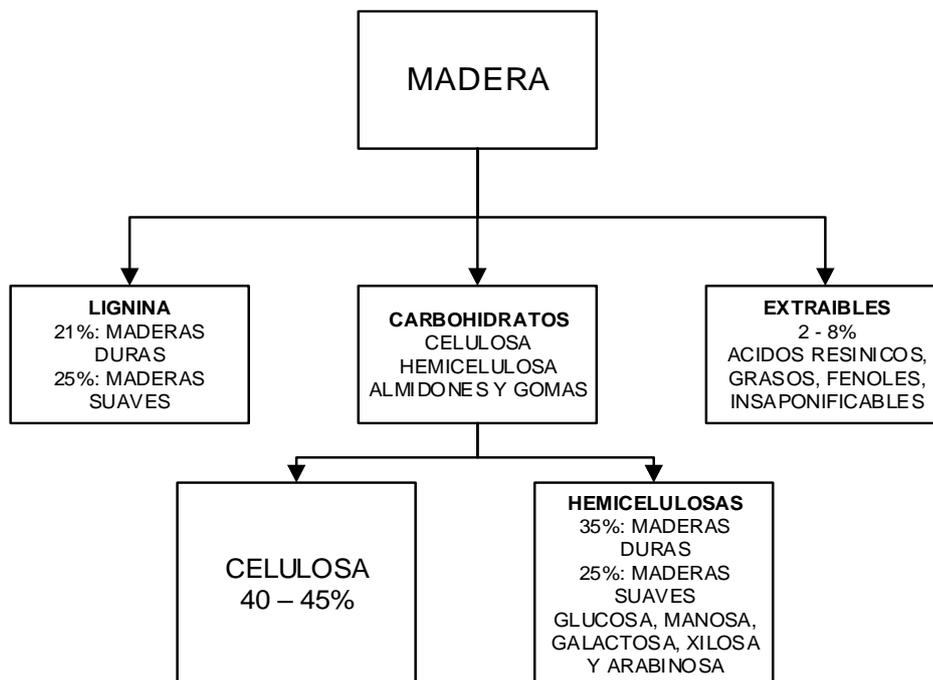


Figura 1. Constituyentes químicos de la madera y su proporción promedio.

Fuente: Rojas y Gómez (2004)

2.2.3.1. Celulosa

Químicamente está catalogado como un polisacárido integrado por unidades monoméricas de glucosa como se muestra en la Figura 02; las cuales se ajustan perfectamente y forman segmentos largos que dan origen a fuerzas asociativas del tipo puente de hidrógeno responsables de la resistencia de los materiales celulósicos; cuya fórmula química condensada es $(C_6H_{10}O_5)_n$ donde n es el grado de polimerización y la unidad fundamental es la celubiosa la cual tiene tres grupos hidroxilo alcohólicos. Existen tipos de celulosa tales como: La α -celulosa, β - celulosa y la γ - celulosa (Rojas y Gomez, 2004).

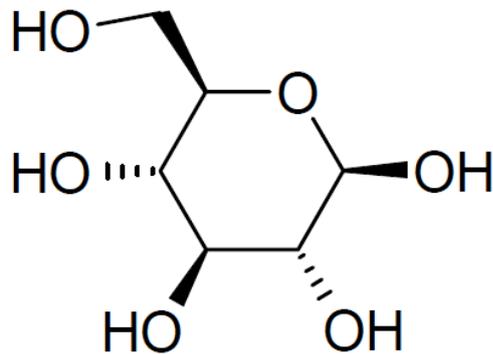


Figura 2. Unidad estructural de la celulosa α – D glucosa.

Fuente: Rojas y Gómez (2004)

2.2.3.2. Hemicelulosa

Los carbohidratos no celulósicos están constituidos fundamentalmente por azúcares del tipo pentosa y hexosa (monosacáridos). Los diferentes azúcares polimerizan entre si y forman polisacáridos heterogéneos. Los polímeros formados por las pentosas se denominan pentosanos y los de hexosa hexosanos; a estos polímeros en conjunto se les conoce como hemicelulosas.

Las hemicelulosas generalmente son insolubles en agua pero soluble en álcali. No son fibras y están ramificadas. Sus cadenas poliméricas son cortas y están formados por monómeros de carbohidratos, acetilo, metóxilo y ácidos urónicos (Rojas y Gomez, 2004).

2.2.3.3. Lignina

La lignina es un polímero termoplástico aromático heterogéneo, el cual está constituido principalmente por unidades de fenilpropano enlazadas en tres dimensiones. En estado natural es de color claro; pero se oscurece debido a la condensación que sufre en pulpas alcalinas. Las ligninas se clasifican por el contenido proporcional que tenga cada uno de los monómeros que la forman. A partir de este criterio es posible distinguir tres tipos de ligninas: lignina de coníferas, lignina de latifoliadas y lignina tipo gramíneas (Rojas y Gomez, 2004).

2.2.3.4. Extraíbles

Son compuestos solubles en agua o en solventes orgánicos (principalmente etanol, acetona, éter y diclorometano) que representan una pequeña fracción en la composición de materiales fibrosos; principalmente en el tejido parenquimatoso

y en los canales resiníficos. Se les atribuye algunas propiedades de la madera como el color, olor y flamabilidad. Este tipo de compuestos se puede clasificar en 3 grupos (Rojas y Gomez, 2004):

- ✓ **Terpenos y terpenoides:** Compuestos volátiles o de aceites esenciales responsables del olor característico de la planta junto con las secreciones de la madera llamada oleoresina (Rojas y Gomez, 2004).
- ✓ **Compuestos alifáticos (grasas y ceras):** Cantidades pequeñas de alcanos y alcoholes (araquinol, behenol y lignocerol), ésteres de glicerol normalmente presentes como triglicéridos, ácidos grasos saturados e insaturados los cuales se oxidan rápidamente (Rojas y Gomez, 2004).
- ✓ **Compuestos fenólicos:** Taninos hidrolizables, estilbenos, flavonoides entre otros. Estas sustancias tienen propiedades fungicidas, por lo que protegen a la planta contra el ataque de microorganismos (Rojas y Gomez, 2004).

2.2.4. Antraquinona

La antraquinona es un compuesto orgánico relativamente insoluble, disponible en dispersión acuosa pero se disuelve en el medio alcalino reductor de la cocción kraft. La antraquinona opera como un catalizador redox promoviendo la transferencia de electrones desde una fuente (carbohidratos) a un sumidero (lignina). De este modo, se acelera la degradación y solubilización de la lignina y por oxidación de sus grupos reductores terminales, los carbohidratos se estabilizan frente a la degradación por peeling (Veroes, 2004). La antraquinona (AQ) (Figura 03) es considerada como el primer producto, el más eficaz y de valor práctico, en la industria para el pulpeado alcalino y funciona como un agente redox como catalizador, transfiriendo electrones de los hidratos de carbono de la madera para las estructuras intermedias de la degradación de la lignina (Muro, 2005).

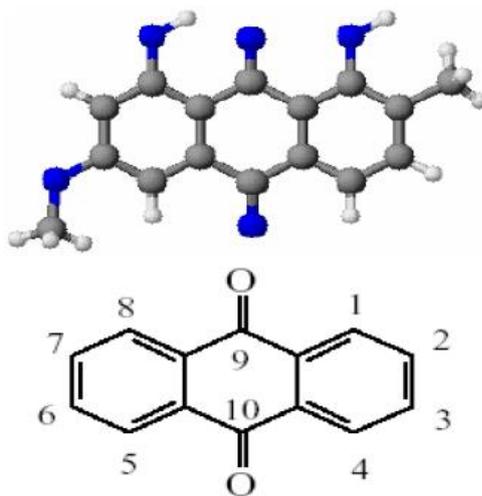


Figura 3. Molécula de antraquinona y enumeración de los carbonos en el núcleo.

Fuente: Tapia (2005)

2.2.4.1. Catálisis con antraquinona

Alternativamente, la alta velocidad de deslignificación en presencia de AQ puede aprovecharse para realizar el pulpeo de la lignocelulosa a una temperatura más baja. La adición de 0,1% AQ/madera seca, reduce el tiempo de cocción al 40% e incrementa el rendimiento y las propiedades mecánicas de la celulosa aislada hasta alcanzar valores que corresponden casi a los de la celulosa (Muro, 2005). La antraquinona se usa de 0,05 - 0,1% sobre la madera, dando buenos resultados en la deslignificación sin efectos adversos; los beneficios directos de la antraquinona son las de aumentar el rendimiento en la pulpa como resultado de la aceleración, ahorra álcali, tiempo y temperatura, o cualquier combinación de estas variables (Asencios, 1991).

2.2.4.2. Efecto de la antraquinona en las propiedades físicas

La mayoría de las características de la pasta es visible en el proceso soda, las resistencias físicas en el proceso a la soda y kraft tienen parecidos efectos en el cual el desgarre sufre una caída de 0 a 15%. La tensión y el reventar tienden a ser los mismos. Se trabajaron con pulpage de eucalipto y obtuvieron en sus resultados que la resistencia a la rotura del proceso Soda-AQ expresada por el índice de rotura, presentó un aumento del 32 % con adición de 0,05% de AQ-C (Muro, 2005).

En el proceso kraft la adición de 0,05% de AQ resulta en un aumento de la resistencia a la rotura de un 24% y la resistencia al reventar del proceso soda-AQ presento un aumento del 60% y en el proceso kraft el aumento es del orden del 6%. La resistencia a la tracción presento menores valores de 3% para el proceso soda y 1% para kraft (Muro, 2005).

2.2.4.3. Mecanismos de reacción de la antraquinona

Está demostrado que la AQ, en procesos alcalinos de pulpaje, trabaja con dos efectos (Figura 4 y 5):

1. Aceleración de la reacción de deslignificación.
2. Estabilización de los carbohidratos y preservación del rendimiento.

La transferencia de electrones hacia la molécula de AQ la transforma a una forma reducida, probablemente en Hidroantraquinona o AHO. La solubilidad de la AQ llega a ser posible por medio de una reducción electroquímica, en la primera etapa de la digestión aproximadamente a 100 °C, dando una solución roja oscura. Este color es producido por la forma semi quinona parcialmente oxidada, el anión radical Hidroantraquinona (HAQ^{•-}); y la forma completa reducida, el dianión Hidroantraquinona (HAQ²⁻) (Ríos y Vesga, 2008).

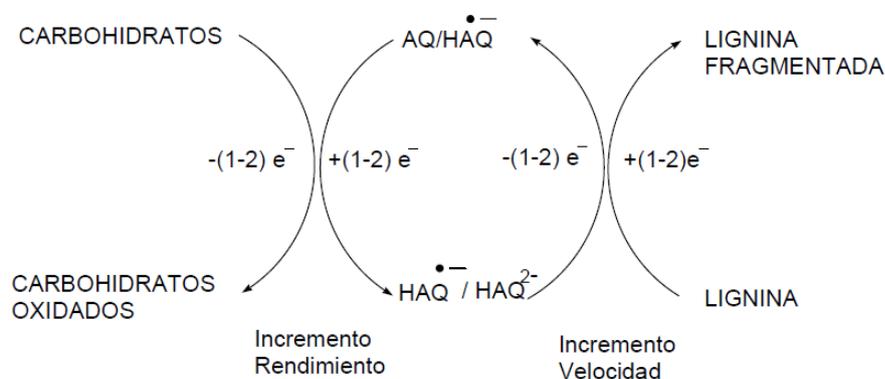


Figura 4. Ciclo redox de la antraquinona

Fuente: Ríos y Vesga (2008)

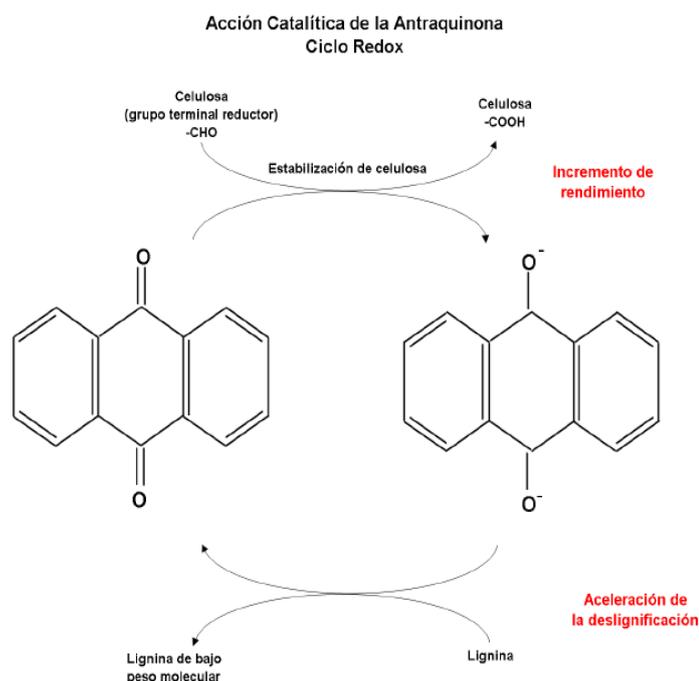


Figura 5. Ciclo redox de la antraquinona

Fuente: Quintana (2011)

2.2.5. Propiedades físico-mecánicas de pulpas para papel

La evaluación de las propiedades físico-mecánicas de pulpas se efectúa en hojas de ensayo acondicionadas previamente según métodos normalizados. Las propiedades físicas corresponden a brillantez, color, opacidad, transparencia, porosidad, gramaje y volumen específico, y las propiedades mecánicas o físico-mecánicas corresponden a: resistencia al estallido, rasgado, tensión, longitud de rotura y resistencia al doblaje (Veroes, 2004).

2.2.5.1. Blancura

La blancura del papel es una combinación de la reflectancia total de la luz blanca y de la uniformidad de la reflectancia en todas las longitudes de onda. Un blanco perfecto debería tener una reflectancia del 100%, en todas las longitudes de onda de la luz visible, pero no existe el blanco perfecto. El óxido de magnesio que se utiliza como estándar de referencia refleja entre 97% y 98%, de la luz que recibe, no llega al 100%. La apariencia de blanco del papel depende de la reflectancia total y de la uniformidad de la reflectancia en las diferentes longitudes de onda del espectro visible. La blancura del papel es especialmente importante para impresiones multicolor en las que una base neutra evita alteraciones en el matiz o en los colores de la tinta. Resulta difícil valorar objetivamente en cifras la

blancura de un papel, de manera que esta valoración satisfaga también la apreciación del ojo humano. La brillantez, que es la mejor medida de la blancura con la que podemos contar y a la cual, normalmente se le denomina simplemente blancura, se puede medir con varios aparatos. Sin embargo, en todos se mide la reflectividad a una longitud de onda de 457 nm, que corresponde a la región azul del espectro. Los dos sistemas principales son parecidos en su respuesta, aunque diferentes en su geometría de iluminación y observación. Se trata de colorímetros o reflectómetros. Se suelen emplear de dos tipos, unos tienen la iluminación a 45°, y los otros tienen iluminación difusa. Las especificaciones y métodos de prueba correspondientes a estos equipos se encuentran en el método TAPPI T 452, indicado para los instrumentos que emplean la geometría de 45°, entre los que se cuentan el Technidyne S-5 y el Photovolt (Pochteca, 2002).

Casi todos los papeles son translúcidos; es decir, permiten el paso de luz, pero dicha luz está dispersa. La parte de luz que se refleja especularmente determina el brillo y la parte de luz que refleja difusamente determina el color y la blancura. La porción de luz que es absorbida determina el color del papel, por ejemplo un cuerpo perfectamente negro absorberá toda la luz y la reflectancia difusa será igual a cero, en cambio un cuerpo perfectamente blanco no absorberá la luz, y la reflectancia difusa será del 100 por ciento (Condori, 2010). Las pulpas sin blanquear en general exhiben valores de blancura que varían de 25 a 65 unidades GE (del método General Electric) (Libby, 1976).

2.2.5.2. Índice de rasgado

La resistencia al rasgado se refiere a la energía necesaria para provocar un rasgado en el papel en una longitud determinada. El método consiste en la aplicación de una carga perpendicular a las caras del papel a través de una distancia específica hasta su completa ruptura, es decir, es la energía necesaria en Newton o gramos fuerza para rasgar el papel en el ensayo (Leon y Fuentes, 2012). Se mide con sistema de péndulo que rasga una probeta de papel cuyo rasgado se ha iniciado con una cuchilla. Esta resistencia tiene gran importancia en la evaluación del papel que se verá sujeto a esfuerzos que lo puedan rasgar durante su transformación y uso, como, por ejemplo, para: bolsas, envolturas, toallas de papel, mapas, libros y revistas. En el caso de papeles para impresión es muy importante tener una resistencia al rasgado alta cuando se imprime en bobinas (Veroes, 2004).

2.2.5.3. Longitud de rotura

Es la resistencia límite de una muestra de papel sometida a una fuerza creciente de tensión en cada extremo, esta resistencia límite se denomina carga de ruptura. La longitud de rotura es el equivalente al largo en metros de una tira de papel de ancho uniforme, por encima de la cual si dicha tira se suspendiera por un extremo se rompería por su propio peso (Veroes, 2004).

2.2.5.4. Doble pliegues

Indica la aptitud de un papel para ser doblado o arrugado sin sufrir roturas o enmendaduras por un buen periodo de tiempo. El aparato utilizado es el MIT y se expresa como el valor promedio del número de dobleces requeridos para producir la ruptura (Ríos y Vesga, 2008).

2.3. Industria de pulpa y papel

La pulpa de papel es el producto que resulta de la separación de las fibras de la madera u otros materiales fibrosos y constituye un producto intermedio dentro del proceso global de transformación de las materias primas en papel. Sus propiedades, que incidirán ampliamente en los productos finales, papel y cartón, dependen de la fuente de fibras y del proceso de pulpeo utilizados, en donde el objetivo principal de ese proceso consiste en la liberación de las fibras por destrucción o debilitación de los enlaces que las mantienen unidas en una estructura bien cohesionada (IRNAS, 2005).

2.3.1. Evolución de la industria papelera

El papel auténtico fue inventado en China (siglo I d.c.) y elaborado a partir de la corteza de la morera papirífera (*Broussonetia Papyrifera*) y de residuos agrícolas (paja de arroz, cáñamo, algodón, etc.) (Cadena, 2008). Después de varios siglos, el arte de la fabricación del papel alcanzó el oriente medio (siglo VIII) y más tarde, a través de la España árabe, al resto de Europa utilizando como materias primas trapos de lino y algodón; en el siglo XV existían múltiples molinos papeleros en España, Italia, Alemania y Francia (Cadena, 2008).

En el siglo XX se desarrolla rápidamente nuevas tecnologías en el sector papelerero con la introducción de nuevas materias primas (fibras madereras, no madereras y fibras sintéticas), técnicas de cocción y blanqueo en continuo (múltiples etapas), estucado en máquina, formación en seco, entre otros avances

han permitido mejorar la productividad y cumplir con la creciente demanda que no se ha visto obstaculizada por la tecnología electrónica (Cadena, 2008).

2.3.2. Fuentes para la fabricación de pulpa y de papel

La principal fuente de fibra de celulosa virgen utilizada actualmente en la fabricación de pulpa de celulosa la constituyen los cultivos de fibras madereras, mientras que las fibras no madereras se utilizan en menor proporción. La amplia disponibilidad y concentración de madera en zonas de fácil acceso, el elevado contenido de fibras, el coste de manejo, transporte y fácil de almacenamiento, así como la estabilidad de la materia prima y su comportamiento durante el proceso de obtención de celulosa, han apoyado el uso de la misma en la industria de la pulpa y papel. Sin embargo, existe en la actualidad un renovado interés en el uso de plantas de origen no maderero debido a la gran disponibilidad de residuos agrícolas (Marques, 2010). Estos constituyen una fuente abundante de fibras de bajo coste, siendo a veces la única fuente aprovechable de fibras en determinadas zonas geográficas, principalmente en países en vías de desarrollo. La gran variedad de características, dimensiones fibrosas y composición química de estas fibras les confieren un gran potencial como materias primas (Marques, 2010).

2.3.2.1. Fibras procedentes de cultivos madereros

Las fibras madereras provienen de especies vegetales que desarrollan un tronco donde se acumulan preferentemente las mejores fibras. Las coníferas constituyen el primer cultivo forestal a escala mundial para la obtención de pulpa de papel, aunque también existe un importante mercado de pastas de frondosas (Marques, 2010).

2.3.2.2. Fibras procedentes de cultivos agrícolas

Las fibras procedentes de cultivos agrícolas constituyen una excelente materia prima alternativa a las fibras madereras para la producción de pulpa de celulosa (Marques, 2010).

En general, las fibras de plantas no madereras (Tablas 4, 5 y 6), tienen una estructura menos densa y más porosa, lo que implica un menor requerimiento de energía y productos químicos para la separación de las fibras durante la producción de pulpa de papel. Además, presentan ciclos de crecimiento más cortos, alcanzando la madurez más rápidamente que las especies madereras y

en muchos casos los rendimientos de pulpa para papel obtenidos son mayores (Marques, 2010).

Tabla 4. Rendimiento promedio de algunas materias primas.

Especies	Rendimiento materia seca (t/ha)	Rendimiento pulpa (t/ha)
Trigo	2.5	1.1
Avena	1.6	0.7
Centeno	2.2	1.1
Arroz	3.0	1.2
Caña de azúcar	9.0	4.2
Bambú	4.0	1.6
<i>Miscanthus sinensis</i>	12.0	5.7
Canary gras	6.0	3.0
Caña común	9.0	4.3
Kenaf	15.0	6.5
Cáñamo	12.0	6.7
Frondosa de zona templada (abedul)	3.4	1.7
Frondosa de crecimiento rápido (<i>eucaliptus</i>)	15.0	7.4
Conífera escandinava	1.5	0.7
Conífera de crecimiento rápido	8.6	4.0

Fuente: Marques (2010)

Las fibras no madereras se pueden clasificar en tres categorías:

- Fibras procedentes del tallo de diversas plantas como lino, cáñamo, kenaf y yute, y de hojas como abacá y sisal.
- Residuos agrícolas como la paja de trigo, maíz y arroz o el bagazo de caña.
- Hierbas silvestres como bambú o hierba elefante.

En los países desarrollados, las fibras no madereras se usan principalmente para la producción de papeles especiales. En España, existen varias empresas que fabrican pulpa de papel a partir de fibras no madereras para papeles especiales de distintas características, tales como papeles para cigarrillos, filtros especiales o papeles dieléctricos (Marques, 2010).

Tabla 5. Componentes químicos de las fuentes de pulpa y de papel (%).

Composición	Maderas blandas	Maderas duras	Paja	Bambú	Algodón
Carbohidratos					
α – celulosa	38 – 48	38 - 49	28 - 42	26 - 43	80 – 85
Hemicelulosa	23 – 31	20 – 40	23 - 38	15 - 26	a. d.
Lignina	22 – 34	16 – 30	12 - 21	20 – 32	a. d.
Extraíbles					
Minerales y otros compuestos inorgánicos	1 – 5	2 – 8	1 - 2	0.2 - 5	a. d.
a. d. = sin datos disponibles	0.1 – 7	0.1 – 11	3 - 30	1 - 10	0.8 – 2

Fuente: Keefe y Teschke (2000)

Tabla 6. Composición química en pulpa para papel de la paja (*Stipa Ichu L.*).

Composición	Contenido (%)
Lignina residual	3.44
Índice de kappa	22.93

Fuente: UNALM (2017)

2.3.3. Proceso de producción de pulpa de papel

El objetivo de los procesos de pulpeado es la separación de las fibras celulósicas que constituyen la materia prima para la obtención de la pulpa que alimenta la máquina de papel. Básicamente, los procesos de obtención de pulpas de papel se clasifican en mecánicos y químicos. Combinaciones de estos dan lugar a procedimientos intermedios o semiquímicos (Tabla 07). A continuación se incluye descripción de los principales procesos (Rodríguez, 2006).

2.3.3.1. Procesos mecánicos

El tratamiento mecánico tiene como objetivo la disgregación y separación física de las fibras. La lignina que une la celulosa a las hemicelulosas no se disuelve. Las especies utilizadas para la fabricación de palpa mecánica son las maderas de coníferas aunque también se usan frondosas. La fabricación de

pulpas mecánicas ofrece la ventaja de dar como resultado rendimientos elevados (90 – 95%) (Rodríguez, 2006).

2.3.3.2. Procesos químicos

En el pulpeo o cocción química, la deslignificación se lleva a cabo con la ayuda de agentes químicos, ácidos o básicos, en digestores o reactores a altas temperaturas y presiones. La pulpa se produce con disolución de la lignina que se encuentra entre las fibras del material lignocelulósico, sin dañar sustancialmente la celulosa. En el pulpeo químico los rendimientos son normalmente de 40 a 60 % ya que la mayor parte de la lignina y de las hemicelulosas se pierden, el producto es más resistente y de mejor calidad.

Los procesos químicos se dividen fundamentalmente en ácidos o alcalinos dependiendo del pH del reactivo (Rodríguez, 2006).

2.3.3.2.1. Proceso a la soda

Es el más antiguo y simple de los procesos químicos alcalinos. El proceso de cocción se realiza con soda caustica y vapor a alta presión y temperatura. Esta operación se efectúa en digestores continuos. El hidróxido de sodio, o sosa caustica, es un producto muy útil para la deslignificación de materias primas vegetales, principalmente de maderas, pajas de cereales y plantas fibrosas en general. Además de la sosa cáustica, en el proceso de cocción se usa antraquinona (AQ), proceso a la Sosa-AQ, que funciona como catalizador. Este aditivo presenta dos efectos fundamentales como son la aceleración del proceso de deslignificación alcalino y la estabilización de los carbohidratos, mejorando además los rendimientos respecto al proceso convencional en las mismas condiciones de operación (Rodríguez, 2006).

2.3.3.2.1.1. Proceso Soda-Antraquinona (AQ)

El proceso a la soda con antraquinona produce un aumento en la producción de pulpa comparada a un número de kappa dado, que tiene la habilidad de estabilizar los carbohidratos y acelera la deslignificación en el proceso de digestión. La producción de pulpa a cualquier tiempo de la cocción es mayor. La antraquinona frena la disolución de carbohidratos. Con la aplicación del 0.05% al 0.15% del aditivo, el rendimiento en la producción de pulpa aumenta (Veroes, 2004). La antraquinona opera como un catalizador redox promoviendo la

transferencia de electrones desde una fuente (carbohidratos) a un sumidero (lignina). De este modo, se acelera la degradación y solubilización de la lignina y por oxidación de sus grupos reductores terminales, los carbohidratos se estabilizan frente a la degradación por peeling (Veroes, 2004). Con la antraquinona las propiedades del papel aumentan a excepción del rasgado. La adición de antraquinona aumenta en buen grado la deslignificación de la pulpa, incrementa el rendimiento, disminuye el tiempo de cocción, reduce el consumo del álcali, mejora las propiedades físico-mecánicas de las pulpas, disminuye el requerimiento de energía en lo respecta a refinado, lavado, tamizado y drenaje de las pulpas y aumenta la velocidad de quemado de licor negro en los procesos de recuperación (Veroes, 2004).

2.3.3.2.2. Proceso kraft o al sulfato

El proceso kraft para la obtención de pulpa de papel es un proceso químico alcalino que deriva del proceso a la soda. En este proceso, además del hidróxido de sodio se utiliza el sulfuro sódico, siendo estos agentes de cocción conocidos como lejías blancas. El proceso se lleva a cabo en digestores que pueden ser tanto discontinuos como continuos, en los que se introducen las astillas junto a las lejías blancas llevándose a cabo la cocción a elevada temperatura (150 - 170 °C) y presión. De un modo general, el proceso tiene lugar con una concentración de reactivos del 16 - 20% (expresados como peso de Na₂O, en relación al peso de la madera) y sus rendimientos varían entre un 40 y 60%. La ventaja de este proceso es que requiere tiempos de cocción relativamente bajos pues el sulfuro acelera la deslignificación reduciendo la degradación del material celulósico y produciéndose así pastas de mejor calidad. La resistencia es su principal característica de donde deriva su nombre "kraft", del alemán resistencia (Rodríguez, 2006).

2.3.3.2.3. Proceso al sulfito ácido

Este proceso se fundamenta en una deslignificación con sulfitos y bisulfitos, siendo el segundo grupo más utilizado en los procesos químicos de obtención de pulpa de papel. Está limitado en cuanto a los tipos de madera que se pueden utilizar y por la contaminación creada al eliminar la lejía negra residual sin tratar (tratamiento muy caro). A pesar de ocurrir la digestión en el medio ácido, existen variantes en las que se utilizan un medio neutro o un medio alcalino. La lejía de cocción es de ácido sulfuroso y bisulfito de calcio (Rodríguez, 2006).

Tabla 7. Procesos semiquímicos para la producción de pulpa papelera.

Nombre del proceso	Reactivos	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa
Kraft (sulfato)	Na ₂ S + NaOH	Suave o ninguno	40 – 55 %
A la soda	NaOH	Suave o ninguno	40 – 55 %
Soda AQ	NaOH + Antraquinona	Suave o ninguno	45 – 55 %
Sulfito acido	Sulfito de Ca, Mg o NH ₃	Suave o ninguno	45 – 55 %
Bisulfito	Bisulfito de Na, Mg, o NH ₃	Suave o ninguno	45 – 60 %

Fuente: Veroes (2004)

2.3.3.3. Proceso semiquímico

La industria de pulpas semiquímicas se inició en 1925 y ha mostrado un crecimiento espectacular desde 1945. La primera fábrica tenía la capacidad diaria de 10 toneladas. Hacia el año de 1929, se había expandido a una capacidad diaria de 355 toneladas, correspondiendo la mayor parte del producto al histórico cartón corrugado. El proceso de obtención de pulpas semiquímicas es un método clásico de fabricación de pulpa mecánica y de química que consta de dos etapas: un tratamiento químico moderado a la materia prima fibrosa para separarla parcialmente o en cierto modo degradar o afectar las uniones entre las fibras seguido de un tratamiento mecánico denominado desfibración (Rojas y Gomez, 2004). La experiencia ha demostrado que los materiales fibrosos utilizados para pulpas semiquímicas se pueden clasificar en un orden de su empleo, de acuerdo con sus características botánicas como sigue (Rojas y Gomez, 2004):

Dicotiledóneas o angiospermas: Árboles de hojas caducas – maderas duras.

Gimnospermas: Árboles de hojas perennes – maderas suaves.

Monocotiledóneas: Cañas, gramíneas y carrizos.

2.3.3.4. Proceso termomecánica

El proceso termomecánico es donde la pulpa se obtiene por desfibrado de la materia prima, previo tratamiento con agua caliente o vapor y previo a un ligero tratamiento químico en caliente, presentando un rendimiento de 85 a 90 por ciento por lo general bueno. La utilización de agua caliente para la madera bajo temperaturas moderadas causa el ablandamiento de la lignina, lo cual ayuda a la separación de las fibras, permitiendo mantener su longitud sin

producción de finos, lo cual resulta un ahorro de energía; admitiéndose que existen muchas maneras de reducir este consumo ocasionado por el desfibrado de las astillas, aplicación de temperaturas de desfibrado por debajo del punto de ablandamiento de la lignina (Beltran, 1996).

2.3.4. Pulpa celulósica y clasificación

2.3.4.1. Según la materia prima empleada

Las pulpas se clasifican según Norma Técnica Peruana, por la Comisión de Reglamentos Comerciales (Muro, 2005).

- a) Pulpa de madera.** Es la pulpa obtenida de fuentes madereras.
 - ❖ **Pulpa de maderas coníferas.** Como el pino, abeto, ciprés, etc.
 - ❖ **Pulpa de maderas latifoliadas.** Como el abedul caduca, eucalipto, rifari, el rosadillo, etc.
- b) Pulpa de monocotiledóneas.** Es la pulpa de fibras no madereras.
 - ❖ **Pulpa de bagazo de caña.**
 - ❖ **Pulpa de plantas textiles.** Como el Cáñamo, yute, agave, etc.
 - ❖ **Pulpa de otros vegetales.** Como el té, limo, la citronela, etc.
- c) Pulpa de trapos.** Obtenida de recortes o de desechos textiles usados de origen vegetal.
- d) Pulpa de linters.** Obtenida de linters (fibras cortas presentes en la semilla de algodón después de la operación de desmontado).
- e) Pulpa de desechos.** Obtenida de papel o de cartón que se ha descartado como desecho.

2.3.4.2. Según su estado de purificación

Las pulpas según el estado de purificación se las clasifica en dos grupos (Muro, 2005).

- a) Pulpa sin blanquear.** Es la pulpa cuyo color no ha sufrido ninguna modificación por algún tratamiento destinado a este fin.
- b) Pulpa blanqueada.** Es la pulpa a la cual se le ha sometido a un tratamiento químico para que alcancen un mayor grado de blancura.

2.4. Variables de estudio

2.4.1. Temperatura de cocción

La temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Toda sustancia en determinado estado de agregación (sólido, líquido o gas), está constituida por moléculas que se encuentran en movimiento. La suma de las energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica; y la temperatura es la medida de esa energía promedio (ConceptoDefinición, 2015).

La temperatura de cocción en las fábricas al sulfato es de 170 - 180 °C, por encima de estos valores se producen degradaciones irreversibles del material celulósico y la celulosa se vuelve más susceptible a la degradación; las temperaturas inferiores a los 170 °C no proporcionan aparentemente ventajas, ni en el rendimiento ni en la calidad y se agrega la subida de temperatura ha de ser gradual, si se hace rápidamente se producirá una débil penetración en las astillas, lo que favorece la presencia de incócidos; hasta los 140 °C, en que la velocidad de deslignificación comienza a hacerse rápida, la mayor parte del álcali es consumida en la neutralización de ácidos producidos por hidrólisis o por la degradación de carbohidratos (Asencios, 1991).

El efecto de la temperatura en el proceso al sulfato en la especie (*Sclerolobium paniculata*) y las pulpas obtenidas a una temperatura de 170 °C y 160 °C para 25 y 30 por ciento de sulfidez respectivamente, alcanzaron los mayores valores de resistencia; las pulpas a 180 °C experimentaron una reducción muy marcada en todas sus propiedades mecánicas, señalando que las propiedades de resistencia por lo general disminuyen con el incremento de la temperatura de digestión (Asencios, 1991).

Como las plantas no maderables presentan un alto contenido de hemicelulosas y bajo de lignina, este material se pulpea con mayor facilidad y el proceso de deslignificación requiere de temperaturas bajas entre 145 a 165 °C, en comparación a las normalmente empleadas para especies maderables (Ríos y Vesga, 2008).

2.4.2. Tiempo de cocción

Magnitud de carácter físico que se emplea para realizar la medición de lo que dura algo que es susceptible de cambio. Cuando una cosa pasa de un estado a otro, y dicho cambio es advertido por un observador, ese periodo puede

cuantificarse y medirse como tiempo (Perez y Merino, 2008). El ciclo de cocción se puede dividir en dos fases:

2.4.2.1. Tiempo de elevación

Cuando la elevación de la temperatura es lenta, se efectúa una penetración completa del material lográndose una mayor eliminación de la lignina, además se logra que la concentración del álcali sea menor cuando el digestor alcance la temperatura máxima, de este modo el ataque a la celulosa es mínimo (Ríos y Vesga, 2008).

2.4.2.2. Tiempo a temperatura máxima

La fijación de este parámetro dependerá de la concentración del álcali activo, porcentaje de antraquinona y temperatura; y también, de la especie de planta que se empleará (Ríos y Vesga, 2008).

2.4.3. Concentración de hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio, también conocido como soda caustica o lejía, es una sustancia altamente versátil que se utiliza en una variedad de procesos de fabricación. El hidróxido de sodio se utiliza para la fabricación de muchos productos de uso diario, como papel, aluminio limpiadores de hornos y desagües comerciales, jabones y detergentes (Chemicalsafetyfacts, 2017).

Como las fibras de las plantas no maderables se impregnan con facilidad y tienen un contenido bajo en lignina reactiva, la cantidad de reactivos que se necesita es menor que en el pulpeo de madera. Por lo tanto se requiere de 10 al 15 % de NaOH referido al material fibroso base seca. Si la concentración aumenta se presenta mayor absorción de NaOH y disminución del rendimiento por degradación de carbohidratos (Ríos y Vesga, 2008).

El efecto de la concentración del hidróxido de sodio tiende también a disminuir en promedio 2.51 % el rendimiento al pasar de su nivel menor 7 % a su nivel mayor 10 %; por lo tanto se determinó usar la concentración de hidróxido de sodio en 7 %, su valor menor (Abarca y Blanco, 2008).

CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de pulpa y papel de la Facultad de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina ubicada en el Distrito de La Molina Provincia de Lima región Lima.

3.2. Material de estudio

Para la presente investigación se utilizó la paja (*Stipa ichu L.*) más conocido el en vocablo quechua como el Sikaw ichu que fue recolectado de la Comunidad Campesina Huancabamba Checcche Huaraccopata, Distrito José María Arguedas, Provincia de Andahuaylas región Apurímac un total de 8 kg debido a que las corridas experimentales con todas las réplicas necesitan de dicha cantidad y con la cual se llegó a cumplir los objetivos planteados.

3.2.1. Universo y/o población

Es la totalidad del material vegetal paja (*Stipa ichu L.*) más conocido en el vocablo quechua como el sikaw ichu de la Comunidad Campesina Huancabamba Checcche Huaraccopata, Distrito José María Arguedas, Provincia de Andahuaylas región Apurímac.

3.2.2. Muestra

Las muestras para la determinación del rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja se realizó por un muestreo no probabilístico de acuerdo al criterio del investigador y es de la siguiente manera: Muestra para la determinación del rendimiento 150 gr de paja en base seca por cada corrida experimental.

Muestra para la determinación de las propiedades físico-mecánicas 1.2 gr de pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*) por cada corrida experimental.

3.3. Equipos, instrumentos, materiales, reactivos e insumos

En la Tabla 08 se muestra los equipos utilizados durante la investigación para el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Tabla 8. Equipos.

Unidad	Descripción	Marca
1 Unid.	GPS, portátil recargable	Garmin
1 Unid.	Estufa eléctrica, con termostato hasta 150 °C	Karl Kolb
1 Unid.	Balanza digital portátil, cap. de 1 kg sensibilidad de 0.1 g	Camry
2 Unid.	Balanza analítica, cap. de 100 g sensibilidad de 0.01 g	Ohaus
1 Unid.	Centrifuga, de 3000 rpm cap. 3 kg	Heraeus
1 Unid.	Digestor rotatorio, con termostato cap. 15 L	ABM
1 Unid.	Desintegrador de pulpa, cap. 2 L	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Refinador de pulpa tipo PFI, cap. 300 g	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Equipo Shopper Riegler	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Formador de hoja, con alimentador de agua y con desfogue.	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Secador rápido PFI, con ventilador	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Prensa hidráulica, con control de presión	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Photovolt, con graduación de 0 -100	Search Head
1 Unid.	Permeabilidad gurley, con control de tiempo	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Micrómetro electrónico	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Plegómetro electrónico	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Tensiómetro o dinamómetro electrónico	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Rasgómetro, Cap. 0 - 100	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Bomba de succión, electrónica	Gast

1 Unid.	Baño isotérmico, con termostato	HH
1 Unid.	Plancha eléctrica, con termostato	Indef
1 Unid.	Mufla, con termostato de 0 – 800 °C	Thermolyne
1 Unid.	Equipo de aire acondicionado	York

En la Tabla 9 se muestra los instrumentos utilizados durante la investigación para el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Tabla 9. Instrumentos.

Cantidad/Unidad	Descripción	Marca
1 Unid.	Segadera, de acero con mango de madera	000
1 Unid.	Tijera, con hoja de acero carbono	ERG
1 Unid.	Cronómetro, manual portátil	Citizen
1 Unid.	Guillotina 50 x 40 cm, con base de metal	Lorentzen & Wettres
1 Unid.	Agitador magnético	RSLAB
1 Unid.	Guillotina 15x10 cm, con base de madera	Lorentzen & Wettres

En la Tabla 10 se muestra los materiales utilizados durante la investigación para el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Tabla 10. Materiales.

Cantidad/Unidad	Descripción	Marca
12 Unid.	Vaso precipitado de vidrio	Fortuna
3 Unid.	Extractor soxhlet	Fortuna
3 Unid.	Serpentín	Fortuna
6 Unid.	Placas Petri	Scott
1 Unid.	Desecador	Scott
6 Unid.	Matraz de vidrio de 250 mL	Fortuna
3 Unid.	Balón con fondo plano de 250 mL	Scott

6 Unid.	Pipeta de vidrio	Fortuna
3 Unid.	Probetas de 100 mL	Scott
3 Unid.	Embudo de vidrio	Fortuna
3 Unid.	Bagueta de vidrio	-
6 Unid.	Crisoles de porcelana	Scott
200 Unid.	Bolsas plásticas con cierre hermético	Janpax
4 Unid.	Bolsos de tela	---
4 Unid.	Baldes plásticas cap. 4 L	Plast
8 Unid.	Baldes plásticas cap. 20 L	Industrias del envase
1 Unid.	Tina plástica cap. 30 L	Recuplast
4 Unid.	Jarras plásticas cap. 1 L	Plast
4 Unid.	Jarras plásticas cap. 1 L	Plast
1 Unid.	Jarra plástica cap. 1.5 L	Plast
2 Unid.	Tinas plásticas cap. 2.5 L	Plast
20 Unid.	Discos metálicos de 200 cm ²	---
2 Unid.	Espátula de acero inoxidable con mango de madera	---
20 Unid.	Anillos de polietileno de alta densidad	---
16 Unid.	Ganchos de plástico	---
2 millares	Papel bulky	Atlas
1 plancha	Papel filtro en plancha	Whatman
1 plancha	Papel filtro libre de cenizas en plancha	Whatman
3 Unid.	Piceta plástica	Rey
2 Unid.	Colador de malla metálica # 140	Code
3 Unid.	Soporte universal completo	---
3 pares	Guantes de látex	Ladecol
1 caja	Guantes quirúrgico	BeeSure
2 pares	Guantes de cuero	Tig

En la Tabla 11 se muestra los reactivos utilizados durante la investigación para el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Tabla 11. Reactivos.

Cantidad/Unidad	Descripción
1 kg	Hidróxido de sodio
5 g	Antraquinona
50 L	Agua destilada
1 L	Alcohol (96°)
5 g	Clorito de sodio
250 mL	Clorito de sodio (1.5%)
15 mL	Ácido acético concentrado
15 mL	Ácido sulfúrico (72%)
30 mL	Ácido clorhídrico
30 mL	Ácido clorhídrico
30 mL	Ácido clorhídrico (1%)
300 mL	Permanganato de potasio (0.1 N)
300 mL	Ácido sulfúrico (4 N)
60 mL	Yoduro de potasio (1 N)
200 mL	Tiosulfato de sodio (0.2)

En la Tabla 12 se muestra los insumos utilizados durante la investigación para el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Tabla 12. Insumos.

Cantidad/unidad	Descripción
200 L	Agua destilada
1 L	Alcohol (96°)

3.4. Metodología

3.4.1. Obtención de pulpa para papel

Para la obtención de pulpa para papel se trabajó bajo la referencia de Muro (2005), modificado para esta investigación.

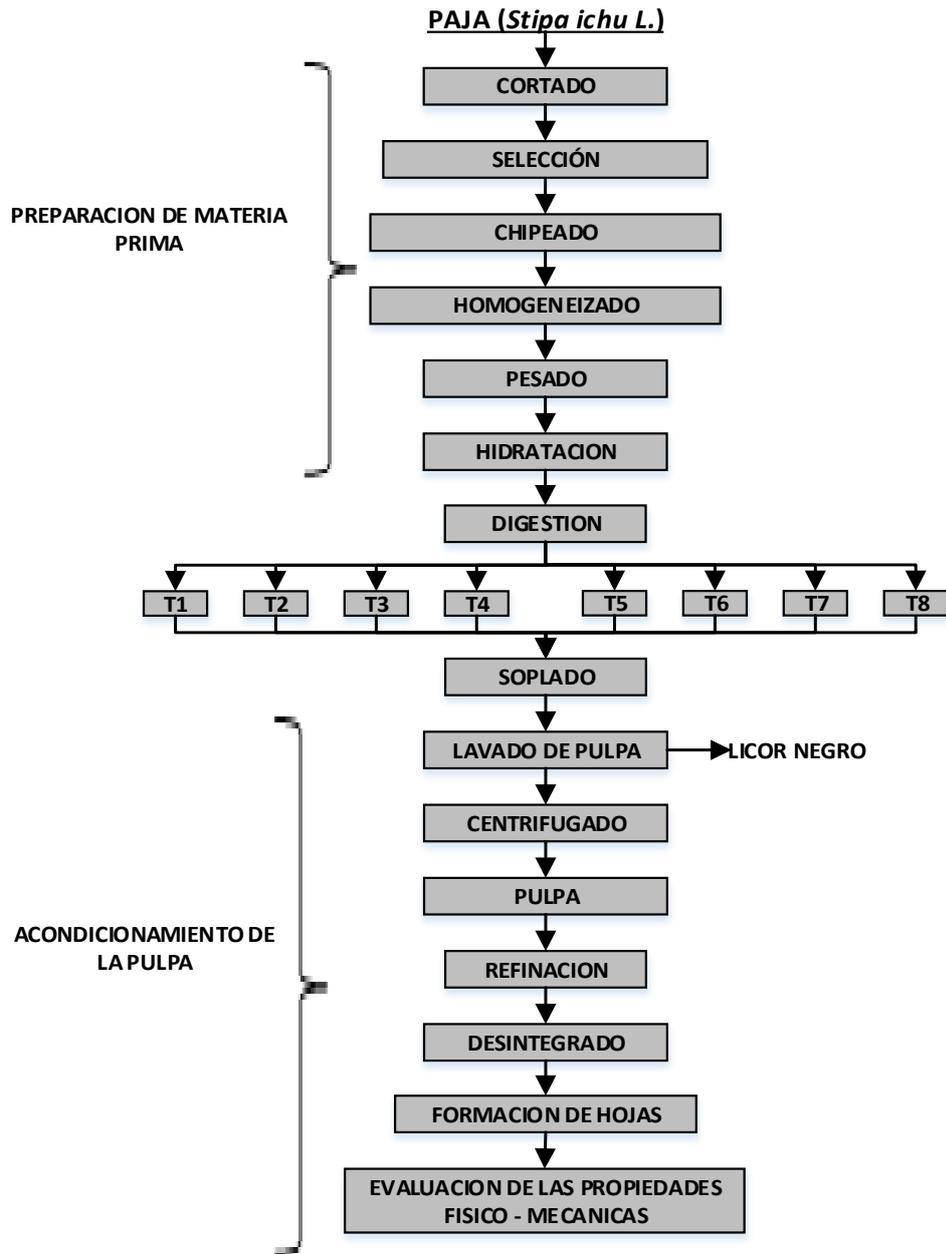


Figura 6. Diagrama de bloques.

3.4.1.1. Descripción de las operaciones de la metodología experimental del diagrama de bloques

Paja (*Stipa ichu*): Es la materia prima vegetal más conocido como el Sikaw ichu proveniente de la Comunidad Campesina Huancabamba Checche Huaraccopata, Distrito José María Arguedas, Provincia de Andahuaylas región Apurímac, esta paja fue cosechada en el mes de julio del 2017 con una edad de

un año y medio de las siguientes coordenadas geográficas de acuerdo al GPS (18 L 0678918 UTM 8474301, altitud 3902 m.s.n.m.) y en la escala siguiente los puntos de ubicación son (Sur 13°47.717' Oeste 073°20.692', altitud 3902 m.s.n.m.).

Cortado: Operación que se realizó con la ayuda de una segadera para retirar el tallo de la paja y separar de la raíz el cortado se realizó dejando aproximadamente 10 cm con respecto al suelo y los tallos cortados tuvieron longitudes mínimos de 60 cm y máximo de 120 cm aproximadamente.

Selección: Se seleccionó tallos sanos de la paja y además libre de algunos pastos, hierbas, etc.

Chipeado: Operación que se realizó con la finalidad de reducir el tamaño de la paja a 3 centímetros con la ayuda de una tijera, esto con la finalidad de llenar de manera fácil en los obuses del digestor.

Homogeneizado: Se realizó con la finalidad de tener fibras de la paja con tamaños iguales, esta operación se realizó manualmente, en esta etapa se procedió a determinar la humedad correspondiente que ha sido de 11.38% aproximadamente.

Pesado: Se pesó 150 g de paja (bms) en bolsas ciclope (bolsas con sellado hermético) un total de 24 unidades como corresponde a un diseño de 2³ por triplicado, esta operación se realizó con la ayuda de una balanza digital portátil, esta operación se realizó para poder calcular los rendimientos en pulpa.

Hidratación: Operación que se realizó para poder ablandar las fibras de la paja, esta operación se realizó por 12 horas antes de que la muestra entre a la cocción o digestión.

Digestión: La digestión se realizó en un digestor rotatorio añadiendo las muestras de paja junto con el licor de cocción (hidróxido de sodio, antraquinona más agua destilada) a los obuses. Es en esta etapa es donde se controló las variables de entrada que son: Temperatura de cocción 160 y 170 °C, tiempo de cocción 45 y 75 minutos y la concentración de hidróxido de sodio 15 y 19%, realizándose 8 corridas experimentales con 3 réplicas.

Soplado: Operación que se sometió a la pulpa que se encuentra en el interior del digestor y dentro de los obuses sellado, a un despresurizado hasta llegar a la presión atmosférica.

Lavado de pulpa: Se realizó en bolsos de tela popelín y en un depósito (tina), en el cual se lava con abundante agua prensando ligeramente de manera manual, esta operación tiene la finalidad de retirar el licor negro de la cocción o digestión.

Centrifugado: Se realizó con la finalidad de poder reducir la cantidad de humedad, esta operación se realizó en una centrifuga por 3 minutos a 3000 rpm.

Pulpa: Es el producto de todas las operaciones anteriormente descritas, después del centrifugado esta pulpa es almacenada en bolsas ciclope (bolsas con sellado hermético) y es aquí donde se determinó la humedad de cada tratamiento y se calculó el rendimiento de pulpa, de esta manera se cumple uno de nuestros objetivos.

Refinación: Esta operación se realizará con la finalidad de romper la pared primaria de las fibras para obtener fibras más flexibles homogéneas, se realizó con la ayuda de un refinador PFI a 3000 rpm por 5 minutos.

Desintegrado de pulpa: Se realizó con el fin de dispersar las fibras en medio acuoso para que posteriormente se forme las hojas. Esta operación se realizó en el desintegrador de pulpa por un periodo de tiempo de 10 minutos a 3000 rpm.

Formación de hojas: La formación de las hojas fueron realizados con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas, esta operación se realizó en el equipo formador de hojas "ESSEX".

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas: Estas operaciones fueron realizados en los diferentes equipos destinados para cada propiedad físico-mecánica de la pulpa formada siguiendo el procedimiento de las normas TAPPI. En esta etapa donde se cumplen los demás objetivos.

3.4.2. Métodos de determinación

3.4.2.1. Determinación del rendimiento de la pulpa

Se determinó el peso total de la pulpa húmeda y simultáneamente se tomaran dos muestras de 5 g de cada corrida para el cálculo de humedad a los 105 °C ± 2 °C durante 24 horas, hasta peso constante. Con los valores obtenidos se determinaron los valores del rendimiento por la siguiente expresión propuesta por (Beltran, 1996):

$$Rendimiento (Rn \%) = \frac{P_s}{M_s} \times 100 \dots \dots \dots Ecuacion (1)$$

Donde:

Rn %: Porcentaje de rendimiento.

P_S : Peso seco de la pulpa (peso final).

M_S : Peso seco de la materia prima (peso inicial).

3.4.2.2. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de pulpas para papel

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas se seguirá los siguientes procedimientos de acuerdo a las normas TAPPI.

3.4.2.2.1. Preparación de pulpa

a) Refinado

- Se obtuvo una muestra de pulpa húmeda (ph) equivalente a 25 g en pulpa seca (ps).
- La pulpa se colocó en un balde de plástico previamente tarada y se agregó agua hasta completar 250 g, posteriormente se homogenizó con una bagueta de vidrio.
- Se transfirió la pulpa con agua al refinador PFI y se distribuyó uniformemente la pulpa en el interior.
- Se colocó la tapa y los demás accesorios del equipo.
- Posteriormente se espera el refinado de acuerdo a los parámetros programados en el equipo, este procedimiento se siguió de acuerdo a la norma (TAPPI T 248-sp, 2000) (ver anexo 20).
- Después de concluir esta operación se desconectó el equipo y se procedió a descargar la pasta refinada a un balde.
- En el balde se completó el volumen con agua hasta 2 L

b) Desintegrado

- La desintegración de pulpa se realizó por 10 minutos a 3000 rpm la pulpa y agua completada a los 2 L de la etapa anterior.
- Concluida la desintegración se transfirió en un balde con 8 L de agua, este procedimiento se realizó siguiendo la norma (TAPPI T 205-sp, 1995) (ver anexo 20).

c) Control de refino

- Se tomó aproximadamente 2 g de pasta y se completó con agua a 1 L en una probeta.
- Se mezcló la muestra en el cilindro graduado cerrando la parte superior del cilindro con la mano y suavemente y se invirtió el cilindro a 180° tres veces.

- Se vertió el material suavemente pero de manera rápida dentro de la cámara (equipo Shopper Riegler).
- Posteriormente se abrió la tapa inferior y luego de 5 segundos desde el momento de la adición se ha completado, se abrió completamente el aire-gallo en un solo movimiento.
- Cuando la descarga lateral cesó, se registró el volumen descargado.
- Una vez que se concluyó el control, se recuperó la pasta y se formó una hoja de papel para determinar la masa seca que aproximadamente está en $2 \text{ g} \pm 0.2 \text{ g}$; con esta masa seca de la hoja se corrigió la verdadera concentración del caldo y formar hojas de 1.2 g para los análisis de las propiedades físico-mecánicas. El control de refino se realizó siguiendo la norma (TAPPI T 227-om, 1994) (ver anexo 20).

d) Formación de hojas

El volumen del caldo a tomar se calculó con la siguiente fórmula para cada corrida experimental.

$$V(ml) = \frac{1200}{C} \dots\dots\dots Ecuacion (2)$$

Donde:

V: Volumen a tomar (ml) para formar hojas de 1.2 g

C: Consistencia de pasta en el balde (g/L).

- Se tomó el volumen calculado para cada tratamiento y se vertió en la formadora de hojas y se deja ingresar agua por la válvula del equipo y se agito el contenido por 6 segundos.
- Luego de 5 segundos de la última agitada se abrió la válvula de descarga para drenar el agua y quedando solo la hoja formada.
- Sobre la hoja formada se colocó las secantes y un fieltro de tela y se pasó el rodillo dos veces.
- Seguidamente se retiró el conjunto hoja, secante y fieltro, el secante y el fieltro se retiró y se cambió por 2 secantes, esta operación se realizó hasta tener un lote de 5 hojas.
- El paquete de bajo la prensa (primer prensado) donde se aplicó una presión manométrica de 4.2 kg/cm^2 durante 5 minutos, luego se retiró el paquete y se retiró la primera secante y se reemplazó por 5 nuevos secantes.
- Después se realizó el segundo prensado, esta vez el prensado es solo de 2 minutos y procede a retirar.

- Se procedió a separar las secantes y colocar las hojas en los discos y en los aros o anillos de secado al aire.
- Las hojas en los discos y puestos en los anillos se llevaron al laboratorio de ensayos para que sequen por el periodo de una noche, la formación de las hojas se realizó conforme lo describe la norma (TAPPI T 205-sp, 1995) (ver anexo 20).

e) Acondicionamiento de hojas

La atmósfera de acondicionamiento de las hojas fueron de 50% HR, 23 °C, y luego el ensayo se realiza en esa atmósfera, para el acondicionamiento de las hojas se siguió el procedimiento descrito por la norma (TAPPI T 402-om, 1993) (Ver anexo 20).

3.4.2.2.2. Propiedades físico-mecánicas

a) Blancura

- Se tomó 5 hojas de cada tratamiento a la vez bajo el filtro azul de luz (457 nm).
- Se tomó la lectura de cada una de las hojas esta lectura es en °Photovolt, la determinación de la blancura se realizó siguiendo la norma (TAPPI T 452-om, 1998) (ver anexo 20).

b) Índice de rasgado (resistencia al rasgado)

- Primero se levantó el péndulo hasta su posición inicial y se colocó contra su tope.
- Las probetas se insertaron y se centraron y se ajustaron con las abrazaderas de ambos lados, y se hizo el corte inicial con la cuchilla del equipo.
- Se presionó el péndulo rápidamente hasta el tope y se soltó el péndulo y mantuvo presionado la parada hasta que se complete el rasgado y capture el péndulo en la oscilación de retorno sin perturbar la posición del puntero.
- Seguidamente se registró las lecturas de la escala a la media división más cercana; También el número de pliegos utilizados en la especímenes. La determinación del índice de rasgado se realizó siguiendo la norma (TAPPI T 414-om, 1998) (ver anexo 20).
- El valor que representa la resistencia al rasgado se denomina índice de rasgado y se estimó con la siguiente ecuación:

$$ID = \left(\frac{\bar{X}}{n} * 16 \right) * \left(\frac{100}{G * S} \right) * 0.0098 \dots \dots \dots Ecuacion (3)$$

Donde:

ID: Valor de índice de rasgado, en mN-m²/g

X: Promedio de lecturas de trabajo del equipo (g-cm).

n: Número de probetas de papel utilizadas durante el ensayo.

G: Gramaje acondicionado del papel (g/m²).

s: Factor de sequedad del papel.

Nota: El valor 16 corresponde a factor de equipo utilizado en laboratorio, modelo elmendorff.

Calculo del factor de sequedad

Al final de los ensayos de resistencia, se tomó muestras de residuos de papel para calcular el factor de sequedad llevando a estufa a 105 °C por 12 horas.

$$s = \frac{ps}{ph} \dots \dots \dots Ecuacion (4)$$

Donde:

ps: Masa seca del papel.

ph: Masa húmeda del papel.

c) Longitud de rotura (resistencia a la tensión)

- Se alinea y sujeto la probeta primero en la mandíbula superior y, después se quitó con sumo cuidado la holgura y se ajustó la mandíbula inferior.
- Después suavemente se bajó el gatillo del equipo previamente encendido.
- Una vez que la probeta sufra una ruptura total, se levanta el gatillo y se toma la lectura correspondiente. La determinación de la longitud de rotura se realizó siguiendo la norma (TAPPI T 404-cm, 1992) (ver anexo 20).
- El valor que representa la resistencia a la tensión se denomina longitud de rotura (LR), este valor se calcula de la siguiente manera:

$$LR (m) = \frac{200000 * Q}{3 * G * s} \dots \dots \dots Ecuacion (5)$$

Donde:

LR: Longitud de rotura del papel (m).

Q: Carga de ruptura (kg).

G: Gramaje del papel (g/m²).

s: Factor de sequedad del papel.

d) Doble pliegues

- Para iniciar se giró la cabeza abatible oscilante de modo que la abertura quede vertical, luego se giró el interruptor de control del motor posición.

Posteriormente se colocó un peso de 1 kg en la parte superior del émbolo (equivalente a la tensión deseada en la muestra).

- Seguidamente sin tocar la parte de la tira a plegar se sujetó la probeta que se encuentra totalmente dentro de un plano, es decir, plano, y con los lados, paralelos a, y sin tocar el placa de montaje de mandíbula oscilante.
- Luego se retiró el peso y se destornilló el bloqueo del émbolo para aplicar la tensión especificada a la tira de prueba.
- Luego se arrancó el ventilador y el motor del instrumento.
- Finalmente se registró el número de doblez pliegues realizados antes de la fractura. La determinación del doblez pliegues se realizó siguiendo la norma (TAPPI T 511-om, 1996) (ver anexo 20).

3.4.3. Análisis estadístico

Para el presente investigación se utilizó diseño factorial de 2^3 dado que se planteó probar efectos de las variables más importantes que afectan en el proceso de pulpeo en la industria de pulpa y papel (rendimiento en pulpa y propiedades físico-mecánicas de pulpas formadas), es así que se estudiaron tres factores con dos niveles cada uno (nivel mínimo y un nivel máximo).

Los diseños factoriales es una de las familias de diseños de mayor impacto en la industria y en la investigación, debido a su eficiencia y versatilidad. En general los factoriales en dos niveles, sean completos o fraccionados, constituyen un conjunto de diseños de mayor impacto en las aplicaciones (Gutierrez y De La Vara, 2008).

En la presente investigación se trabajó teniendo como variables independientes la temperatura de cocción, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio para analizar los efectos sobre el rendimiento en pulpa y las propiedades físico-mecánicas (blancura, resistencia al rasgado, resistencia a la tensión y resistencia a la doblez pliegues) de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*) (Variables dependientes).

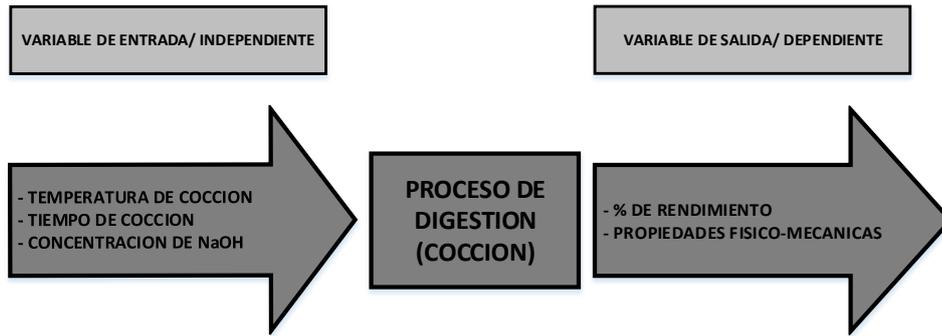


Figura 7. Diagrama de contrastación de variables.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Matriz del diseño estadístico modelo 2³.

Tratamientos	Temperatura °C	Tiempo (min.)	% de hidróxido de sodio	Propiedades físico-mecánicas															
				% Rendimiento			Blancura (°Photovolt)			Índice de rasgado ((mN-m ² /g)			Longitud de rotura (m)			Doble pliegues (#)			
				R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
1	160	45	15																
2	170	45	15																
3	160	75	15																
4	170	75	15																
5	160	45	19																
6	170	45	19																
7	160	75	19																
8	170	75	19																

3.4.4. Análisis del diseño factorial

El modelo estadístico para este diseño está dado por:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

Y_{ijkl} : El rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la i observación bajo la combinación del j valor de la temperatura, k valor del tiempo y el l valor de la concentración del NaOH.

μ : La media común de todos los datos del experimento.

α_i : El efecto o impacto de i nivel de la variable de tratamiento A.

β_j : El efecto o impacto de j nivel de la variable de tratamiento B.

γ_k : El efecto o impacto de k nivel de la variable de tratamiento C.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre el i valor de A y el valor de B.

$(\alpha\gamma)_{ik}$: Efecto de la interacción entre el i valor de A y el k valor de C.

$(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto de la interacción entre el j valor de B y el k valor de C.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: Efecto de la interacción entre el i valor de A, el j valor de B y el k valor de C.

ε_{ijkl} : Error experimental o efecto aleatorio de muestreo.

Donde:

A: Temperatura de cocción.

B: Tiempo de cocción a temperatura máxima.

C: Concentración de hidróxido de sodio.

Con este diseño se pueden estudiar los $2^3 - 1 = 7$ efectos: tres efectos principales A, B, C; tres efectos de interacción simple AB, AC, BC y un efecto de interacción simple simple ABC. Para lo cual se estimó las siguientes hipótesis.

3.4.5. Hipótesis estadístico

Para la prueba de hipótesis se estimó las siguientes hipótesis para las tres variables sobre el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.), estos son: temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio.

H_0 : Influencia de la temperatura de cocción > 0.05 → la temperatura de cocción no influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_A : Influencia de la temperatura de cocción < 0.05 → la temperatura de cocción influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_0 : Influencia del tiempo de cocción > 0.05 → el tiempo de cocción no influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_A : Influencia del tiempo de cocción < 0.05 → el tiempo de cocción influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa para pape de paja (*Stipa ichu* L.).

H_0 : Influencia de la concentración del NaOH > 0.05 → la concentración del NaOH no influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_A : Influencia de la temperatura de cocción < 0.05 → la concentración del NaOH influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_0 : Influencia de la temperatura de cocción x tiempo de cocción > 0.05 → la **temperatura de cocción x tiempo de cocción** no influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_A : Influencia de la temperatura de cocción x tiempo de cocción < 0.05 → la **temperatura de cocción x tiempo de cocción** influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_0 : Influencia de la temperatura de cocción x concentración del NaOH > 0.05 → la **temperatura de cocción x concentración del NaOH** no influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_A : Influencia de la temperatura de cocción x concentración del NaOH < 0.05 → la **temperatura de cocción x concentración del NaOH** influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_0 : Influencia del tiempo de cocción x concentración del NaOH > 0.05 → el **tiempo de cocción x concentración del NaOH** no influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

H_A : Influencia del **tiempo de cocción x concentración del NaOH < 0.05** → el **tiempo de cocción x concentración del NaOH** influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

H_0 : Influencia de la **temperatura de cocción x tiempo de cocción x concentración del NaOH > 0.05** → la **temperatura de cocción x tiempo de cocción x concentración del NaOH** no influye en el rendimiento y las propiedades físico – mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

H_A : Influencia de la **temperatura de cocción x tiempo de cocción x concentración del NaOH < 0.05** → la **temperatura de cocción x tiempo de cocción x concentración del NaOH** influye en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

3.4.6. Anova para el diseño factorial 2^3

Para el análisis de los datos se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con un 95% de nivel de confianza y un 5% de significancia.

Las hipótesis anteriormente planteadas se probaran con el Anova como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Anova para el diseño factorial 2^3 .

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
A	SC _A	1	CM _A	CM _A /CM _E	P(F>F ₀)
B	SC _B	1	CM _B	CM _B /CM _E	P(F>F ₀)
C	SC _C	1	CM _C	CM _C /CM _E	P(F>F ₀)
AB	SC _{AB}	1	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(F>F ₀)
AC	SC _{AC}	1	CM _{AC}	CM _{AC} /CM _E	P(F>F ₀)
BC	SC _{BC}	1	CM _{BC}	CM _{BC} /CM _E	P(F>F ₀)
ABC	SC _{ABC}	11	CM _{ABC}	CM _{ABC} /CM _E	P(F>F ₀)
Error	SC _E	2 ³ (n - 1)	CM _E		
Total	SC _T	n2 ³ - 1			

Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2008)

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados y discusiones del rendimiento en pulpa de paja (*Stipa ichu L.*)

4.1.1. Resultados del rendimiento en pulpa de paja

El rendimiento en pulpa definido como la relación del peso seco de la pulpa entre el peso seco de la materia prima multiplicado por cien (Beltran, 1996), de acuerdo a la anterior definición la Tabla 15 muestra un rendimiento alto de 38.22%, a una temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; y a una concentración de hidróxido al 15% y un rendimiento más bajo sucede cuando los factores anteriormente mencionados se encuentran en los niveles de 160 °C, 45 min; y 19% de NaOH respectivamente. La interpretación de la tabla 15 en un orden decreciente es como sigue, cuando los factores de temperatura de cocción , tiempo de cocción y la concentración de NaOH en los niveles de 170 °C, 75 min; y 15% de NaOH el rendimiento es alto; y cuando los niveles de estos factores se encuentran en 160 °C, 75 min; y 15% de NaOH, el rendimiento decae un 3.92%, y cuando se encuentran en los niveles de 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH el rendimiento decae en 4.03%, y cuando las tres variables se encuentran en sus niveles altos 170 °C, 75 min; y 19% de NaOH, el rendimiento decae en 7.59% de NaOH, y cuando los factores se encuentran en los niveles de 170 °C, 45 min; y 15% de NaOH, el rendimiento decae en 9.81%; y cuando las tres variables se encuentran en los niveles de 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH, el rendimiento decae en 10.05% ; y cuando las variables se encuentran en los niveles de 160 °C, 75 min; y 19% de NaOH el rendimiento decae en 12.19%; finalmente cuando las variables se encuentran en los niveles de 160 °C, 45 min; y 19% de NaOH, el rendimiento decae en un 21.06% las comparaciones anteriormente realizado están hechas con respecto al mayor rendimiento.

Tabla 15. Resultados del rendimiento.

Tratamiento	Temperatura de cocción (°C)	Tiempo de cocción (min.)	Hidróxido de sodio (%)	Rendimiento en pulpa (%)	
				Promedio (%)	Desviación estándar
1	160	45	15	34.38	0.69859
2	170	45	15	34.47	0.50807
3	160	75	15	36.72	0.87180
4	170	75	15	38.22	0.57158
5	160	45	19	30.17	0.15011
6	170	45	19	36.68	0.33486
7	160	75	19	33.56	0.46188
8	170	75	19	35.32	0.76788

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 16, se encontró que el rendimiento en pulpa de la paja es influenciado por la temperatura de cocción (A), tiempo de cocción (B) y la concentración del NaOH (C), así como también por el efecto interacción simple de temperatura x % de NaOH (A x C), tiempo x % de NaOH (B x C) y por el efecto interacción simple simple de temperatura x tiempo x % de NaOH (A x B x C). Mas no así el efecto de interacción simple de temperatura x tiempo (A x B), no ejerce ningún efecto sobre el rendimiento en pulpa de paja al 95 % de nivel de confianza.

Tabla 16. Análisis de Varianza para rendimiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TEMPERATURA	44.1459	1	44.1459	127.47	0.0000
B:TIEMPO	18.957	1	18.957	54.74	0.0000
C:NaOH	30.7134	1	30.7134	88.69	0.0000
AB	0.0425042	1	0.0425042	0.12	0.7307
AC	12.0842	1	12.0842	34.89	0.0000
BC	3.519	1	3.519	10.16	0.0057
ABC	10.0492	1	10.0492	29.02	0.0001
Error total	5.54107	16	0.346317		
Total (corr.)	125.052	23			

Al realizar el análisis de varianza de la interacción simple simple A x B x C presentado en la Tabla 17 se encontró que el rendimiento en pulpa de paja es influenciado por las interacciones B 45 - C 19% en A; B 75 - C 15% en A; B 75 - C 19% en A; C 15% - A 170 en B; C 19% - A 160 en B; A 160 - B 45 en C; A 160 - B 75 en C; A 170 - B 45 en C y A 170 - B 75 en C, mientras que el efecto interacción simple simple de B 45 - C 15% en A; C 15% - A 160 en B y C 19% - A 170 en B no ejercen ningún efecto sobre el rendimiento en pulpa de paja, por tanto para las interacciones que ejercen efectos rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) y para los que no ejercen ningún efecto sucede lo contrario al 95% de nivel de confianza.

Tabla 17. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para el rendimiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
B 45 C 15 % en A	0.010416	1	0.010416	0.03	0.8754
B 45 C 19 % en A	45.540150	1	45.540150	676.34	0.0001
B 75 C 15 % en A	9.400016	1	9.400016	17.30	0.0142
B 75 C 19 % en A	11.371266	1	11.371266	28.32	0.0060
C 15 % A 160 en B	2.666666	1	2.666666	4.27	0.1076
C 15 % A 170 en B	21.131266	1	21.131266	72.26	0.0011
C 19 % A 160 en B	8.568150	1	8.568150	72.65	0.0010
C 19 % A 170 en B	0.201666	1	0.201666	0.57	0.4906
A 160 B 45 en C	26.586150	1	26.586150	104.14	0.0005
A 160 B 75 en C	12.915266	1	12.915266	30.65	0.0052
A 170 B 45 en C	2.220416	1	2.220416	11.99	0.0257
A 170 B 75 en C	12.644016	1	12.644016	27.60	0.0063

Al realizar las pruebas de comparación múltiple de medias LSD Fisher para la interacción de A x B x C presentado en la Tabla 18, se determinó un rendimiento en pulpa de 38.22% a 170°C, 75 min; 15% de NaOH rendimiento mayor frente a los rendimientos obtenidos en 160°C, 75 min; 15% de NaOH; 170°C, 45 min; 19% de NaOH; 170°C, 75 min; 19% de NaOH; 170°C, 45 min; 15% de NaOH; 160°C, 45 min; 15% de NaOH; 160°C, 75 min; 19% de NaOH y 160°C, 45 min; 19% de NaOH cada uno con 35.72, 35.68, 35.32, 34.47, 34.38, 32.56 y 30.17% respectivamente para todos los casos al 95% de nivel de confianza.

Tabla 18. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para el rendimiento.

Test: LSD Fisher Alfa = 0.05 DMS = 1.01861 Error: 0.3463 gl: 16					
Temperatura	Tiempo	%NaOH	Rendimiento %	E.E.	
170	75	15	38.22	0.34	a
160	75	15	35.72	0.34	b
170	45	19	35.68	0.34	b
170	75	19	35.32	0.34	b c
170	45	15	34.47	0.34	c
160	45	15	34.38	0.34	c
160	75	19	32.56	0.34	d
160	45	19	30.17	0.34	e

4.1.1.1. Discusiones del rendimiento en pulpa de paja

El rendimiento en pulpa varía según el proceso utilizado, para nuestro investigación que es el proceso Soda-AQ, Veroes, (2004) señala que este proceso da rendimientos en pulpa que va desde 45 – 55%. Los rendimientos obtenidos en la presente están por debajo de estos valores, uno de los factores más influyentes es el periodo vegetativo de crecimiento de planta que fue de un año y medio, porque a medida que se desarrolla, en su composición va formándose fibras sólidas y también el bajo rendimiento se debe a la especie de la paja porque otras especies de paja poseen tallos más gruesos y por ende mayor cantidad de fibra, Asencios (1991) obtuvo un rendimiento de 37.72% en pulpa de Lupuna bajo la aplicación del álcali activo de 18%, temperatura máxima de 160 °C, tiempo de cocción de 120 minutos y la aplicación de 0.1% de AQ, nuestro rendimiento obtenido supera casi en el 1% porque se aplicó una temperatura y tiempo de cocción en 170 °C y 75 min; y la concentración del hidróxido de sodio al 15%, este dato nos puede corroborar la gráfica de efectos principales (Anexo 6) donde que la temperatura ejerce el mayor efecto seguido de la concentración del hidróxido de sodio y el tiempo de cocción; lo que no sucede es en la investigación de Abarca y Blanco (2008) porque obtuvo un rendimiento en pulpa de *Tectona grandis* de 45.5%, con una temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción de 45 minutos y a una concentración de hidróxido de sodio de 7% y en un proceso Soda-AQ con 0.1%; y también Vera (2010) obtuvo un rendimiento de 48.57% en pulpa de bambú en un proceso Soda-AQ con un álcali activo de 19%, temperatura de

170 °C y con un tiempo de cocción de 60 minutos y bajo la aplicación de 0.05% de antraquinona, este rendimiento se obtuvo porque el bambú contiene un 67.63% de holocelulosa (celulosa mas hemicelulosa) a pesar de las condiciones de cocción, Bueno (1978) afirma que el menor rendimiento de la pulpa cuanto más energético es el tratamiento químico, se debe a que los reactivos solubilizan la lignina, las hemicelulosas y las fracciones más débiles de la celulosa en proporción a la energía de tratamiento; igualmente son solubilizados los extractivos, por esta razón las pulpas químicas están constituidas principalmente por celulosa con algo de hemicelulosas, lignina residual y extractivos. Entonces nuestro resultado de bajo en rendimiento se debe a que parte de la celulosa se ha perdido durante la cocción, lo normal de acuerdo a las teorías nos debería haber resultado un rendimiento superior a 45% ya que los análisis químicos demuestran que la paja contiene un 70.08% de holocelulosa (celulosa mas hemicelulosa) del cual Albarracin, Jaramillo, & Albuja (2015) afirman que la paja (*Stipa ichu L.*) contiene 45.9% de celulosa; Muro (2005) afirma que la adición de 0,1% AQ/madera seca, reduce el tiempo de cocción e incrementa el rendimiento y las propiedades mecánicas de la celulosa aislada hasta alcanzar valores que corresponden casi a los de la celulosa y (Ríos y Vesga, 2008) afirman que las fibras de las plantas no maderables se impregnan con facilidad y tienen un contenido bajo en lignina reactiva, la cantidad de reactivos que se necesita es menor que en el pulpeo de madera. Por lo tanto se requiere de 10 al 15% de NaOH referido al material fibroso base seca, si la concentración aumenta se presenta mayor absorción de NaOH y disminución del rendimiento por degradación de carbohidratos, probablemente es por ello que se obtuvo un rendimiento bajo pero esta elección del porcentaje de hidróxido de sodio se optó porque antes de la corrida experimental definitiva se realizó una corrida preliminar, Veroes (2004), señala que la antraquinona opera como un catalizador redox promoviendo la transferencia de electrones desde una fuente (carbohidratos) a un sumidero (lignina), de este modo, se acelera la degradación y solubilización de la lignina y por oxidación de sus grupos reductores terminales, los carbohidratos se estabilizan, esta última afirmación debió ocurrir en nuestra cocción pero no fue lo más esperado, a pesar de ello se encontró un rendimiento razonable para una materia prima silvestre. Mientras que en un proceso a la Soda donde el reactivo utilizado es el hidróxido de sodio se obtiene mayores rendimientos Rosales (1992), obtuvo rendimientos de 51.6% en pulpa de la paja de arroz y 46.5% en pulpa de la paja de trigo, bajo la aplicación de 12 y

14% de NaOH, temperatura de cocción de 150 y 160 °C y el tiempo a temperatura máxima de 60 y 70 minutos respectivamente, también Dick (2014), en un proceso a la soda en pulpa de junco obtuvo rendimientos de 42.3, 38.7, 36.0, 32.9 y 33.0% bajo 7, 9, 11, 12, 13% de álcali activo, temperatura de cocción de 170 °C y tiempo a temperatura máxima de 30 minutos, mientras que en un proceso kraft donde los reactivos utilizados son el sulfato de sodio y el hidróxido de sodio Caceres (1983), en pulpa de bambusa vulgaris bajo la aplicación de 14%, temperatura de cocción de 165 °C y tiempos de cocción a temperatura máxima 30, 60 y 120 minutos obtuvo rendimientos de 62.2, 53.0 y 48.0% respectivamente.

4.2. Resultados y discusiones de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*)

4.2.1. Resultados de blancura de la pulpa formada de paja

La Tabla 19 muestra los resultados del grado de blancura como producto del efecto de las variables de temperatura de cocción 160 y 170 °C, tiempo de cocción 45 y 75 minutos y la concentración del hidróxido de sodio 15 y 19%, en consecuencia se puede observar el mejor grado de blancura es de 40.1 °Photovolt, se tiene a una temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción 75 min; y a una concentración de hidróxido de sodio 19% respectivamente y un grado de blancura más bajo de todos los tratamientos sucede a una temperatura de cocción 170 °C, tiempo de cocción 75 min; y una concentración de 15% de hidróxido de sodio respectivamente.

Tabla 19. Resultados de la blancura (° Photovolt).

Tratamiento	Temperatura de cocción (°C)	Tiempo de cocción (min.)	Hidróxido de sodio (%)	Blancura (° Photovolt)	
				Promedio	Desviación estándar
1	160	45	15	34.7	0.4582576
2	170	45	15	34.4	0.5000000
3	160	75	15	34.4	0.2645751
4	170	75	15	33.9	0.2309401
5	160	45	19	39.3	0.3605551
6	170	45	19	40.1	0.2000000
7	160	75	19	39.1	0.2645751
8	170	75	19	39.1	0.3055050

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 20, se encontró que la blancura de la pulpa formada de paja es influenciado por el tiempo de cocción (B) y la concentración del NaOH (C), así como también por el efecto interacción simple de temperatura x % de NaOH (A x C) al 95% de nivel de confianza. Mas no así el efecto de temperatura de cocción (A), el efecto de interacción simple de temperatura de cocción x tiempo de cocción (A x B), tiempo de cocción x concentración de NaOH (B x C) y la interacción simple simple de temperatura de cocción x tiempo de cocción x concentración de NaOH (A x B x C), no ejercen ningún efecto sobre la blancura de pulpa formada de paja al 95% de nivel de confianza.

Tabla 20. Análisis de Varianza para la blancura.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TEMPERATURA	0.00166667	1	0.00166667	0.01	0.9055
B:TIEMPO	1.40167	1	1.40167	12.23	0.0030
C:NaOH	153.015	1	153.015	1335.40	0.0000
AB	0.326667	1	0.326667	2.85	0.1107
AC	0.96	1	0.96	8.38	0.0106
BC	0.06	1	0.06	0.52	0.4797
ABC	0.135	1	0.135	1.18	0.2938
Error total	1.83333	16	0.114583		
Total (corr.)	157.733	23			

Al realizar el análisis de varianza de la interacción simple A x C presentado en la Tabla 21 se encontró que la blancura en la pulpa formada de paja es influenciado por las interacciones A 160 °C en C y A 170 °C en C, mientras que la interacción de C 15% en A y C 19% en A no ejercen ningún efecto sobre la blancura en la pulpa formada de paja, por tanto para las interacciones que ejercen efectos rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) y para los que no ejercen ningún efecto sucede lo contrario al 95% de nivel de confianza.

Tabla 21. Análisis de varianza del efecto interacción simple A x C para la blancura.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
C 15 % en A	0.440833	1	0.440833	2.71	0.1309
C 19 % en A	0.520833	1	0.520833	2.45	0.1488
A 160 en C	64.86750	1	64.86750	561.62	0.0001
A 170 en C	89.10750	1	89.10750	342.50	0.0001

Al realizar las pruebas de comparación múltiple de medias LSD Fisher de A x C presentado en la Tabla 22, se determinó una blancura de 39.62 °Photovolt a 170 °C y 19% de NaOH, blancura mayor frente a las blancuras obtenidos en 160 °C y 19% de NaOH; 160 °C, 15% de NaOH y 170 °C, 15% de NaOH cada uno con 39.2, 34.55 y 34.17 °Photovolt para todos los casos al 95% de nivel de confianza.

Tabla 22. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para la blancura.

Test: LSD Fisher Alfa = 0.05 DMS = 0.41430 Error: 0.1146 gl: 16				
Temperatura	% NaOH	Blancura (°Photovolt)	E.E	
170	19	39.62	0.14	a
160	19	39.2	0.14	b
160	15	34.55	0.14	c
170	15	34.17	0.14	c

4.2.1.1. Discusiones de la blancura de la pulpa formada de paja

La blancura obtenido en la presente investigación, va desde 33.9 – 40.1 °Photovolt, Libby (1976) afirma que, las pulpas sin blanquear en general exhiben valores de blancura que varían de 25 a 65 unidades GE (del método General Electric). De acuerdo al enunciado los valores obtenidos en nuestra investigación como producto del efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio se encuentra dentro del rango por lo que se trata de una pulpa sin blanquear, de acuerdo a la Tabla 20 la concentración del hidróxido de sodio es el que tiene el mayor efecto seguido del tiempo de cocción, finalmente por una interacción de la temperatura con la concentración del hidróxido de sodio; Asencios (1991), obtuvo blancuras de 12.9 y 12.2 °Photovolt para pulpas sin blanquear de Lupuna y Huimba respectivamente, entonces la blancura de la pulpa la paja (*Stipa ichu L.*) supera en 67.83 y 69.57%, mientras que Rosales (1992), obtuvo blancuras 47.9 y 40 °Photovolt para pulpas de paja de arroz y de trigo, la blancura de la pulpa de la paja de arroz supera a la pulpa de la paja (*Stipa ichu L.*) en un 16.28%, mientras que la pulpa de la paja de trigo es superado en un 1% por la pulpa de la paja, estas comparaciones son con respecto al mayor grado de blancura, en el Anexo 21 se muestra los porcentajes de blancura para los diferentes tipos de papeles, en la cual a ninguno de estos valores alcanza nuestro resultado, la explicaciones es que estos valores ya son pulpas blanqueadas y como tal esta propiedad es de mejorar en la etapa del blanqueado de acuerdo a tipo de pulpa requerido.

4.2.2. Resultados del índice de rasgado de la pulpa formada de paja

La Tabla 23 muestra los resultados de la resistencia al rasgado como producto del efecto de las variables de temperatura de cocción 160 y 170 °C, tiempo de cocción de 45 y 75 minutos y la concentración del hidróxido de sodio 15 y 19%, en consecuencia se puede observar que el mayor resistencia al rasgado es 9.32 mN-m²/g, a una temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción 45 min; y a una concentración de hidróxido de sodio de 19% respectivamente y una resistencia al rasgado más bajo de todos los tratamientos es 6.08 mN-m²/g a una temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; ya una concentración de hidróxido de sodio de 19% respectivamente.

Tabla 23. Resultados del índice de rasgado.

Tratamiento	Temperatura de cocción (°C)	Tiempo de cocción (min.)	Hidróxido de sodio (%)	Índice de rasgado (mN-m ² /g)	
				Promedio	Desviación estándar
1	160	45	15	7.90	0.2615339
2	170	45	15	6.10	0.1040833
3	160	75	15	6.86	0.1021437
4	170	75	15	6.29	0.2787472
5	160	45	19	6.34	0.1824829
6	170	45	19	9.32	0.0404145
7	160	75	19	6.55	0.0493288
8	170	75	19	6.08	0.1115049

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 24, se encontró que el índice de rasgado de la pulpa formada de paja es influenciado por el tiempo de cocción (B) y la concentración del NaOH (C), así como también por el efecto interacción simple de temperatura x tiempo (A x B), temperatura x % de NaOH (A x C), tiempo x % de NaOH (B x C) y por el efecto interacción simple simple de temperatura x tiempo x % de NaOH (A x B x C). Mas no así el efecto principal temperatura (A), no ejerce ningún efecto sobre el índice de rasgado en la pulpa formada de paja al 95% de nivel de confianza.

Tabla 24. Análisis de Varianza para el índice de rasgado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TEMPERATURA	0.0063375	1	0.0063375	0.23	0.6355
B:TIEMPO	5.6357	1	5.6357	207.61	0.0000
C:NaOH	0.478837	1	0.478837	17.64	0.0007
AB	1.8426	1	1.8426	67.88	0.0000
AC	8.9426	1	8.9426	329.43	0.0000
BC	1.79854	1	1.79854	66.25	0.0000
ABC	8.2017	1	8.2017	302.13	0.0000
Error total	0.434333	16	0.0271458		
Total (corr.)	27.3407	23			

Al realizar el análisis de la interacción simple simple A x B x C presentado en la Tabla 25 se encontró que el índice de rasgado de la pulpa formada de paja es influenciado por las interacciones B 45 - C 15% en A; B 45 - C 19% en A, B 75 - C 15% en A; B 75 - C 19% en A; C 15% - A 160 en B; C 19% - A 170 en B; A 160 - B 45 en C; A 160 - B 75 en C y A 170 - B 45 en C, mientras que la interacción simple simple de C 15% - A 170 en B; C 19% - A 160 en B y A 170% - B 75 en C no ejercen ningún efecto sobre el índice de rasgado en la pulpa de paja al 95% de nivel de confianza, por tanto para las interacciones que tienen efectos rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) y para los que no ejercen ningún efecto sucede lo contrario.

Tabla 25. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para el índice de rasgado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
B 45 C 15% en A	4.8780166	1	4.8780166	123.13	0.0004
B 45 C 19% en A	13.290816	1	13.290816	760.92	0.0001
B 75 C 15% en A	0.4930666	1	0.4930666	11.19	0.0287
B 75 C 19% en A	0.3313500	1	0.3313500	44.58	0.0026
C 15% A 160 en B	1.6120166	1	1.6120166	40.90	0.0031
C 15% A 170 en B	0.0560666	1	0.0560666	1.27	0.3234
C 19% A 160 en B	0.0640666	1	0.0640666	3.59	0.1312
C 19% A 170 en B	15.746400	1	15.746400	2238.82	0.0001
A 160 B 45 en C	3.6504000	1	3.6504000	71.79	0.0011
A 160 B 75 en C	0.1504166	1	0.1504166	23.38	0.0084
A 170 B 45 en C	15.552600	1	15.552600	2495.07	0.0001
A 170 B 75 en C	0.0682666	1	0.0682666	1.51	0.2858

Al realizar las pruebas de comparación múltiple de medias LSD Fisher de A x B x C presentado en la Tabla 26, se determinó un índice de rasgado de 9.32 mN-m²/g a 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH, índice de rasgado mayor frente a los índices de rasgado obtenido en 160 °C, 45 min; 15% de NaOH; 160 °C, 75 min; 15% de NaOH; 160 °C, 75 min; 19% de NaOH; 160 °C, 45 min; 19% de NaOH; 170 °C, 75 min; 15% de NaOH; 170 °C, 45 min; 15% de NaOH y 170 °C, 75 min; 19% de NaOH cada uno con 7.9, 6.86, 6.55, 6.34, 6.29, 6.1 y 6.08 mN-m²/g para todos los casos al 95% de nivel de confianza.

Tabla 26. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para el índice de rasgado.

Test: LSD Fisher Alfa = 0.05 DMS = 0.28518 Error: 0.0271 gl: 16					
Temperatura	Tiempo	% NaOH	Índice de rasgado	E.E.	
170	45	19	9.32	0.1	a
160	45	15	7.9	0.1	b
160	75	15	6.86	0.1	c
160	75	19	6.55	0.1	d
160	45	19	6.34	0.1	d e
170	75	15	6.29	0.1	d e
170	45	15	6.1	0.1	e
170	75	19	6.08	0.1	e

4.2.2.1. Discusiones de la índice de rasgado de la pulpa formada de paja

En nuestra presente investigación el índice de rasgado va desde 6.08 a 9.32 mN-m²/g Vera, (2010) en su investigación encontró un índice de rasgado de 10.57 mN-m²/g en pulpa formada de bambú, el cual es superado nuestro resultado, uno de las razones es la condición del tratamiento que solo varia en el tiempo de cocción ya que el autor obtiene una resistencia al rasgado alto en un tiempo de cocción de 60 minutos y lo nuestro es a 45 minutos, pero a medida que el tiempo pasa a su nivel mayor en nuestra investigación, esta propiedad disminuye, es decir a parte de las variables de estudio que ejercen una influencia, existen otros factores como la unión de las fibras, el grado de refino, las condiciones de determinación de estas pruebas; lo que no sucede es con Abarca y Blanco, (2008) para pulpa formada de *Tectona grandis* obtiene un índice de rasgado de 3.9 mN-m²/g, esta diferencia se debe a que el autor obtuvo a una condición de temperatura de 160 °C, tiempo de cocción de 45 minutos y a una concentración de 7% de hidróxido de sodio, mientras que Ríos y Vesga, (2008), encontró valores de índice de rasgado de 7.66 y 8.38 mN-m²/g a una temperatura, tiempo y concentración de NaOH de 150 °C, 60 min; y 15% respectivamente y 8.38 mN-m²/g a una temperatura, tiempo y concentración de NaOH 160 °C, 90 min; y 15% para la pulpa formada de palma africana y afirma lo siguiente el efecto positivo del aumento de temperatura y del tiempo de cocción, condujo al incremento de las propiedades físico-mecánicas, nuestro resultado de esta propiedad es mayor dado que se trabajó a condiciones más altas en la cual ocurre

o se fomenta la limpieza de las fibras permitiendo mejorar la interacción y los enlaces interfibrilares, generando una pulpa más resistente. Estos valores obtenidos en nuestra investigación de acuerdo a la norma técnica peruana (Anexo 21), son superiores, el cual su uso es apto para cualquier tipo de papel excepto para el papel de sellado.

4.2.3. Resultados de longitud de rotura de la pulpa formada de paja

La Tabla 27 muestra los resultados de la longitud de rotura como producto del efecto de las variables de temperatura de cocción (160, 170 °C), tiempo de cocción (45, 75 minutos) y la concentración del hidróxido de sodio (15, 19%), en consecuencia se puede observar que la mayor longitud de rotura es 8404.67 m, y se tiene a una temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción de 45 min; y a una concentración de hidróxido de sodio del 15% respectivamente y una resistencia al rasgado más bajo de todos los tratamientos es 5939.00 m y sucede a una temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; y una alta concentración de hidróxido de sodio de 19% respectivamente.

Tabla 27. Resultados de la longitud de rotura.

Tratamiento	Temperatura de cocción (°C)	Tiempo de cocción (min.)	Hidróxido de sodio (%)	Longitud de rotura (m)	
				Promedio	Desviación estándar
1	160	45	15	8404.67	48.34597
2	170	45	15	7155.00	67.63874
3	160	75	15	7526.67	47.52192
4	170	75	15	7558.33	56.14564
5	160	45	19	7094.67	61.61439
6	170	45	19	6332.00	29.59729
7	160	75	19	7167.00	76.07890
8	170	75	19	5939.00	77.54353

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 28, se encontró que la longitud de rotura de la pulpa formada de paja es influenciado por la temperatura de cocción (A), tiempo de cocción (B) y la concentración del NaOH (C), así como también por el efecto interacción simple de temperatura x tiempo (A x B) y temperatura x % de NaOH (A x C), y por la interacción simple simple de temperatura x tiempo x % de NaOH (A x B x C). Mas no así el efecto de interacción

simple de tiempo de cocción x % de NaOH (B x C), no ejerce ningún efecto sobre la longitud de rotura en la pulpa formada de paja al 95% de nivel de confianza.

Tabla 28. Análisis de Varianza para la longitud de rotura.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TEMPERATURA	3.86083E6	1	3.86083E6	1072.59	0.0000
B:TIEMPO	237208.0	1	237208.0	65.90	0.0000
C:NaOH	6.3407E6	1	6.3407E6	1761.53	0.0000
AB	249696.0	1	249696.0	69.37	0.0000
AC	223880.0	1	223880.0	62.20	0.0000
BC	8893.5	1	8893.5	2.47	0.1355
ABC	1.14407E6	1	1.14407E6	317.84	0.0000
Error total	57592.7	16	3599.54		
Total (corr.)	1.21229E7	23			

Al realizar el análisis de varianza de la interacción simple simple A x B x C presentado en la Tabla 29 se encontró que la longitud de rotura de la pulpa formada de paja es influenciado por B 45 - C 15% en A; B 45 - C 19% en A; B 75 - C 19% en A; C 15% - A 160 en B; C 15% - A 170 en B; C 19% - A 170 en B; A 160 - B 45 en C; A 160 - B 75 en C; A 170 - B 45 en C y A 170 - B 75 en C, mientras que la interacción simple simple de B 75 - C 15% en A y C 19% - A 160 en B no ejercen ningún efecto sobre la longitud de rotura en la pulpa de paja al 95% de nivel de confianza, por tanto para las interacciones que tienen efectos rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) y para las interacciones que no tienen efecto sucede lo contrario.

Tabla 29. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para la longitud de rotura.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
B 45 C 15% en A	2342500.167	1	2342500.176	677.77	0.0001
B 45 C 19% en A	872490.6667	1	872490.6667	373.47	0.0001
B 75 C 15% en A	1504.166667	1	1504.166667	0.56	0.4973
B 75 C 19% en A	2261976.000	1	2261976.000	383.35	0.0001
C 15% A 160 en B	1156326.000	1	1156326.000	503.22	0.0001
C 15% A 170 en B	244016.6667	1	244016.6667	63.16	0.0014
C 19% A 160 en B	7848.166667	1	7848.166667	1.64	0.2698
C 19% A 170 en B	231673.5000	1	231673.5000	67.26	0.0012
A 160 B 45 en C	2574150.000	1	2574150.000	839.35	0.0001
A 160 B 75 en C	194040.1667	1	194040.1667	48.23	0.0023
A 170 B 45 en C	1015993.500	1	1015993.500	372.77	0.0001
A 170 B 75 en C	3933360.667	1	3933360.667	858.31	0.0001

Al realizar las pruebas de comparación múltiple de medias LSD Fisher de A x B x C presentado en la Tabla 30, se determinó una longitud de rotura de 8404.67 m a 160 °C, 45 min; 15% de NaOH longitud de rotura mayor frente a la longitud de rotura obtenido en 170°C, 75 min; 15% de NaOH; 160°C, 75 min; 15% de NaOH; 160°C, 75 min; 19% de NaOH; 170°C, 45 min; 15% de NaOH; y 160 °C, 45 min; 19% de NaOH; 170°C, 45 min; y 19% de NaOH y 170°C, 75 min; y 19% de NaOH cada uno con 7558.33, 7526.67, 7167.00, 7155.00, 7094.67, 6332.00 y 5939.00 respectivamente para todos los casos al 95% de nivel de confianza.

Tabla 30. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para la longitud de rotura.

Test: LSD Fisher Alfa = 0.05 DMS = 1.01861 Error: 0.3463 gl: 16					
Temperatura	Tiempo	% NaOH	Longitud de rotura	E.E.	
160	45	15	8404.67	34.64	a
170	75	15	7558.33	34.64	b
160	75	15	7526.67	34.64	b
160	75	19	7167.00	34.64	c
170	45	15	7155.00	34.64	c
160	45	19	7094.67	34.64	c
170	45	19	6332.00	34.64	d
170	75	19	5939.00	34.64	e

4.2.3.1. Discusiones de la longitud de rotura de la pulpa formada de paja

En nuestra presente investigación la longitud de rotura va desde 5939.00 a 8404.67 m, Abarca y Blanco, (2008) encontró un longitud de rotura de 3180 m para una pulpa formada de palma africana bajo las siguientes condiciones de temperatura, tiempo y concentración de NaOH que de 160 °C, 45 min; y 7% respectivamente, en comparación con nuestra investigación, nuestro resultado es muy superior y ni siquiera llega al valor mínimo obtenido en nuestra investigación, la explicación podría obedecer a lo siguiente, nuestras condiciones de pulpeo son muy parecidos pero la concentración del hidróxido es mayor y nuestra grafica de pareto (Anexo 8) muestra que el mayor efecto para esta propiedad lo ejerce la concentración del hidróxido de sodio seguido de la temperatura y tiempo de cocción, Ríos y Vesga, (2008) afirma que el efecto positivo del aumento de temperatura y del tiempo de cocción, conduce al incremento de las propiedades físico-mecánicas, además se podría afirmar a margen de las variables de estudio cada tipo de materia prima tiene propiedades físico-mecánicas distintas, mientras que Rosales, (1992) encontró valores de longitud de rotura de 4436 m para pulpa formada de la paja de arroz y 8011 m para pulpa formada de la paja de trigo y, Asencios, (1991), encontró una longitud de rotura de 6446 m para pulpa formada de Lupuna y 7422 m para Huimba, estos valores son muy cercanos al valor obtenido en nuestra investigación claro que haciendo una comparación con el mayor resultado de nuestra investigación, siendo así no es una pulpa mala ya que

la norma técnica peruana (Anexo 21) da los valores mínimos para diferentes tipos de papel en la que puedan ser utilizados, nuestro resultado es muy superior a estos valores, como tal es una muy buena pulpa formada.

4.2.4. Resultados de doblez pliegues de la pulpa formada de paja

La Tabla 31 muestra los resultados de la doblez pliegues como producto del efecto de las variables de temperatura de cocción de 160 y 170 °C, tiempo de cocción de 45 y 75 minutos y la concentración del hidróxido de sodio de 15 y 19%, en consecuencia se puede observar que la mejor doblez pliegues 559 #, se tiene a una temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción de 45 min; y a una concentración de hidróxido de sodio que son de 15% respectivamente y una doblez pliegues más bajo de todos los tratamientos es 41 # a una temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; y una alta concentración de hidróxido de sodio de 19% respectivamente.

Tabla 31. Resultados de la doblez pliegues.

Tratamiento	Temperatura de cocción (°C)	Tiempo de cocción (min.)	Hidróxido de sodio (%)	Dobleza pliegues (#)	
				Promedio	Desviación estándar
1	160	45	15	559	27.62245
2	170	45	15	216	10.81665
3	160	75	15	184	7.767453
4	170	75	15	358	15.17673
5	160	45	19	142	9.609023
6	170	45	19	41	7.023769
7	160	75	19	207	8.509400
8	170	75	19	47	11.13552

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 32, se encontró que la doblez pliegues de la pulpa formada de paja es influenciado por la temperatura de cocción (A), tiempo de cocción (B) y la concentración del NaOH (C), así como también por el efecto interacción simple de temperatura x tiempo (A x B), temperatura x % de NaOH (A x C) y tiempo x % de NaOH (B x C) y por el efecto interacción simple simple de temperatura x tiempo x % de NaOH (A x B x C) al 95% de nivel de confianza.

Tabla 32. Análisis de Varianza para la doblez pliegues.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TEMPERATURA	69015.4	1	69015.4	365.97	0.0000
B:TIEMPO	9801.04	1	9801.04	51.97	0.0000
C:NaOH	291060.	1	291060.	1543.40	0.0000
AB	78547.0	1	78547.0	416.51	0.0000
AC	3105.38	1	3105.38	16.47	0.0009
BC	34428.4	1	34428.4	182.56	0.0000
ABC	124560.	1	124560.	660.50	0.0000
Error total	3017.33	16	188.583		
Total (corr.)	613535.	23			

Al realizar el análisis de varianza de la interacción simple simple A x B x C presentado en la Tabla 33 se encontró que a estos niveles de análisis la doblez pliegues de la pulpa formada de paja es influenciado por B 45 - C 15% en A; B 45 - C 19% en A; B 75 - C 15% en A; B 75 - C 19% en A; C 15% - A 160 en B; C 15% - A 170 en B; C 19% - A 160 en B; A 160 - B 45 en C; A 160 - B 75 en C; A 170 - B 45 en C y A 170 - B 75 en C, mientras que la interacción simple simple de C 19% - A 170 en B no ejercen ningún efecto sobre la doblez pliegues en la pulpa formada de paja al 95% de nivel de confianza, por lo tanto para las interacciones que ejercen efectos rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) y para las interacciones que no ejercen efectos sucede lo contrario.

Tabla 33. Análisis de varianza del efecto interacción simple simple A x B x C para la doblez pliegues.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
B 45 C 15% en A	176473.5000	1	176473.5000	401.08	0.0001
B 45 C 19% en A	15100.16667	1	15100.16667	213.18	0.0001
B 75 C 15% en A	45414.00000	1	45414.00000	312.48	0.0001
B 75 C 19% en A	38240.16667	1	38240.16667	389.54	0.0001
C 15% A 160 en B	210562.6667	1	210562.6667	511.49	0.0001
C 15% A 170 en B	30388.16667	1	30388.16667	174.98	0.0002
C 19% A 160 en B	6337.500000	1	6337.500000	76.97	0.0009
C 19% A 170 en B	48.16666667	1	48.16666667	0.56	0.4974
A 160 B 45 en C	261250.6667	1	261250.6667	610.87	0.0001
A 160 B 75 en C	748.1666667	1	748.1666667	11.28	0.0283
A 170 B 45 en C	45762.66667	1	45762.66667	550.25	0.0001
A 170 B 75 en C	145392.6667	1	145392.6667	820.65	0.0001

Al realizar las pruebas de comparación múltiple de medias LSD Fisher de A x B x C presentado en la Tabla 34, se determinó una doblez pliegues de 559.00 # a 160°C, 45 min; 15 %NaOH doblez pliegues mayor frente a los doblez pliegues obtenido en 170 °C, 75 min; 15 %NaOH; 170 °C, 45 min; 15 %NaOH; 160 °C, 75 min; 19 %NaOH; 160 °C, 75 min; 15%NaOH; 160 °C, 45 min; 19%NaOH; 170 °C, 75 min; 19 %NaOH y 170 °C, 45 min; 19 %NaOH cada uno con 358.33, 216, 206.67, 184.33, 141.67, 47 y 41.33 # respectivamente para todos los casos al 95% de nivel de confianza.

Tabla 34. Prueba de comparaciones múltiples LSD Fisher para la doblez pliegues.

Test: LSD Fisher Alfa = 0.05 DMS = 23.76963 Error: 188.5833 gl: 16					
Temperatura	Tiempo	% NaOH	Dobleza pliegues	E.E.	
160	45	15	559.00	7.93	a
170	75	15	358.33	7.93	b
170	45	15	216.00	7.93	c
160	75	19	206.67	7.93	c d
160	75	15	184.33	7.93	d
160	45	19	141.67	7.93	e
170	75	19	47.00	7.93	f
170	45	19	41.33	7.93	f

4.2.4.1. Discusiones de la doblez pliegues de la pulpa formada de paja

En nuestra presente investigación la doblez pliegues va desde 41 a 559 #, de mayor a menor efecto se da en el orden siguiente el efecto de la concentración del hidróxido de sodio; la triple interacción entre la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio; el efecto de la interacción de la temperatura y tiempo de cocción; el efecto de la temperatura de cocción; el efecto de interacción del tiempo con la concentración del hidróxido de sodio; el efecto del tiempo de cocción y finalmente el menor efecto tiene la interacción de la temperatura de cocción y la concentración del hidróxido de sodio, Rojas y Gomez, (2004), encontró valores de doblez pliegues que va desde 242 a 270 # a una de temperatura de 160 °C , tiempos de cocción de 90 y 60 minutos y a una concentración de álcali activo de 22%, estos valores frente a lo nuestro están en ese rango pero en comparación entre valores máximos nuestro resultado es muy superior, la explicación podría deberse a que el tiempo y la concentración del álcali activo son distintos y además de los factores estudiados hay otros que afectan como por ejemplo la humedad relativa, la especie de la materia prima, etc; Rosales, (1992) reporta valores de doblez pliegues de 42 # para una pulpa formada de la paja de arroz, mientras que para la pulpa formada de la paja de trigo 258 # y Asencios, (1991) reporta valores de doblez pliegues de 218 # para una pulpa formada de Lupuna y 848 # para una pulpa de Huimba, estos valores frente a lo nuestro están dentro de ese rango y la NTP (Anexo 21) da los valores del número de doblez pliegues para diferentes tipos de papeles, en consecuencia la pulpa formada de la paja (*Stipa ichu L.*) es apto para cualquier tipo de papel.

CONCLUSIONES

- ✓ El estudio de la determinación del efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*), demuestran que el factor de la temperatura de cocción, tiempo de cocción y la concentración de hidróxido de sodio de tienen efecto estadístico en el rendimiento en pulpa, mientras que sobre las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*) los factores que ejercen efectos estadísticos es como sigue: para la blancura lo ejercen la temperatura de cocción y la concentración del hidróxido de sodio, en esta propiedad el tiempo de cocción no ejerce ningún efecto, en el índice de rasgado, la longitud de rotura y en la doblez pliegues lo ejercen los tres factores que son la temperatura de cocción, tiempo de cocción y la concentración de hidróxido de sodio.
- ✓ Se determinó que el mayor rendimiento en pulpa de paja (*Stipa ichu L.*) es de 38.22% bajo el efecto del factor de temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; y la concentración de hidróxido de sodio en 15%, mientras que se determinó un rendimiento más bajo de la investigación de 30.17% a temperatura y tiempo de cocción de 160 °C y 45 min; y a una concentración de hidróxido de sodio al 19%.
- ✓ Se determinó que sobre las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*) para el grado de blancura el factor temperatura de cocción y la concentración de hidróxido de sodio tienen efecto estadístico, y el mayor grado de blancura obtenido es 39.62 ° Photovolt a 170 °C y 19% de NaOH, para el índice de rasgado el factor de temperatura de cocción, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio tienen efecto estadístico y el mayor índice de rasgado obtenido es 9.32 mN-m²/g a 170 °C, 45 min; y 19% de NaOH, para la longitud de rotura el factor de temperatura de cocción, tiempo de cocción; y la concentración del hidróxido de sodio tienen efecto estadístico y la mayor longitud de rotura obtenida es 8404.67 m a 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH, finalmente en la doblez pliegues el factor de temperatura de cocción, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio tienen efecto estadístico, y la mejor doblez pliegues obtenido es 559 # a 160 °C, 45 min; y 15% de NaOH.

- ✓ Se determinó que las variables óptimas de la investigación en la región experimental para el rendimiento en pulpa de paja (*Stipa ichu L.*) es a temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 minutos y concentración de hidróxido de sodio de 15%; para el grado de blancura es a temperatura de cocción de 170 °C y una concentración de hidróxido de sodio al 19%; para el índice de rasgado es a temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 45 minutos y concentración de hidróxido de sodio al 19%; para la longitud de rotura es a temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción de 45 minutos y concentración de hidróxido de sodio al 15% y finalmente para la doblez pliegues es a temperatura de cocción de 160 °C, tiempo de cocción de 45 minutos y concentración de hidróxido de sodio al 15%.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar más investigaciones con otros procesos químicos como por ejemplo proceso químico a la soda, sulfato, sulfito ácido, bisulfito y también con procesos mecánicos.
- ✓ Trabajar con concentraciones de hidróxido de sodio superiores al 19% e inferiores al 15% y si es posible entre esos rangos de manera gradual para ver los efectos en el rendimiento en pulpa y propiedades físico-mecánicas.
- ✓ Trabajar con tiempos de cocción a temperatura máxima superiores a los 45 minutos de manera que estos datos no sean muy lejanos.
- ✓ Trabajar con temperaturas de cocción desde los 140 °C hasta los 200 °C para poder encontrar una temperatura óptima de digestión porque la materia prima utilizada en esta investigación es nueva.
- ✓ Realizar un estudio bajo estas variables hasta poder llegar a la etapa del blanqueamiento, esto con el fin de dar una continuidad a la presente investigación.
- ✓ Realizar determinar las demás propiedades de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*) tales como: lisura, biodegradabilidad, brillo, envejecimiento, índice de explosión y porosidad.
- ✓ Realizar investigaciones con otras variedades de paja para ver los rendimientos en pulpa y comparar sus propiedades físico-mecánicas.
- ✓ Realizar el estudio de la disponibilidad de la materia, capacidad de regeneración, producción en toneladas por hectárea, estas investigaciones deberían ser hechas por los profesionales como biólogos, botánicos, ambientalistas, etc.
- ✓ Realizar investigaciones en la composición química de las diferentes especies de paja y en la familia de las poaceas.
- ✓ Los profesionales como biólogos, botánicos y otros profesionales orientados a la línea ambiental deben trabajar en crianza, cultivo, manejo de las diferentes especies de paja y del impacto ambiental de la industria pulpa y papel.
- ✓ De acuerdo a la presente investigación se recomienda que con la pulpa de paja se puede aspirar a producir diferentes tipos de papeles tales como: papel periódico, papel bond, papel manifold (copia), papel para caratula liviana (cuadernos) porque de acuerdo a las exigencias mínimas de pruebas físico-mecánicas para diferentes tipos de papel cumple.

SUGERENCIAS

- ✓ Se sugiere realizar el estudio fenológico del ichu en sus diferentes especies en la provincia de Andahuaylas y en la región de Apurímac.
- ✓ Se sugiere antes de determinar alguna propiedad de la pulpa formada, el equipo con la que se trabaje, debe de funcionar mínimamente de 3 a 5 minutos antes de iniciar con la operación.
- ✓ Para realizar investigaciones en pulpa y papel, se sugiere que se debe determinar la humedad mayor a tres veces, ya que de esta dependen los posteriores cálculos como por ejemplo la cantidad de reactivos a utilizar en la cocción, determinación del rendimiento y otros.
- ✓ Se sugiere controlar de manera permanente el digestor, no basta con programar y dejarlo debido a que puede ocurrir alguna situación inesperada por ejemplo corte de energía eléctrica, falla del termostato, barómetro, etc.
- ✓ Realizar determinaciones de las demás propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja como por ejemplo: índice de reventamiento, permeabilidad gurley, lisura gurley y envejecimiento de la pulpa formada.
- ✓ Se sugiere que las probetas de las pulpas formadas para la determinación de las propiedades físico-mecánicas deben ser manipuladas mínimamente y de preferencia de los filos o bordes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abarca, E. R., & Blanco, R. M. (2008). Obtencion de pulpa a la soda antraquinona de tectona grandis creciendo en Costa Rica. *Ingenieria*, 18(1-2), 94, 98.
- Albarracin, K., Jaramillo, L., & Albuja, M. (2015). Obtencion de bioetanol anhidro a partir de paja (Stipa Ichu). *Revista Politecnica*, 36(2), 1.
- Asencios, T. V. (1991). *Obtencion de pulpa al sulfato, con y sin Antraquinona (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Peru.
- Beltran, A. M. (1996). *Obtencion para carton de la madera y corteza de Eucalyptus globulus labill (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Peru.
- Bueno, Z. J. (1978). *Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricacion de pulpa para papel*. Lima -Peru: Universidad Nacional Agraria La Molina - Ministerio de Industria, Comercio Turismo e Integracion.
- Caceres, R. H. (1983). Produccion y evaluacion de pulpas celulosicas a partir de diferentes especies de bambu. *ABTCP*, 4(XVI), 1027 - 1041.
- Cadena, C. E. (2008). *Estudio del refinado de pastas de papel utilizando metodos Biotecnologicos (Enzimas) (Tesis doctoral)*. Universidad Politecnica de Cataluña, Terrasca - España.
- Chemicalsafetyfacts. (2017). *Hidroxido de sodio: American Chemistry Council*. Obtenido de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/hidroxido-de-sodio/>
- Conceptodefinicion. (2015). *Temperatura: Venemedia copyright*. Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/temperatura/>
- Condori, Q. D. (2010). *Evaluacion de las propiedades fisicas quimicas y opticas del tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora (Schoenoplectus tatora)*. Universidad Nacional del Altiplano: Puno - Peru.
- Dick, W. V. (2014). *Caracterizacion y evaluacion de fibras de Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Sojak para la produccion de papeles (Tesis de maestria)*. Universidad de federal de Santa Maria : Santa Maria, RS - BRASIL.
- Dueñas, L. H. (2017). *Certificacion de identificacion de especimenes vegetales* *Direccion general de forestal y fauna silvestre*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco: Cusco - Peru.

- Fernandez, E. A. (2008). *Estudio de pre factibilidad para la producción y comercialización de papel a partir de eucalipto (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima - Perú.
- Gutierrez, P. H., & De La Vara, S. R. (2008). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS*. MEXICO: McGrawHill.
- Hurtado, J. (2016). *Ichu - Stipa ichu: Blogspot copyrighth*. Obtenido de <http://animalesyplantasdeperu.blogspot.pe/2016/02/ichu-stipa-ichu.html>
- IRNAS, I. d. (2005). *Informe del estudio sistemático de la composición química de la fibra de la planta de curauá (ananas ertifolius) y su evolución durante el proceso de cocción a la soda - AQ*. Obtenido de <http://www.us.edu.es/publicacioninforme/planta/curaua/procesosoda-AQ/>
- Keefe, A., & Teschke, K. (2000). Industria del papel y de la pasta de papel: Importancia económica. *Sectores basados en recursos biológicos*, 72(5), 5.
- Knight, P. (1994). Problemas y progresos en la industria mundial del papel. *Ambiente y Desarrollo*, 10(10), 10.
- Leon, N. C., & Fuentes, M. M. (2012). *Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala de laboratorio usando peróxido de hidrógeno (Tesis de pregrado)*. Universidad de Cartagena, Cartagena - Colombia.
- Libby, E. (1976). *Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel*. Mexico: Continental, Tomo II.
- Marques, S. G. (2010). *Valoración de diferentes cultivos lignocelulósicos para la fabricación de pasta de papel: Caracterización química, modificación estructural de sus constituyentes orgánicos durante los procesos de cocción y blanqueo y aplicaciones biotecnológicas (tesis)*. Universidad de Sevilla, Sevilla - España.
- Mendoza, P. S. (2008). *Evaluación de la digestibilidad aparente de dietas en base a forrajes nativos (Festuca Dolichophylla, Stipa Ichu, Calamagrostis sp.) y alfalfa (Medicago Sativa) por dos métodos in vivo en ovinos criollos (Ovis aries) (Tesis de pregrado)*. Universidad Mayor De San Andrés, La Paz - Bolivia.
- Muro, S. J. (2005). *Efecto de la concentración de antraquinona en el rendimiento de pulpa papelera y caracterización físico química de papel obtenido de*

- fibra de bagazo de caña (saccharum officinarum) (Tesis de pregrado).*
Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - peru.
- Perez, P. J., & Merino, M. (2008). *Tiempo: Copyright.* Obtenido de <https://definicion.de/tiempo/>
- Pochteca. (2002). Boletín Informativo para la industria de las artes gráficas. *Union de Industriales Litografos de Mexico*, 22-25.
- Quintana, M. J. (2011). *Uso de la antraquinona en cocción kraft de Eucalyptus globulus y Eucalyptus nitens (Tesis de maestría).* Universidad Federal de Vicosa, Minas Gerais - Brasil.
- Ríos, M. S., & Vesga, R. S. (2008). *Obtención y evaluación de pulpa a partir de raquis de la palma africana mediante los procesos de soda y soda - antraquinona (Tesis de pregrado).* Universidad de Santander, Bucaramanga.
- Rodriguez, G. I. (2006). *Caracterización química de fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad (Tesis doctoral).* Universidad de Sevilla, Sevilla - España.
- Rojas, M. E., & Gomez, B. D. (2004). *Obtención y evaluación de pulpas semiquímicas al sulfito neutro a partir de la hoja de palma africana (Tesis de pregrado).* Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Rosales, P. J. (1992). *Pulpa Química a la Soda de Paja de Arroz (oryza sativa L.) Var. Naylamp y Paja de Trigo (Triticum aestivum L.) Var. Ollanta (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Peru.
- Saldívar, C. V. (2005). *Estudio de tres variables en la obtención de pulpa celulósica, con proceso de alto rendimiento, a partir del tallo de arroz (Oryza sativa L.) (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Peru.
- Tapia, B. D. (2005). *Propiedades del licor bajo la influencia de la carga y formulación de antraquinona en pulpage kraft (Tesis de pregrado).* Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile.
- TAPPI T 205-sp, T. (1995). *Forming handsheets for physical tests of pulp.*
- TAPPI T 227-om, T. (1994). *Freeness of pulp (Canadian standard method).*
- TAPPI T 248-sp, T. (2000). *Laboratory beating of pulp (PFI mill method).*
- TAPPI T 402-om, T. (1993). *Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products.*

- TAPPI T 404-cm, T. (1992). *Tensile breaking strength and elongation of paper and paperboard (using pendulum-type tester)*.
- TAPPI T 414-om, T. (1998). *Internal tearing resistance of paper (Elmendorf-type method)*.
- TAPPI T 452-om, T. (1998). *Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm)*.
- TAPPI T 511-om, T. (1996). *Folding endurance of paper (MIT tester)*.
- UNALM. (2017). *Universidad Nacional Agraria La Molina - Laboratorio de pulpa y papel*. Lima - Peru: Departamento Academico de Ciencias Forestales.
- Vera, F. M. (2010). *Evaluacion de dos procesos de pulpeo soda-antraquinona y bisulfito-base magnesio para Bambu (Tesis de maestria)*. Paracicaba - Brasil: Universidad de Sao Paulo - Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Quieroz".
- Veroes, Y. (2004). *Evaluación del bagazo de cocuy (Agave cocui trelease), como materia prima para la elaboración de pulpa para papel (Tesis de maestría)*. Universidad del Zulia, Maracaibo - Venezuela.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico del material vegetal paja (*Stipa ichu* L.).



LEYENDA:

- 1: Culmo de Paja (*Stipa ichu* L.).
- 2: Floración de la Paja (*Stipa ichu* L.).
- 3: Puesta de puntos (coordenadas).

Anexo 2. Panel fotográfico de la parte experimental del acondicionamiento de la paja.



LEYENDA:

- 1: Chipeado de la paja (*Stipa ichu* L.) en 3 centímetros aproximadamente.
- 2: Homogeneizado de la paja (*Stipa ichu* L.) chipeado.
- 3: Pesado de la paja (*Stipa Ichu* L.).
- 4: Hidratación de la paja (*Stipa ichu* L.) chipeado.

Anexo 3. Panel fotográfico de la parte experimental de digestión y formado de la pulpa de paja.



LEYENDA:

- 1: Cocción o digestión de la paja (*Stipa ichu* L.).
- 2: Pulpas obtenidas de la paja (*Stipa ichu* L.).
- 3: Formado de la pulpa de la paja (*Stipa ichu* L.).
- 4: Pulpas formadas de la paja (*Stipa ichu* L.) en el ambiente controlado.

Anexo 4. Panel fotográfico de la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja.

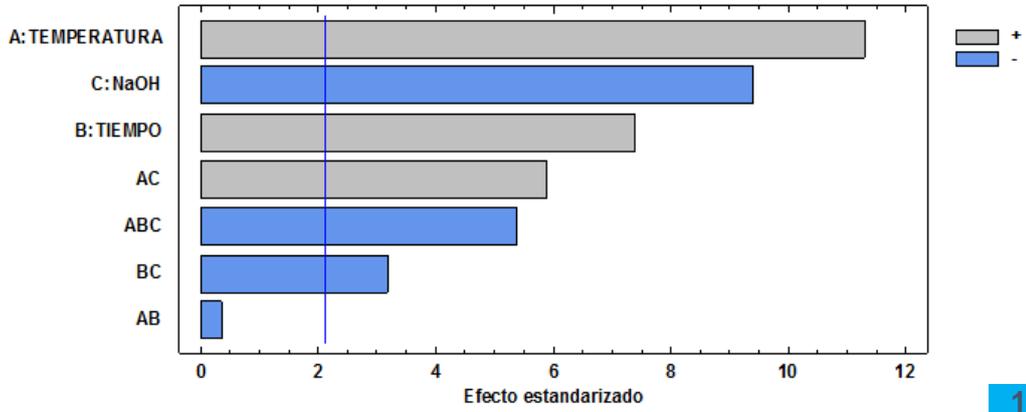


LEYENDA:

- 1: Determinación del grado de blancura.
- 2: Determinación del índice de rasgado.
- 3: Determinación de la longitud rotura.
- 4: Determinación de la doblez pliegues.

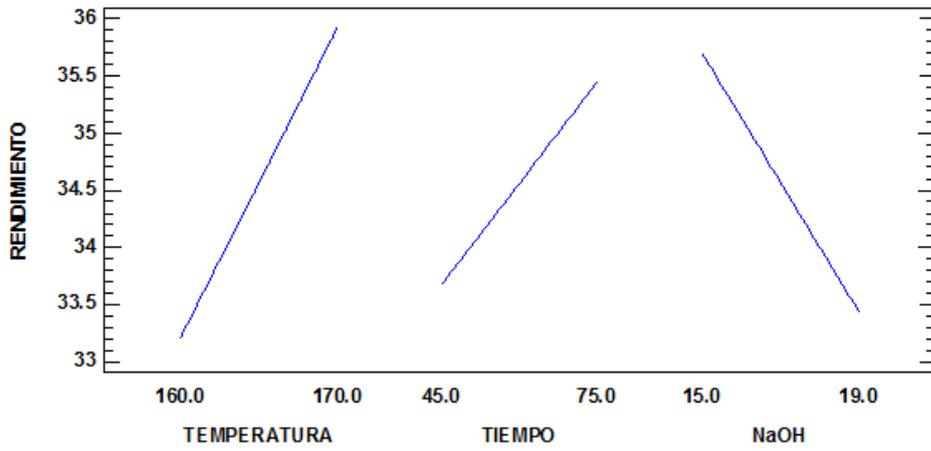
Anexo 5. Análisis estadístico de datos para rendimiento en pulpa de la paja.

Diagrama de Pareto Estandarizada para RENDIMIENTO



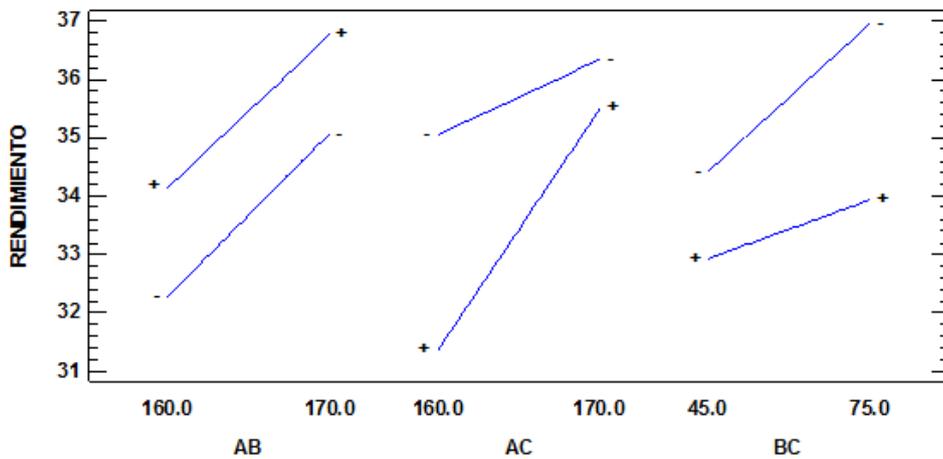
1

Gráfica de Efectos Principales para RENDIMIENTO



2

Gráfica de Interacción para RENDIMIENTO



3

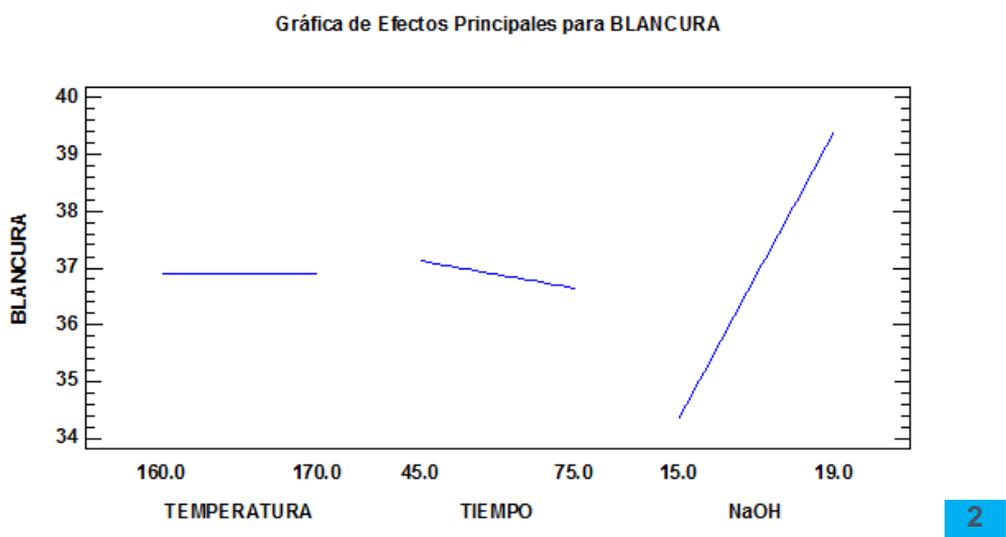
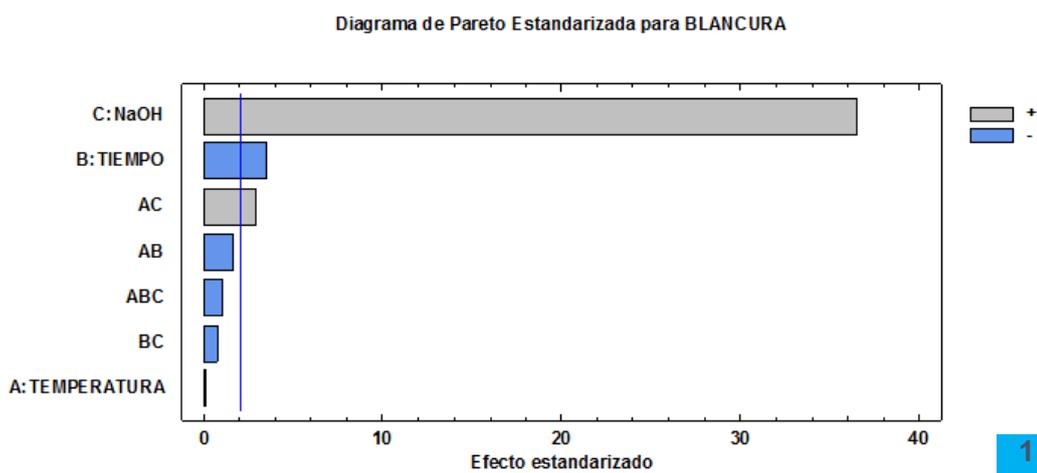
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	170.0
Tiempo	45.0	75.0	75.0
NaOH	15.0	19.0	15.0
Valor óptimo			0.382221

4

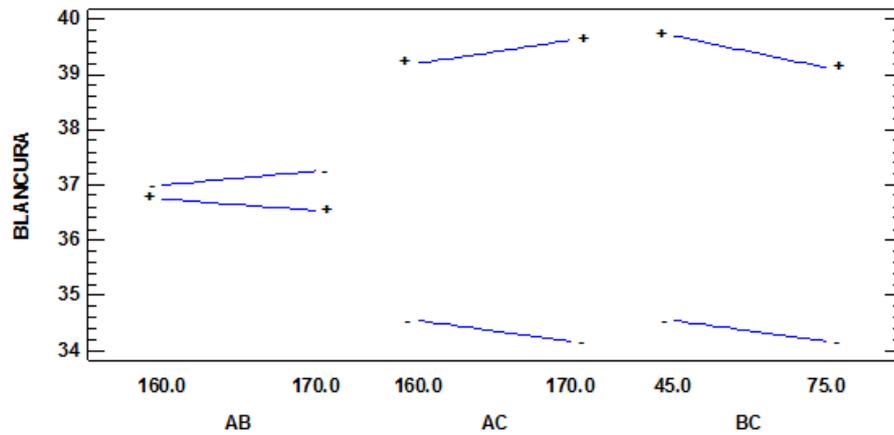
Leyenda:

- 1: Diagrama de Pareto del rendimiento en pulpa de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 2: Grafica de efectos principales del rendimiento en pulpa de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 3: Grafica de interacción del rendimiento en pulpa de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 4: Tratamiento óptimo del rendimiento en pulpa de la paja (*Stipa ichu L.*).

Anexo 6. Análisis estadístico de datos para grado de blancura de la pulpa formada de la paja.



Gráfica de Interacción para BLANCURA



3

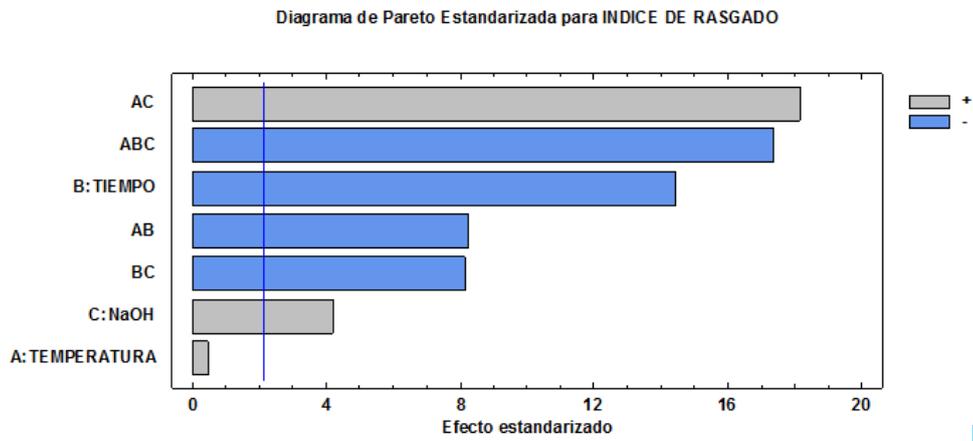
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	170.0
Tiempo	45.0	75.0	45.0
NaOH	15.0	19.0	19.0
Valor óptimo	40.1		

4

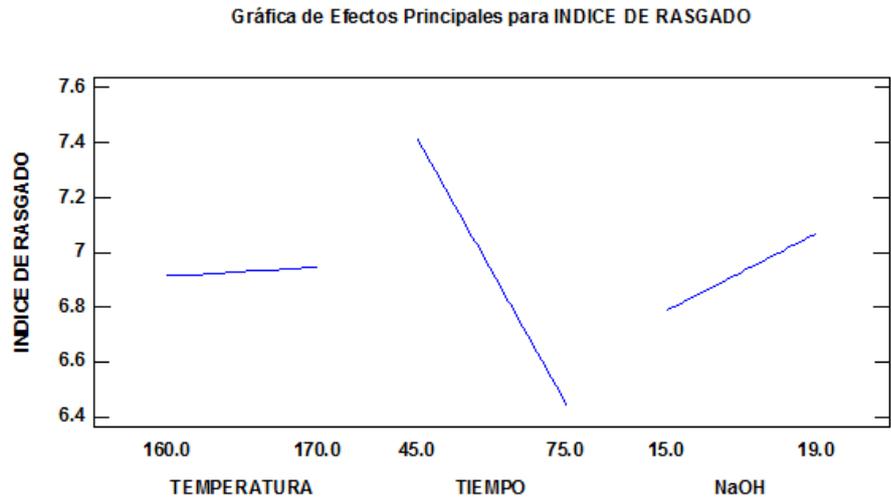
Leyenda:

- 1: Diagrama de Pareto del grado de blancura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).
- 2: Gráfica de efectos principales del grado de blancura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).
- 3: Gráfica de interacción del grado de blancura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).
- 4: Tratamiento óptimo del grado de blancura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

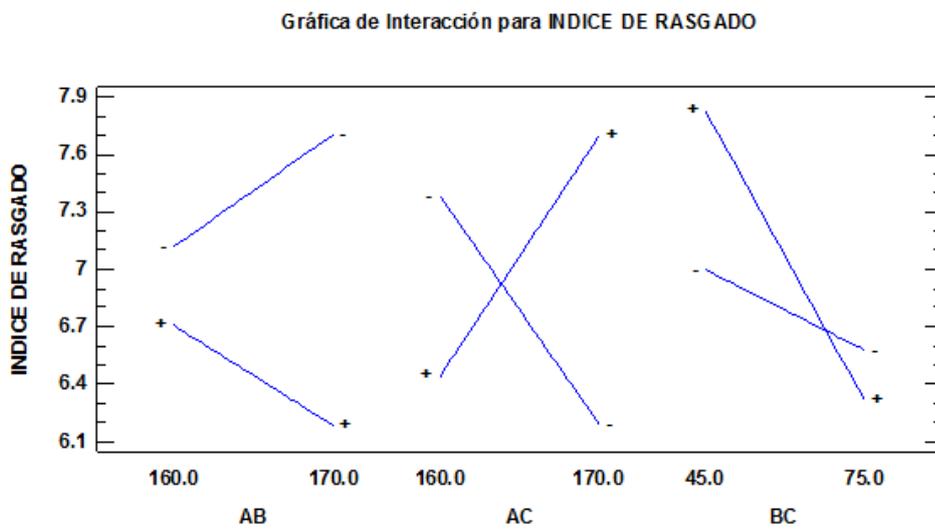
Anexo 7. Análisis estadístico de datos para resistencia al rasgado de pulpa formada de la paja.



1



2



3

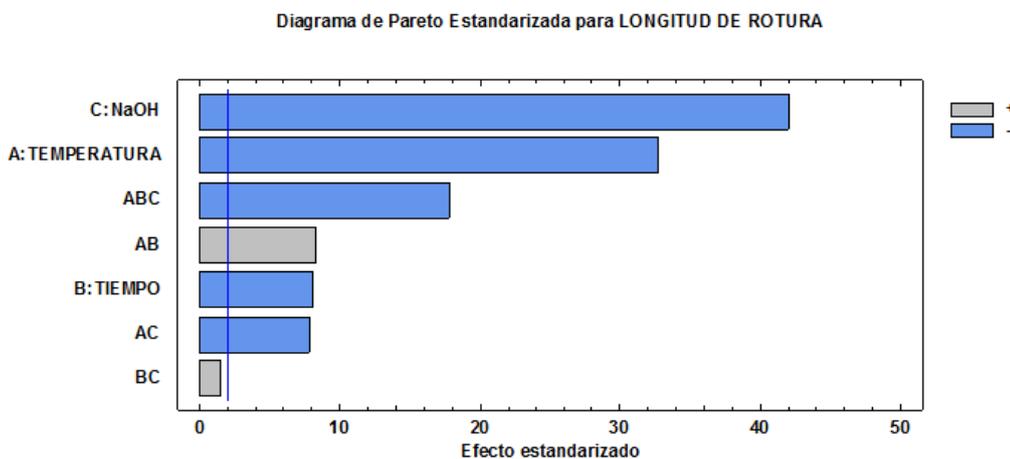
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	170.0
Tiempo	45.0	75.0	45.0
NaOH	15.0	19.0	19.0
Valor óptimo			9.32

4

Leyenda:

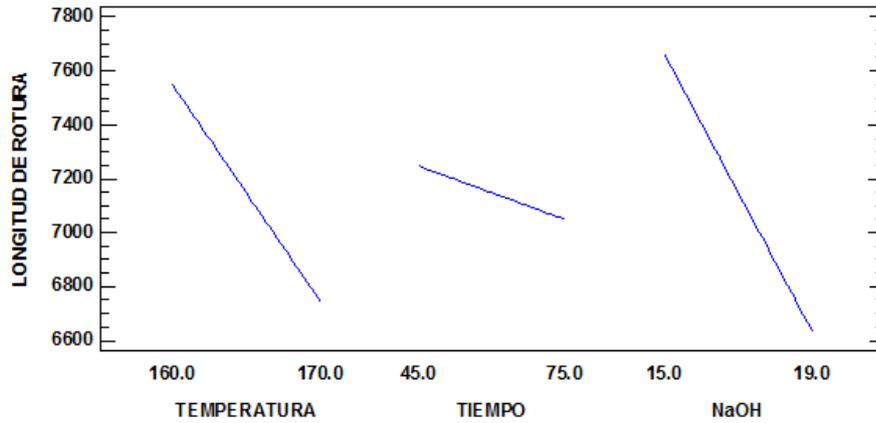
- 1: Diagrama de pareto de índice de rasgado en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).
- 2: Grafica de efectos principales de índice de rasgado en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).
- 3: Grafica de interacción de índice de rasgado en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).
- 4: Tratamiento óptimo de índice de rasgado en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Anexo 8. Análisis estadístico de datos para longitud de rotura de pulpa formada de la paja.



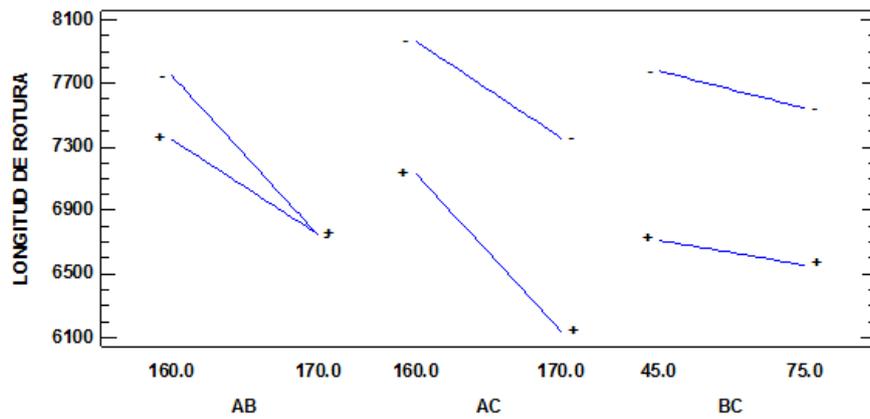
1

Gráfica de Efectos Principales para LONGITUD DE ROTURA



2

Gráfica de Interacción para LONGITUD DE ROTURA



3

Factor	Bajo	Alto	Óptimo	
Temperatura	160.0	170.0	160.0	
Tiempo	45.0	75.0	45.0	
NaOH	15.0	19.0	15.0	
Valor óptimo				8404.67

4

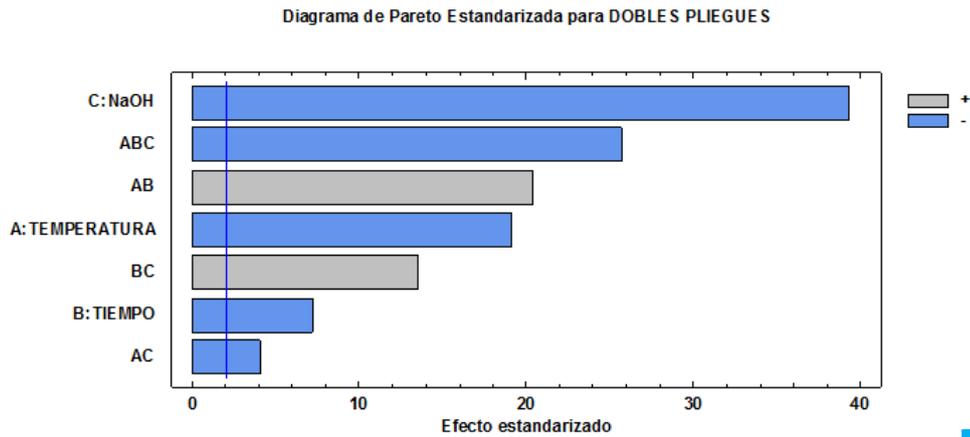
Leyenda:

- 1: Diagrama de Pareto de longitud de rotura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).
- 2: Gráfica de efectos principales mejorado de longitud de rotura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

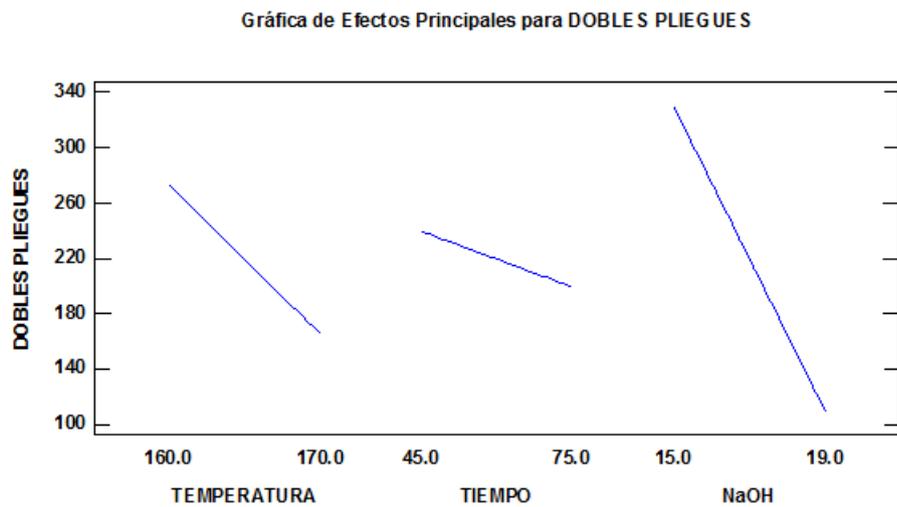
3: Grafica de interacción de longitud de rotura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

4: Tratamiento óptimo de longitud de rotura en pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*).

Anexo 9. Análisis estadístico de datos para doblez pliegues de pulpa formada de la paja.

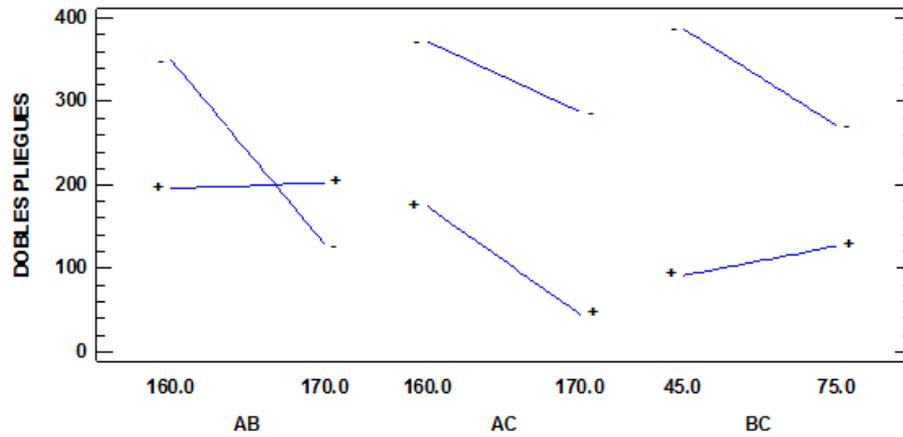


1



2

Gráfica de Interacción para DOBLES PLEGUES



3

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	160.0
Tiempo	45.0	75.0	45.0
NaOH	15.0	19.0	15.0
Valor óptimo	559.0		

4

Leyenda:

- 1: Diagrama de Pareto de doblez pliegues en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).
- 2: Gráfica de efectos principales de doblez pliegues en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).
- 3: Gráfica de interacción de doblez pliegues en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).
- 4: Tratamiento óptimo de doblez pliegues en pulpa formada de paja (*Stipa ichu* L.).

Anexo 10. Anova de interacción simple simple (A x B x C) para rendimiento en pulpa de paja.

INTERACCIONES DE TEMP EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=45 NAOH=15 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.01041667	0.01041667	0.03	0.8754	
Error	4	1.49233333	0.37308333			
Corrected Total	5	1.50275000				
		R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
		0.006932	1.774308	0.610805	34.42500	

INTERACCIONES DE TEMP EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=45 NAOH=19 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	45.54015000	45.54015000	676.34	<.0001	
Error	4	0.26933333	0.06733333			
Corrected Total	5	45.80948333				
		R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
		0.994121	0.788035	0.259487	32.92833	

INTERACCIONES DE TEMP EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=75 NAOH=15 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	9.40001667	9.40001667	17.30	0.0142	
Error	4	2.17346667	0.54336667			
Corrected Total	5	11.57348333				
		R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
		0.812203	1.993961	0.737134	36.96833	

INTERACCIONES DE TEMP EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=75 NAOH=19 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	11.37126667	11.37126667	28.32	0.0060	
Error	4	1.60593333	0.40148333			
Corrected Total	5	12.97720000				
		R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
		0.876250	1.866904	0.633627	33.94000	

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=15 TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	2.66666667	2.66666667	4.27	0.1076	
Error	4	2.49613333	0.62403333			
Corrected Total	5	5.16280000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.516516	2.253803	0.789958	35.05000		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=15 TEN=170 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	21.13126667	21.13126667	72.26	0.0011	
Error	4	1.16966667	0.29241667			
Corrected Total	5	22.30093333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.947551	1.487909	0.540756	36.34333		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=19 TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	8.56815000	8.56815000	72.65	0.0010	
Error	4	0.47173333	0.11793333			
Corrected Total	5	9.03988333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.947816	1.094780	0.343414	31.36833		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=19 TEN=170 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.20166667	0.20166667	0.57	0.4906	
Error	4	1.40353333	0.35088333			
Corrected Total	5	1.60520000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.125633	1.668603	0.592354	35.50000		

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=160 TIEMP=45 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	26.58615000	26.58615000	104.14	0.0005	
Error	4	1.02113333	0.25528333			
Corrected Total	5	27.60728333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.963012	1.565309	0.505256	32.27833		

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=160 TIEMP=75 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	14.91526667	14.91526667	30.65	0.0052	
Error	4	1.94673333	0.48668333			
Corrected Total	5	16.86200000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.884549	2.043430	0.697627	34.14000		

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=170 TIEMP=45 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	2.22041667	2.22041667	11.99	0.0257	
Error	4	0.74053333	0.18513333			
Corrected Total	5	2.96095000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.749900	1.226718	0.430271	35.07500		

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=170 TIEMP=75 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	12.64401667	12.64401667	27.60	0.0063	
Error	4	1.83266667	0.45816667			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.873406	1.840932	0.676880	36.76833		

Anexo 11. Anova de interacción simple (A x C) para blancura de la pulpa formada de paja.

EFECTOS SIMPLES PARA LA INTERACCION TEN*NAOH						
----- NAOH=15 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: BLAN						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.44083333	0.44083333	2.71	0.1309	
Error	10	1.62833333	0.16283333			
Corrected Total	11	2.06916667				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	BLAN Mean		
	0.213049	1.174464	0.403526	34.35833		

EFECTOS SIMPLES PARA LA INTERACCION TEN*NAOH						
----- NAOH=19 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: BLAN						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.52083333	0.52083333	2.45	0.1488	
Error	10	2.12833333	0.21283333			
Corrected Total	11	2.64916667				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	BLAN Mean		
	0.196603	1.170663	0.461339	39.40833		

EFECTOS SIMPLES PARA LA INTERACCION TEN*NAOH						
----- TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: BLAN						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	64.86750000	64.86750000	561.62	<.0001	
Error	10	1.15500000	0.11550000			
Corrected Total	11	66.02250000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	BLAN Mean		
	0.982506	0.921635	0.339853	36.87500		

EFECTOS SIMPLES PARA LA INTERACCION TEN*NAOH					
----- TIENP=170 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: BLAN					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	89.10750000	89.10750000	342.50	<.0001
Error	10	2.60166667	0.26016667		
Corrected Total	11	91.70916667			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	BLAN Mean	
	0.971631	1.382603	0.510065	36.89167	

Anexo 12. Anova de interacción simple (A x B x C) para índice de rasgado de la pulpa formada de paja.

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=45 NAOH=15 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	4.87801667	4.87801667	123.13	0.0004
Error	4	0.15846667	0.03961667		
Corrected Total	5	5.03648333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.968536	2.844097	0.199039	6.998333	

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=45 NAOH=19 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	13.29081667	13.29081667	760.92	<.0001
Error	4	0.06986667	0.01746667		
Corrected Total	5	13.36068333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.994771	1.688246	0.132162	7.828333	

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=75 NAOH=15 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.49306667	0.49306667	11.19	0.0287
Error	4	0.17626667	0.04406667		
Corrected Total	5	0.66933333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.736653	3.191900	0.209921	6.576667	

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=75 NAOH=19 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: IR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.33135000	0.33135000	44.58	0.0026	
Error	4	0.02973333	0.00743333			
Corrected Total	5	0.36108333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean		
	0.917655	1.365991	0.086217	6.311667		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=15 TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: IR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	1.61201667	1.61201667	40.90	0.0031	
Error	4	0.15766667	0.03941667			
Corrected Total	5	1.76968333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean		
	0.910907	2.689587	0.198536	7.381667		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=15 TEN=170 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: IR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.05606667	0.05606667	1.27	0.3234	
Error	4	0.17706667	0.04426667			
Corrected Total	5	0.23313333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean		
	0.240492	3.397144	0.210396	6.193333		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=19 TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: IR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	0.06406667	0.06406667	3.59	0.1312	
Error	4	0.07146667	0.01786667			
Corrected Total	5	0.13553333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean		
	0.472700	2.074489	0.133666	6.443333		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH					
----- NAOH=19 TEN=170 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	15.74640000	15.74640000	2238.82	<.0001
Error	4	0.02813333	0.00703333		
Corrected Total	5	15.77453333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.998217	1.089627	0.083865	7.696667	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=160 TIEMP=45 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	3.65040000	3.65040000	71.79	0.0011
Error	4	0.20340000	0.05085000		
Corrected Total	5	3.85380000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.947221	3.167127	0.225499	7.120000	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=160 TIEMP=75 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.15041667	0.15041667	23.38	0.0084
Error	4	0.02573333	0.00643333		
Corrected Total	5	0.17615000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.853912	1.196243	0.080208	6.705000	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=170 TIEMP=45 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	15.55260000	15.55260000	2495.07	<.0001
Error	4	0.02493333	0.00623333		
Corrected Total	5	15.57753333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.998399	1.024457	0.078951	7.706667	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=170 TIEMP=75 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: IR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.06826667	0.06826667	1.51	0.2858
Error	4	0.18026667	0.04506667		
Corrected Total	5	0.24853333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	IR Mean	
	0.274678	3.433247	0.212289	6.183333	

Anexo 13. Anova de interacción simple simple (A x B x C) para la longitud de rotura de la pulpa formada de paja.

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=45 NAOH=15 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	2342500.167	2342500.167	677.77	<.0001
Error	4	13824.667	3456.167		
Corrected Total	5	2356324.833			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.994133	0.755661	58.78917	7779.833	

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=45 NAOH=19 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	872490.6667	872490.6667	373.47	<.0001
Error	4	9344.6667	2336.1667		
Corrected Total	5	881835.3333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.989403	0.719969	48.33391	6713.333	

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=75 NAOH=15 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	1504.16667	1504.16667	0.56	0.4973
Error	4	10821.33333	2705.33333		
Corrected Total	5	12325.50000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.122037	0.689597	52.01282	7542.500	

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH					
----- TIEMP=75 NAOH=19 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	2261976.000	2261976.000	383.35	<.0001
Error	4	23602.000	5900.500		
Corrected Total	5	2285578.000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.989674	1.172207	76.81471	6553.000	

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH					
----- NAOH=15 TEN=160 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	1156326.000	1156326.000	503.22	<.0001
Error	4	9191.333	2297.833		
Corrected Total	5	1165517.333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.992114	0.601779	47.93572	7965.667	

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH					
----- NAOH=15 TEN=170 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	244016.6667	244016.6667	63.16	0.0014
Error	4	15454.6667	3863.6667		
Corrected Total	5	259471.3333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.940438	0.844926	62.15840	7356.667	

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH					
----- NAOH=19 TEN=160 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	7848.16667	7848.16667	1.64	0.2698
Error	4	19168.66667	4792.16667		
Corrected Total	5	27016.83333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.290492	0.970791	69.22548	7130.833	

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=19 TEN=170 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	231673.5000	231673.5000	67.26	0.0012	
Error	4	13778.0000	3444.5000			
Corrected Total	5	245451.5000				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean			
0.943867	0.956562	58.68986	6135.500			

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=160 TIEMP=45 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	2574150.000	2574150.000	839.35	<.0001	
Error	4	12267.333	3066.833			
Corrected Total	5	2586417.333				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean			
0.995257	0.714598	55.37900	7749.667			

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=160 TIEMP=75 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	194040.1667	194040.1667	48.23	0.0023	
Error	4	16092.6667	4023.1667			
Corrected Total	5	210132.8333				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean			
0.923417	0.863344	63.42844	7346.833			

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=170 TIEMP=45 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	1015993.500	1015993.500	372.77	<.0001	
Error	4	10902.000	2725.500			
Corrected Total	5	1026895.500				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean			
0.989384	0.774172	52.20632	6743.500			

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP						
----- TEN=170 TIEMP=75 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	3933360.667	3933360.667	858.31	<.0001	
Error	4	18330.667	4582.667			
Corrected Total	5	3951691.333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.995361	1.003093	67.69540	6748.667		

Anexo 14. Anova de interacción simple simple (A x B x C) para la doblez pliegues de la pulpa formada de paja.

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=45 NAOH=15 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	176473.5000	176473.5000	401.08	<.0001	
Error	4	1760.0000	440.0000			
Corrected Total	5	178233.5000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.990125	5.413207	20.97618	387.5000		

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=45 NAOH=19 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	15100.16667	15100.16667	213.18	0.0001	
Error	4	283.33333	70.83333			
Corrected Total	5	15383.50000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.981582	9.198092	8.416254	91.50000		

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=75 NAOH=15 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	45414.00000	45414.00000	312.48	<.0001	
Error	4	581.33333	145.33333			
Corrected Total	5	45995.33333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.987361	4.443032	12.05543	271.3333		

INTERACCIONES DE TENVA EN TIEMP*NAOH						
----- TIEMP=75 NAOH=19 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	38240.16667	38240.16667	389.54	<.0001	
Error	4	392.66667	98.16667			
Corrected Total	5	38632.83333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.989836	7.811755	9.907909	126.8333		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=15 TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	210562.6667	210562.6667	511.49	<.0001	
Error	4	1646.6667	411.6667			
Corrected Total	5	212209.3333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.992240	5.459077	20.28957	371.6667		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=15 TEN=170 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	30388.16667	30388.16667	174.98	0.0002	
Error	4	694.66667	173.66667			
Corrected Total	5	31082.83333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.977651	4.589065	13.17826	287.1667		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH						
----- NAOH=19 TEN=160 -----						
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: LR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	1	6337.500000	6337.500000	76.97	0.0009	
Error	4	329.333333	82.333333			
Corrected Total	5	6666.833333				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean		
	0.950601	5.209821	9.073772	174.1667		

INTERACCIONES DE TIEMP EN TEN*NAOH					
----- NAOH=19 TEN=170 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	48.1666667	48.1666667	0.56	0.4974
Error	4	346.6666667	86.6666667		
Corrected Total	5	394.8333333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.121992	21.07810	9.309493	44.16667	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=160 TIEMP=45 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	261250.6667	261250.6667	610.87	<.0001
Error	4	1710.6667	427.6667		
Corrected Total	5	262961.3333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.993495	5.902979	20.68010	350.3333	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=160 TIEMP=75 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	748.166667	748.166667	11.28	0.0283
Error	4	265.333333	66.333333		
Corrected Total	5	1013.500000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.738201	4.165999	8.144528	195.5000	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=170 TIEMP=45 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	45762.66667	45762.66667	550.25	<.0001
Error	4	332.66667	83.16667		
Corrected Total	5	46095.33333			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.992783	7.087753	9.119576	128.6667	

INTERACCIONES DE NAOH EN TEN*TIEMP					
----- TEN=170 TIEMP=75 -----					
The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: LR					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	145392.6667	145392.6667	820.65	<.0001
Error	4	708.6667	177.1667		
Corrected Total	5	146101.3333			
R-Square		Coeff Var	Root MSE	LR Mean	
	0.995149	6.567630	13.31040	202.6667	

Anexo 15. Resultados individuales de cada corrida experimental.

N°	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min.)	% NaOH	RENDIMIENTO EN PULPA (%)			PROMEDIO	DESVIACION ESTÁNDAR
				R1	R2	R3		
1	160	45	15	33.98	33.98	35.19	34.38	0.69859
2	170			34.76	34.76	33.88	34.47	0.50807
3	160	75		36.22	36.22	34.71	35.72	0.87180
4	170			37.89	37.89	38.88	38.22	0.57158
5	160	45	19	30.26	30.26	30.00	30.17	0.15011
6	170			35.49	35.49	36.07	35.68	0.33486
7	160	75		32.83	32.83	32.03	32.56	0.46188
8	170			35.76	35.76	34.43	35.32	0.76788

N°	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min.)	% NaOH	BLANCURA (°PHOTOVOLT)			PROMEDIO	DESVIACION ESTÁNDAR
				R1	R2	R3		
1	160	45	15	34.6	35.2	34.3	34.7	0.4582576
2	170			34.4	33.9	34.9	34.4	0.5000000
3	160	75		34.2	34.7	34.3	34.4	0.2645751
4	170			33.8	34.2	33.8	33.9	0.2309401
5	160	45	19	39.6	38.9	39.4	39.3	0.3605551
6	170			40.3	40.1	39.9	40.1	0.2000000
7	160	75		39.4	39	38.9	39.1	0.2645751
8	170			39.2	39.4	38.8	39.1	0.3055050

N°	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min.)	% NaOH	INDICE DE RASGADO (mN-m ² /g)			PROMEDIO	DESVIACION ESTÁNDAR
				R1	R2	R3		
1	160	45	15	7.72	8.2	7.78	7.90	0.2615339
2	170			6.13	5.98	6.18	6.10	0.1040833
3	160	75		6.82	6.98	6.79	6.86	0.1021437
4	170			6.42	5.97	6.48	6.29	0.2787472
5	160	45	19	6.55	6.22	6.25	6.34	0.1824829
6	170			9.28	9.31	9.36	9.32	0.0404145
7	160	75		6.57	6.58	6.49	6.55	0.0493288
8	170			6.16	6.12	5.95	6.08	0.1115049

N°	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min.)	% NaOH	LONGITUD DE ROTURA (m)			PROMEDIO	DESVIACION ESTÁNDAR
				R1	R2	R3		
1	160	45	15	8456	8398	8360	8405	48.3459754
2	170			7150	7225	7090	7155	67.6387463
3	160	75		7525	7480	7575	7527	47.5219248
4	170			7578	7495	7602	7558	56.1456439
5	160	45	19	7142	7025	7117	7095	61.6143923
6	170			6346	6298	6352	6332	29.5972972
7	160	75		7163	7245	7093	7167	76.0789064
8	170			5942	5860	6015	5939	77.5435362

N°	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min.)	% NaOH	DOBLEZ PLIEGUES (#)			PROMEDIO	DESVIACION ESTÁNDAR
				R1	R2	R3		
1	160	45	15	568	528	581	559	27.6224546
2	170			219	204	225	216	10.8166538
3	160	75		182	193	178	184	7.7674535
4	170			361	342	372	358	15.1767366
5	160	45	19	140	133	152	142	9.6090235
6	170			42	34	48	41	7.0237692
7	160	75		207	198	215	207	8.5049005
8	170			49	57	35	47	11.1355287

1. Cálculo del porcentaje de humedad de la paja (*Stipa ichu* L.).

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_h} * 100$$

Donde:

P_h : Peso húmedo de la paja (g).

P_s : Peso seco de la paja (g).

La determinación de la humedad se realizó por triplicado, a continuación se presenta los cálculos realizados con los promedios.

$$\% \text{Humedad} = \frac{5.0015 - 4.4323}{5.0015} * 100$$

$$\%h = 11.38$$

2. Cálculo de la cantidad de paja (*Stipa ichu* L.) a utilizar por cada corrida experimental.

$$M_h = \frac{M_s * 100}{100 - \%h} * 100 \text{ o } M_h = \frac{M_s}{1 - \%h}$$

Donde:

M_h : Cantidad de paja húmeda a utilizar (g).

M_s : Cantidad de paja requerida como muestra seca (150 g).

$\%h$: Porcentaje de humedad de la paja (11.38 %).

El cálculo de la cantidad de paja a utilizar con humedad conocida se realizó de acuerdo a la anterior ecuación un total de 24 muestras incluido las réplicas correspondientes al diseño factorial 2^3 .

$$M_h = \frac{150}{1 - 0.1138} = 169.26 \approx 170.00$$

3. Cálculo de humedecimiento de la paja (*Stipa ichu* L.).

$$\text{Agua en la muestra (Am)} = M_h' - M_s$$

Donde:

A_m : Agua en la muestra (g).

M_h' : Peso húmedo de la muestra (g).

M_s : Peso de la muestra seca (g).

$$M_h' = P_{(B+MH)} - P_B$$

Donde:

$P_{(B+MH)}$: Peso del balde más la muestra húmeda (g).

P_B : Peso del balde (g).

$$M_h' = 552.30 - 207.20 = 345.10$$

$$A_m = 345.10 - 150 = 195.10$$

4. Preparación de los reactivos de digestión o cocción.

$$VR \text{ (ml)} = (\% \text{Reactivo como Na}_2\text{O}) * \text{Factor} * \frac{M_s}{100}$$

$$* \frac{1000}{\text{Concentración (g/l)}}$$

Donde:

VR (ml): Volumen de reactivo a calcular (ml).

$\% \text{Reactivo como Na}_2\text{O}$: Porcentaje del reactivo a utilizar expresado como Na_2O .

Factor: Factor del hidróxido de sodio 1.290

M_s : Muestra seca a utilizar durante la digestión (g).

Concentración (g/l): Concentración de hidróxido de sodio a 20 °C (1186.1).

El siguiente cálculo muestra ejemplo de los cálculos realizados de manera igual para cada una de las corridas experimentales.

$$VR \text{ (ml)} = 15 * 1.290 * \frac{150}{100} * \frac{1000}{1186.1 * 0.17}$$

$$VR \text{ (ml)} = 143.96 \approx 144$$

$$VR \text{ (ml)} = 19 * 1.290 * \frac{150}{100} * \frac{1000}{1186.1 * 0.17}$$

$$VR \text{ (ml)} = 182.35 \approx \mathbf{182.4}$$

5. Cálculo de la composición del licor de cocción.

$$Lc = Am + VR * \rho + PA$$

Donde:

Lc: Licor de cocción (g).

Am: Agua en la muestra (g).

VR (ml): Volumen de reactivo a calcular (ml).

ρ : Densidad del NaOH a 20 °C.

El siguiente cálculo es un ejemplo que hace referencia de los cálculos realizados para cada corrida experimental.

$$Lc = 195.10 + 144 * 1.1861 + 0.15$$

$$Lc = \mathbf{366.04 \text{ g}}$$

6. Cantidad de agua a agregar al licor de cocción.

$$AA = LD - Lc$$

Donde:

AA: Agua a agregar (g).

LD: Licor de digestión (g).

Lc: Licor de cocción (g).

Densidad del agua 1 g/ml

Relación de licor de digestión / Materia seca (LD/Ms).

$$LD/Ms = \mathbf{4/1}$$

$$LD = 600 \text{ g}$$

$$Ms = 150 \text{ g}$$

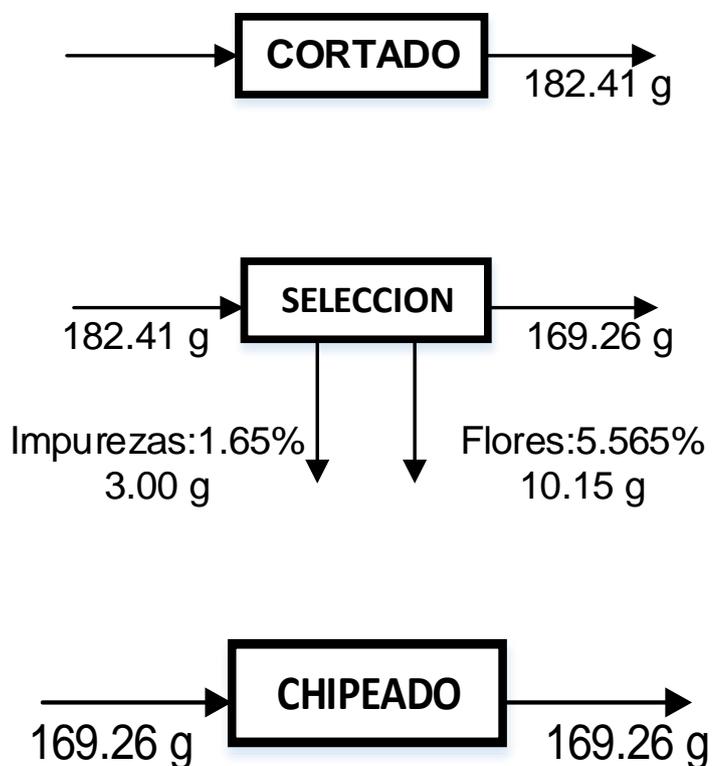
$$AA = 600 - 366.04 = \mathbf{233.96 \text{ g}}$$

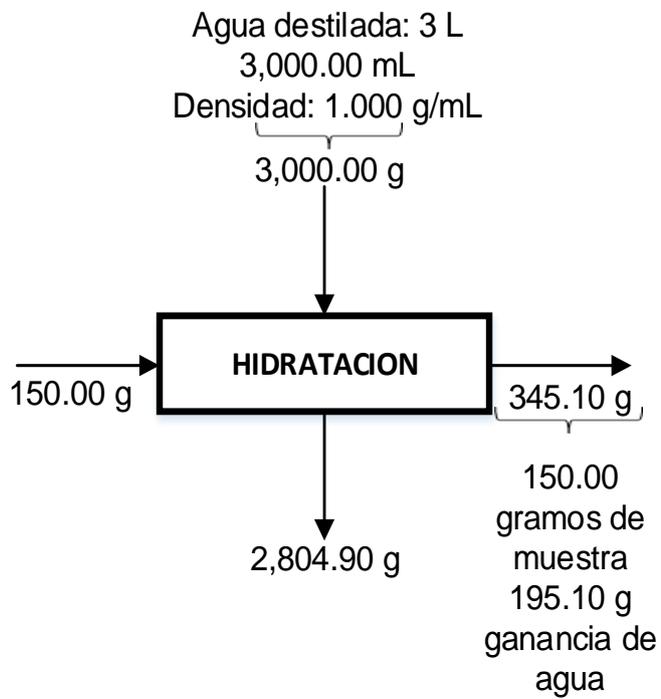
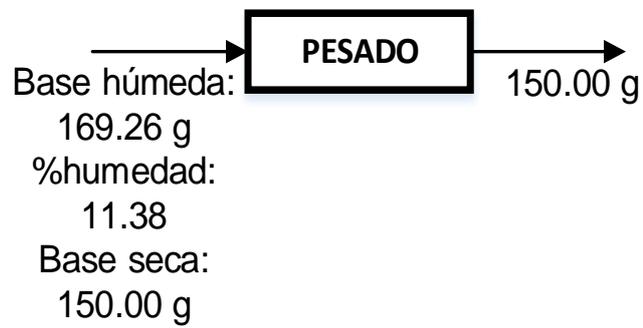
CONDICIONES DE DIGESTIÓN O COCCIÓN

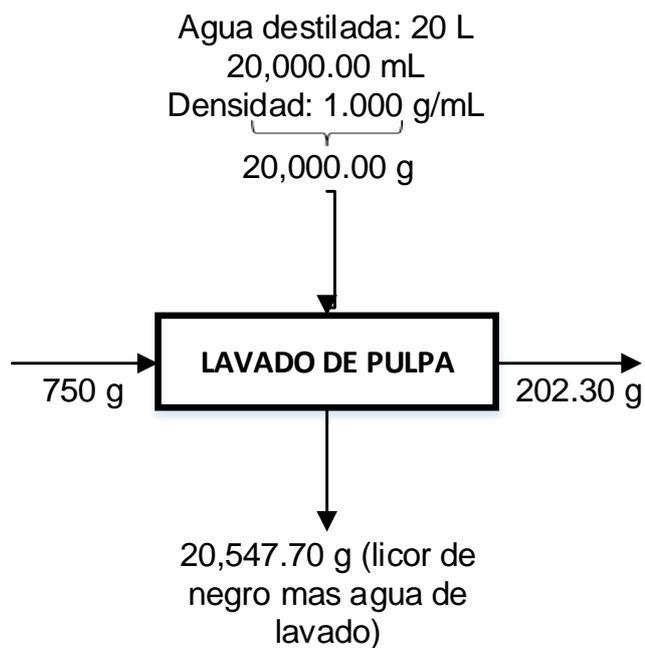
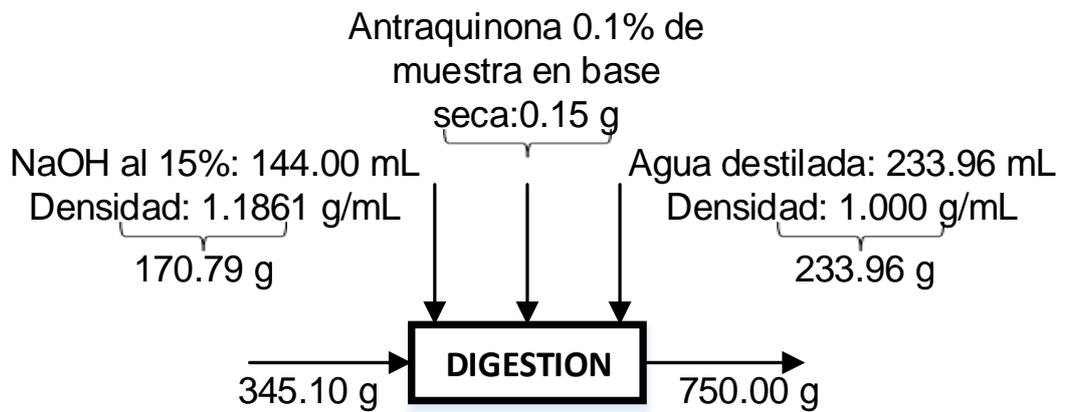
Variables fijas		
N°	Variables	Cantidad/Unidad
1	Presión	9 kg/cm ²
2	Materia seca paja (<i>Stipa ichu L.</i>)	150 g
3	Licor de digestión	600 g
4	Relación de licor de digestión/ Materia seca	4/1
5	Antraquinona	0.1%

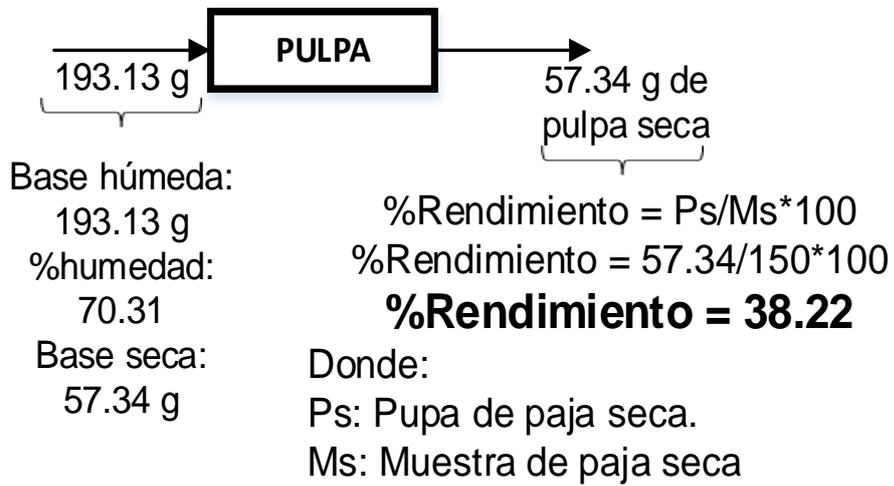
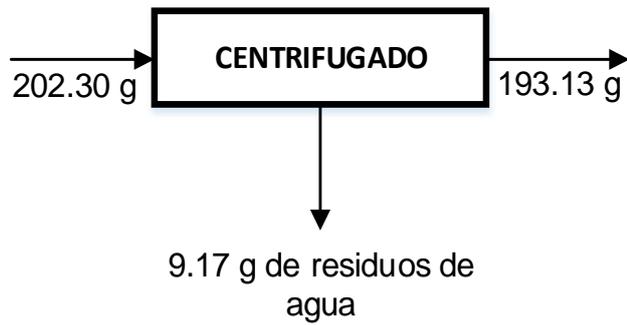
Anexo 16. Balance de materia por etapas de la investigación “Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*)”.

DATOS GENERALES
Relación
Muestra/ licor de cocción = $\frac{1}{4}$
Muestra de paja en base seca: 150.00 g
Antraquinona: 0.1% de muestra seca.
Hidróxido de sodio: 15% respecto a la muestra en base seca = 144 mL
Densidad del hidróxido de sodio: 1.1861 g/mL
Densidad del agua destilada: 1.000 g/mL
%humedad de la paja: 11.38
%humedad de la pulpa: 70.31
Los datos presentados corresponde a la corrida experimental de: 170 °C, 75 min; y 15% de hidróxido de sodio.







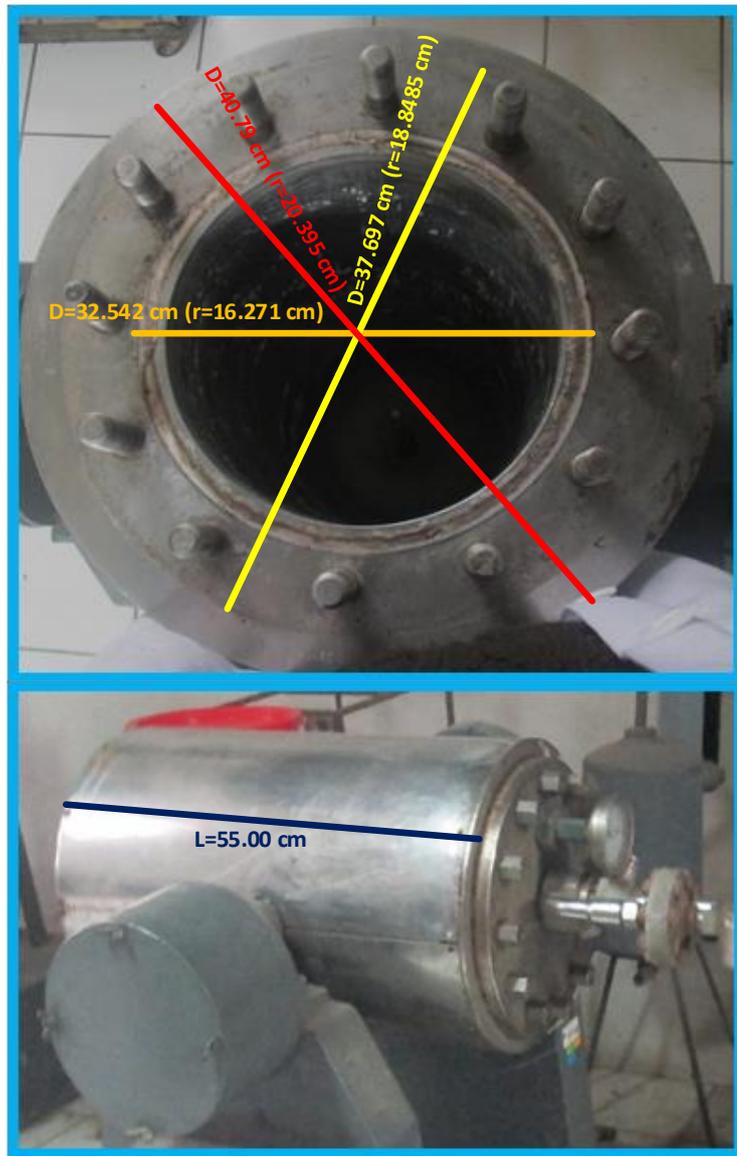


Anexo 17. Balance de energía de la investigación “Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (*Stipa ichu L.*)” en la etapa de la digestión.

DATOS GENERALES DEL DIGESTOR

Altura del digestor: 55 centímetros.
Diámetro del digestor: 30.48 centímetros.
Radio del digestor: 15.24 centímetros.
Diámetro 1: 32.542 centímetros.
Radio 1: 16.271 centímetros.
Diámetro 2: 37.697 centímetros.
Radio 2: 18.8485 centímetros.
Diámetro 3: 40.79 centímetros.
Radio 3: 20.395 centímetros.
Temperatura interna del digestor (T_1): 160 °C
Temperatura externa del digestor (T_3): 47 °C
Conductividad térmica del acero inoxidable (K): 45 W/m K
Conductividad térmica de la fibra de vidrio (K): 0.07 W/m K
Primera pared del acero inoxidable: 10.31 mm
Pared de la fibra de vidrio: 25.775 mm
Segunda pared del acero inoxidable: 15.465 mm

En la siguiente imagen se muestra los datos necesarios del digestor para calcular la pérdida del calor.



Desarrollo:

Conversión de la temperatura interna del digestor:

$$T_1 = 160\text{ }^\circ\text{C} = 433.1\text{ K}$$

Conversión de la temperatura externa del digestor:

$$T_3 = 47\text{ }^\circ\text{C} = 320.1\text{ K}$$

Conversión de longitud del digestor:

$$L = 55 \text{ cm} = 0.55 \text{ m}$$

Conversión del radio del digestor:

$$r_{\text{Digestor}} = 15.24 \text{ cm} = 0.1524 \text{ m}$$

Conversión de la primera pared del acero inoxidable del digestor:

$$\text{Pared del acero inox.}_1 = 10.31 \text{ mm} = 0.01031 \text{ m}$$

Conversión de la pared de fibra de vidrio del digestor:

$$\text{Pared de la fibra de vidrio} = 25.775 \text{ mm} = 0.025775 \text{ m}$$

Conversión de la segunda pared del acero inoxidable del digestor:

$$\text{Pared del acero inox.}_2 = 15.465 \text{ mm} = 0.015464 \text{ m}$$

Conversión de los radios:

$$r_1 = 0.1524 + 0.01031 \text{ cm} = 0.1627 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.1524 + 0.01031 + 0.025775 \text{ cm} = 0.1885 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.1524 + 0.01031 + 0.025775 + 0.015464 \text{ cm} = 0.2039 \text{ m}$$

Cálculo de áreas:

$$A = 2\pi * L * r$$

$$A_1 = 2\pi * 0.55 * 0.1627 = 0.5623 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2\pi * 0.55 * 0.1885 = 0.6514 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2\pi * 0.55 * 0.2039 = 0.7046 \text{ m}^2$$

Cálculo de la media logarítmica del área del acero inoxidable y de la fibra de vidrio:

$$A_{ml} = \frac{A_2 - A_1}{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)}$$

Cálculo de la media logarítmica del área del acero inoxidable.

$$A_{ml} = \frac{A_2 - A_1}{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)}$$

$$A_{ml \text{ del acero inox.}} = \frac{0.6514 - 0.5623}{\ln\left(\frac{0.6514}{0.5623}\right)} = 0.6058 \text{ m}^2$$

Cálculo de la media logarítmica del área de fibra de vidrio.

$$A_{ml} = \frac{A_3 - A_2}{\ln\left(\frac{A_3}{A_2}\right)}$$

$$A_{ml \text{ de fibra de vidrio}} = \frac{0.7046 - 0.6514}{\ln\left(\frac{0.7046}{0.6514}\right)} = 0.6777 \text{ m}^2$$

Cálculo del calor (energía) disipado durante la digestión o cocción:

$$q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{r_2 - r_1}{K_{\text{acero inox.}} * A_{ml \text{ del acero inox.}}} + \frac{r_3 - r_2}{K_{\text{fibra de vidrio}} * A_{ml \text{ del la fibra de vidrio}}}}$$

$$q = \frac{433.1 - 320.1}{\frac{0.1885 - 0.1627}{45 * 0.6058} + \frac{0.2039 - 0.1885}{0.07 * 0.06777}}$$

$$q = 347.0795 \text{ W}$$

Anexo 18. Certificación de la paja (*Stipa ichu* L.).

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

CERTIFICACIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMENES VEGETALES

El que suscribe, **Dr. Blgo. HERNANDO HUGO DUEÑAS LINARES**, especialista forestal en identificación taxonómica de especies de Flora Silvestre con Registro de Inscripción Código de Licencia LIC-ES-2017-009 de Personas Naturales y Jurídicas Habilitadas para realizar Certificación de identificación Taxonómica de Especímenes y Productos de Flora; de la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal, Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre-SERFOR.

CERTIFICA, que los especímenes (02) presentado por el: Bach. **DAVID EMERSON AUCCAPUMA LLALLI**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas, para su identificación y/o determinación; del trabajo de investigación de Tesis intitulado: **EFFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE COCCIÓN Y LA CONCENTRACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE SODIO EN EL RENDIMIENTO Y PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE LA PULPA FORMADA DE PAJA (*Stipa ichu* L.)** Corresponde al siguiente taxón aceptado oficialmente:

N°	NOMBRE CIENTÍFICO ACEPTADO	NOMBRE COMUN	SINONIMIA	FAMILIA
1	<i>Jarava ichu</i> L. Ruiz & Pav.	"Ichu"	<i>Stipa ichu</i> L. (Ruiz & Pav.) Kunth.	POACEAE

De acuerdo a la descripción de sus características vegetativas y reproductivas, las que están registrada para la Flora de Perú: Departamento de Apurímac; en el Catálogo de Angiospermas y Gimnospermas del Perú de Lois Brako and James L. Zarucchi (1993), al APG IV (Angiosperm Phylogenetic Group, 2016) y al Taxonomic Name Resolution Service v3.0 (2017), y The Plant List: A Working List of all Plant Species (2017)

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que considere conveniente. Se anexa al presente Certificado de Identificación los datos correspondientes a la especie en formato Excel.

Puerto Maldonado, 08 de Julio de 2017.

Dr. Hugo Dueñas Linares
ESPECIALISTA EN IDENTIFICACIÓN
TAXONÓMICA DE FLORA SILVESTRE
Código LIC-ES-2017-009

Jr. Bolognesi, 839, Torre II, Dpto 504 Distrito San Miguel, Lima-Perú
Email: huduli_hugo@yahoo.es Cel: 956-740299

IDENTIFICACION TAXONOMICA DE ESPECIMENES VEGETALES

PERFIL DE TESIS DE INVESTIGACIÓN 2017

EFFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE COCCIÓN Y LA CONCENTRACIÓN DEL HIDRÓXIDO
EN EL RENDIMIENTO Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA PULPA FORMADA DE PAJA (*Stipa ichu* L.)

Escuela Académico Profesional: Ingeniería Agroindustrial
Bach. David Emerson Auccapuma Lalli

Nº	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	HABITO	ALTITUD	LOCALIDAD	Colector	Fecha Colección	ID	FECHA ID
1	<i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav.	Ichu	POACEAE	Hierba	3890 msnm	Ccasarayac, Distrito José María Arguedas, Andahuaylas, Apurímac.	David Emerson Auccapuma Lalli	02/07/2017	HDL	08/07/2017

Puerto Maldonado, 08 de Julio de 2017.

Referencias:

Vouchers colección DALL, 2017.
APG IV. 2016
Taxonomic Resolution Service v4.0. 2017.
The Plant List, 2017
Tropicos, Missouri Botanical Garden, 2017

Dr. Hugo Dueñas Linares
ESPECIALISTA EN IDENTIFICACIÓN
TAXONÓMICA DE FLORA SILVESTRE
Código LIC-ES-2017-009

Anexo 19. Normas TAPPI.

Normas TAPPI (T 248 sp – 00, T 205 sp – 95, T 227 om – 94, T 402 om – 93, T 452 om – 98, T 414 om – 98, T 404 cm – 92 y T 511 om – 96).

T 248 sp-00

Laboratory beating of pulp (PFI mill method) / 4

9. Procedure

9.1 Disintegration

9.1.1 Transfer the wet pulp and water used for soaking to the disintegrator. Add distilled water at 20 ° 5°C to give a total volume of 2000 ± 25 mL; the consistency will then be 1.2%. Set the revolution counter to 3000 (30,000 revs = 10 minutes) for an initial consistency of 20% or more. For consistencies less than 20%, set revolution counter to 15000 (15,000 revs = 5 minutes).

9.1.2 Ensure that the pulp is completely disintegrated. Pulps difficult to disintegrate, such as unbleached sulfate, may require longer disintegration than that specified in 8.1.1. Report any departure from recommended procedures.

9.2 Thickening

9.2.1 After disintegration, drain the pulp suspension on a Büchner funnel using a coarse filter paper to approximately 20% consistency. To avoid loss of fines, refilter the filtrate through the fiber mat until clear. Weigh the thickened pad and determine the amount of distilled water at 23 ± 2°C to dilute the pulp to a total mass of 240 ± 0.5 g, corresponding to a 10% stock consistency. Peel the pulp from the filter and place in a 40-mL beaker and wash the filter paper with the distilled water measured out above.

9.3 Beating

9.3.1 Adjust the temperature of the PFI mill to 23 ± 2°C (see Note 3) before charging and, if necessary, that of the pulp such that the mean temperature does not exceed 23 ± 2°C during beating.

NOTE 4: When necessary for reasons of climatic conditions, a temperature of 25 ± 5°C may be used provided this is reported with the test results.

9.3.2 Make sure the Vernier adjusting screw is completely backed off so that no fixed minimum clearance is set between the roll and housing. Under this condition the pulp layer will support the full beating load throughout the beating process.

CAUTION: Do not operate PFI mill without pulp in the container with the Vernier adjusting screw set to no fixed minimum distance. Severe damage to the roll and bed plate can result.

NOTE 5: A beating gap of 0.2 mm may be used. If a different beating gap is used, it should be reported with test results.

9.3.3 Ensure that the beater is clean. Check that the beating conditions are as specified in 5.1.3 and 5.1.4. Transfer the 10% pulp suspension to the beater housing and distribute it as evenly as possible over the wall. See that no pulp remains on the bottom of the beater housing within an area corresponding to the cross section of the roll.

9.3.4 Insert the beater roll in the housing and press the cover into position.

9.3.5 Set the beater housing rotating so that the pulp is slung against the wall and then start the roll. When both elements have attained full speed, gradually apply the required beating pressure, over a 4-s interval (see 6.1.4). Simultaneously start the revolution counter.

CAUTION: When beating for a higher number of revolutions, the temperature of the beating elements may increase. If necessary, cool the beating elements with water to bring the temperature within the specified range before next beating.

NOTE 6: One unit on the counter equals 10 revolutions of the roll.

9.3.6 After the required number of revolutions of the roll, discontinue beating by removing pressure from the roll. Shut off the motors; center the roll. Lift the roll and housing cover. Transfer all pulp to a 2000-mL beaker or directly to the disintegrator pot (2000 mL). Rinse the beater with water and add to the cylinder.

NOTE 7: After beating, clean the mill thoroughly with water and, if necessary, pitch solvent.

9.3.7 Dilute the stock with distilled water to 2000 ± 25 mL and clear in the disintegrator for 10,000 revolutions.

9.3.8 The pulp is now ready for freeness determination in accordance with TAPPI T 227 "Freeness of Pulp," and making and testing of handsheets in accordance with T 205 and T 220.

NOTE 8: PFI mills and other laboratory beaters may affect the curl of fibers more than refiners in mills. This may be a source for differences in physical properties between PFI mill and mill refined samples.

7. Procedure

7.1 Disintegration.

7.1.1 Dilute the specimen to 2000 mL (1.2% consistency) with distilled or deionized water at $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Disintegrate in the standard disintegrator at 3000 rpm until all fiber bundles are dispersed, but not more than 50,000 revolutions. Include in the report the number of revolutions used. If more than 50,000 revolutions are used, or if the pulp is not satisfactorily dispersed after 50,000 revolutions, also Note this in the report.

NOTE 7: Disintegration periods as small as 15,000 revolutions will adequately disperse many pulps, especially those furnished in a wet state. Adequate dispersion of the pulp can be checked by diluting a small sample in a glass cylinder and inspecting under transmitted light.

7.1.2 After disintegration, if a freeness measurement is needed, remove 250 mL of stock for this purpose, and then dilute the remaining 1750 mL to 7.0 L (0.3% consistency). If a freeness measurement is not needed, dilute the 2000 mL of stock to 8.0 L (0.3% consistency).

7.1.3 Stir the stock well to ensure proper mixing. Using the graduated cylinders, measure out 400 mL of stock for each handsheet to be formed.

NOTE 8: The accuracy of final sheet weights can usually be improved by first forming a "consistency" sheet, measuring its dry weight, and then calculating the exact volume needed for a 1.2 g (OD) sheet. Handsheets are required to each weigh between 1.14 and 1.26 g moisture-free. Unless a "consistency" sheet is made, it may not be possible to maintain the required sheet-weight accuracy because of fines loss through the forming wire (especially with low freeness mechanical pulp).

NOTE 9: For some long fibered pulps the required sheet-weight accuracy may not be achievable unless the consistency of the stock is reduced below that specified. For those pulps, consistencies as low as 0.15% are recommended. Reducing the consistency of the stock will not affect the properties of the test sheets.

7.2 Sheetmaking.

7.2.1 With the sheet machine open, turn on the water and gently rub the surface of the wire with the fingers to clear away any adhering fibers. Close the machine and half fill it with water. Pour the amount of stock needed for one sheet into the sheet machine. Add water until the depth is about 350 mm above the surface of the forming wire. (A line is usually inscribed around the inside of the cylinder at this level).

NOTE 10: Cleanliness of the sheet machine wire is important. Occasional purging with a high pressure water jet or steam, or treatment in an ultrasound bath, is recommended. Washing with dilute acid is recommended only for stainless steel wires. Additional information on wire cleanliness can be found in TAPPI T 221 "Drainage Time of Pulp."

7.2.2 Insert the perforated stirrer and in 6 ± 1 s move it down and up five times, keeping the perforated disc beneath the level of the liquid. Make a sixth double movement slowly in 6 ± 1 s, and at the end of the up stroke gently withdraw the stirrer. Do not rotate the stirrer during this part of the procedure.

7.2.3 After a pause of 5 ± 1 s, during which time the surface of the liquid should become almost motionless, fully open the drain of the machine with a rapid movement and let the water drain through the sheet under suction from the water leg.

NOTE 11: The formation of the test sheet may be adversely affected if all entrapped air has not escaped during the 5 s pause. For such pulps, use a longer pause time and Note the time used in the report.

7.2.4 Open the sheet machine.

7.3 Couching.

7.3.1 Place two pieces of standard blotting paper centrally on the drained sheet with the felt, smoother, side of the lower blotter against the wet sheet. Lay the flat couch plate centrally on the blotters and place the couch roll gently on the middle of the plate. Rotate the roll backward and then forward five times in 10 ± 2 s, with no pressure being applied except from the weight of the roll. The roll should come within less than 5 mm of the edge of the plate each time. After the fifth forward rotation, rotate it back to the middle and lift it off.

7.3.2 Remove the couch plate and set it aside. Lift the blotters in a manner similar to that of opening the cover of a book. The sheet should be found to adhere to the underside of the lower couch blotter. Discard the second blotter. Use an indelible pencil to identify the test sheet if desirable.

NOTE 12: Some test sheets will not adhere to the blotter when couched as described above. In these cases, a second couching, with new blotters may be necessary. Any such changes should be Noted in the report.

7.3.3 Set the first test sheet aside and make additional sheets as needed. These additional sheets should be made in a short enough period of time so that no appreciable drying of the first sheets occur.

7.4 *Pressing.*

7.4.1 Place the couch blotter, handsheet side up, on a dry blotter and centrally locate it on the press using the press template. Cover the handsheet with a polished plate, polished side down. Repeat this process so that all sheets from a given pulp are stacked together in the press. Finally lay a single blotter on the uppermost plate.

NOTE 13: Some pulps will bond to the polished plates, making it difficult to later remove the test sheet without damage. For these pulps, use a dull finished plate and Note such use in the report. Plates are available with one mirror finish and one dull finish side.

7.4.2 Place the cover of the press in position and screw the wing nuts hand tight. During a period of 30 s, slowly raise the pressure to 345 kPa (50 psig). Maintain this pressure for an additional 5 min. Release the pressure and remove the press cover.

NOTE 14: Do not press more than 15, and preferably not more than 10, sheets at one time.

7.4.3 Remove the stack from the press. The test sheets should now be adhered to the polished plates so that the blotters can be gently peeled away and discarded. Place a dry blotter on the press. Using the press template as a guide center each plate, with the test sheet facing up, in the press. Place a dry blotter on top of each test sheet.

7.4.4 Place the cover of the press in position, raise the pressure to 345 kPa (50 psig), maintain the pressure for two min., and then release it. Remove the stack from the press.

NOTE 15: Automatic pressing equipment which complies with the requirements of this method is available from distributors of standard sheetmaking equipment. Because of consistency of operation and reduction of human error, this equipment is preferred over manually operated presses.

7.5 *Drying.*

7.5.1 Discard the press blotter from each test sheet. Fit each plate with its attached test sheet into a drying ring, assembled so that each test sheet is uppermost and in contact with the rubber seat of the next ring above it. Place a heavy weight (about 25 lbs. is suitable) on top of the stack of rings, or clamp them together with a suitable clamping system.

7.5.2 A requirement of this procedure is that the sheets be dried from the wet state down to equilibrium with a 50% RH, 23°C, atmosphere, and then tested in that atmosphere. Hence, the test sheets should be moved to the conditioning atmosphere before any appreciable drying has occurred.

7.5.3 Allow the sheets to become fully dried in position in the rings before removing them. An overnight drying period is recommended. Remove the plates from the drying rings and gently peel the test sheets from the plates.

NOTE 16: An alternative rapid method of drying is discussed in Appendix C. Use of this procedure must be Noted in reporting the results of tests made on sheets so dried.

7.6 *Testing of sheets.* Unless the sheets are to be tested immediately after removal from the drying rings, protect them from direct lighting, especially if any optical properties are to be measured. Sheets made from groundwood pulps should be tested within 24 hr of sheetmaking. Test all sheets using the procedures described in TAPPI T 220.

7.2 Take the temperature of the stock and the water to be used for diluting. Dilute the defibered pulp to $0.3 \pm 0.02\%$ (moisture free) consistency after adjusting the temperature of the stock in the bucket to $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (see Section 9 Consistency).

NOTE 11: It is necessary that the water holding the pulp suspension be sufficiently free from dissolved air so that sample bubbles are not liberated from the water on standing. Bubbles adhere to the fibers and cause erroneous results that may either be positive or negative in the freeness results. Water taken from high pressure mains may require to be left standing for several hours, or else subjected to a vacuum before use.

NOTE 12: For groundwood it is not necessary that either the exact consistency or temperature be used, as tables are provided which permit correcting the result to that for standard conditions. Stock consistency should be between 0.27 to 0.33% and stock temperature between 17 to 23°C. Note that corrections beyond the $\pm 0.3\%$ consistency and temperature beyond $\pm 3^\circ\text{C}$ of the standard temperature do not fulfill the conditions of this method and may result in questionable results. **The correction tables presented in this method were developed from groundwood freeness evaluation studies; the accuracy of the correction tables for chemical pulp freeness has not been determined.** For accuracy, in the case of pulps other than groundwood, it is advisable to adjust the slush pulp to the standard conditions of consistency and temperature.

8. Procedure

8.1 Thoroughly clean and wet the freeness tester with distilled or deionized water at the temperature of the stock to be tested.

8.1.1 Place the drainage chamber on the upper supporting bracket with its lower lid closed and the upper lid and air-cock open.

8.1.2 Place the graduated cylinder in position to receive the discharge from the side orifice, and a container to collect the discharge from the bottom orifice.

NOTE 13: In the freeness test collect the discharge from the side and bottom orifices along with the dewatered sample from the chamber for use in determining the consistency (see 9.1).

8.2 Thoroughly stir the stock in the bucket to ensure a homogeneous mix and accurately measure 1000 mL into a clean 1-L cylinder. Take its temperature to the nearest 0.5°C .

8.2.1 Mix the sample in the graduated cylinder by closing the top of the cylinder with the hand and gently invert the cylinder 180° three times.

8.2.2 Pour the stock *gently* but as *rapidly* as possible into the chamber. It is imperative that at the end of the pouring, the stock be almost motionless in the chamber. *This step is critical.*

8.2.3 Close the top of the lid and the air-cock. Open the bottom lid. After 5 s from the time the addition of the stock is completed, fully open the air-cock in a single motion.

8.2.4 When the side discharge has ceased, record the volume discharged from the side orifice in milliliters to the maximum accuracy possible for the graduate used (see 10.1).

9. Consistency

9.1 To determine consistency, combine the pulp from the chamber along with the discharges from the side and bottom orifices and drain the slurry from the chamber onto a tared filter paper in a Büchner funnel or in a low deckle sheet machine.

NOTE 14: Make sure no appreciable amount of fibers is left on the surface of the chamber or on the screen plate.

9.1.1 Oven dry and determine the weight of the pad. Subtract the weight of the tared filter paper to obtain the weight of the pulp. Where necessary, correct this volume to the standard consistency of 0.3% and temperature of 20°C using the correction Tables 1 and 2 in this method.

NOTE 15: It is immaterial which correction is applied first, the second correction being made to the volume adjusted by the first correction.

NOTE 16: Equations have been developed that fit the data in Tables 1 and 2 (2):
 Consistency correction = $(\text{Cons} - 0.3) * 590 * (1 + (((0.4 - \text{Cons}) / 0.2) * (\text{CSF} / 1000))) * (1 - ((\text{CSF} - 390)^2 / ((\text{CSF}^{0.2}) * 87000)))$
 Temperature correction = $(20 - \text{Temp}) * 4.6 * (1 - (((400 - \text{CSF})^2) / ((\text{CSF}^{0.25}) * 61000)))$
 where
 cons = actual consistency, %
 temperature = actual temperature, °C
 CSF = measured CSF or already corrected for one term

9.1.2 Make at least two determinations on separate portions of the same specimen and make additional tests if they differ more than 2%.

5. Procedure

5.1 Obtain and preserve the sample in accordance with T 400 "Sampling and Accepting a Single Lot of Paper, Paperboard, Containerboard, or Related Product." In particular, avoid exposure of the sample to direct sunlight, to extremes of temperature, and to relative humidities above 58% (see Appendix A.1). If the sample is to be held for some time before testing, preserve it at a temperature below 25°C (77°F) and relative humidity below 58%, but not below 10% as the paper may curl or cockle and change in other respects. If low temperature storage is used, the sample should be protected against condensation.

5.2 *Specimen preparation*

5.2.1 Cut specimens from a sample where critical dimensions are involved only after conditioning the sample. Where there are no critical dimensions, specimens may be cut before preconditioning or conditioning.

5.2.2 If shipping containers are to be sealed with aqueous adhesives, make the seal prior to preconditioning.

5.3 Expose the sample sheets or specimens to the preconditioning atmosphere so that both surfaces of single sheets and exterior surfaces of laminated products or sealed containers are freely exposed. This is best achieved by suspending them from overhead or supporting them on a wire grid or rack.

5.4 Precondition the sample sheets or specimens by exposing them as specified above (5.3) to the preconditioning atmosphere. Precondition for a minimum of 24 h, unless a lesser time has been found to give satisfactory results. If the sample is to be stored for time after preconditioning, store at a temperature below 25°C (77°F) and a relative humidity below 40%, but not below 10%.

NOTE 4: For preconditioning apparatus of ample capacity and air circulation, the following preconditioning times have usually been found satisfactory: single sheets of paper, less than 1 h; linerboard, corrugating medium, chipboard, boxboard, 1-2 h; corrugated and solid fiberboard in sheet form, 5-10 h; sealed boxes and shipping containers, 12-16 h; specially treated water vapor resistant papers and boards, 24 h and more.

5.5 Condition the sample sheets or specimens by exposing them as specified in 5.3 to the standard conditioning atmosphere for a sufficient time for them to come into equilibrium with the atmosphere. Determine that equilibrium has been obtained by weighing the sheets or specimens at time intervals which increase roughly geometrically. Plot the weight against log time (i.e., on semilogarithmic paper); the desired equilibrium exists when the plotted curve becomes essentially parallel to the time axis.

NOTE 5: With good air circulation and ample capacity, a conditioning period of 4 h is usually sufficient for paper of ordinary weight and composition. A minimum time of exposure of 5-8 h will be required for boards and unsealed boxes, with a minimum time of 16 h or more for sealed fiberboard boxes, and much longer periods for boards of heavy substances and specially treated water-vapor-resistant papers; e.g., a minimum of 72 h for wax-treated containers.

5.6 Handle preconditioned and conditioned sheets or specimens as little as possible; especially avoid touching or breathing on test areas.

5.7 Test the specimens in the standard testing atmosphere.

**3 / Brightness of pulp, paper, and paperboard
(directional reflectance at 457 nm)**

T 452 om-98

8. Procedure

8.1 Without touching the test areas with the fingers, remove the protective cover tab and place it at the back of the pad. Place the pad over the specimen aperture of the instrument with the machine direction of the paper parallel to the plane determined by the axes of the incident and reflected rays of light and with the top side in contact with the instrument. If an orientation ("upstream/downstream") effect is suspected (as in the case of some lightweight coated grades), rotate the pad 180° and observe the reading. If the difference between upstream and downstream brightness exceeds 0.3, clearly record in the report the reading for each orientation.

8.2 Place the 1-kg backing weight on the pad. Measure and record the reflectance reading to 0.1 unit.

8.3 Move the lower tab to the back of the pad and measure the second tab. Repeat this procedure until five tabs have been measured.

7. Procedure

7.1 Precondition, condition, and test the specimens in accordance with TAPPI T 402 "Standard Conditioning and Testing Atmospheres for Paper, Board, Pulp Handsheets, and Related Products."

7.2 Raise the pendulum sector to its initial position and set the pointer against its stop. Center the specimen in the clamps with the bottom edge carefully set against the stops. Securely clamp the specimen using approximately the same pressure on both clamps. Make the initial knife cut. Depress the pendulum stop quickly as far as it will go to release the pendulum. Hold down the stop until after the tear is completed and catch the pendulum on the return swing without disturbing the position of the pointer.

7.3 Make only one test per specimen, each specimen consisting of the same number of plies. Make tests alternately with the wire sides of all the plies of a specimen facing the pendulum and with the wire sides of all the plies away from the pendulum. Make certain that the specimen leans toward and not away from the pendulum by gently bending the specimen at the clamp if necessary, but in doing so avoid affecting the moisture content of the test area (9).

7.4 Record the scale readings to the nearest half division; also record the number of plies used in the specimens.

7.5 If the line of tear fails to pass through the top edge of the specimen but deviates to one side, note and report this, but do not use the reading so obtained. If more than one-third of the tests exhibit this behavior, this method should not be used for the material concerned. If the sheets split extensively when being torn, this also should be reported.

7.6 Calculate the average tearing force in millinewtons and, if desired, in grams-force required to tear a single ply as follows:

7.6.1 For the standard 1600-gf instrument with 0-100 scale:

$$\text{Average tearing force, mN} = (16 \times 9.81 \times \text{average scale reading}) / \text{number of plies}$$

$$\text{Average tearing force, gf} = (16 \times \text{average scale reading}) / \text{number of plies}$$

7.6.2 If an instrument has an SI metric scale (e.g., 0-1000 graduations):

$$\text{Average tearing force, mN} = (16 \times \text{avg. scale reading} \times \text{capacity, N}) / (\text{number of plies} \times 15.7 \text{ N})$$

$$\text{Average tearing force, gf} = (16 \times \text{avg. scale reading} \times \text{capacity, N}) / (9.81 \times \text{number of plies} \times 15.7 \text{ N})$$

7.6.3 If an instrument has a direct-reading scale (e.g., digital read-out) that directly gives the force per ply when preset for the number of plies:

$$\begin{aligned} \text{Average tearing force, mN} &= \text{scale reading if directly in millinewtons, or} \\ &= 9.81 \times \text{scale reading if in grams-force} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Average tearing force, gf} &= \text{scale reading} / 9.81, \text{ if scale is in millinewtons, or} \\ &= \text{scale reading if directly in grams-force} \end{aligned}$$

3 / Tensile breaking strength and elongation of paper and paperboard (using pendulum-type tester)

T 404 cm-92

7. Procedure

7.1 Perform the test in a testing atmosphere as specified in TAPPI T 402 "Standard Conditioning and Testing Atmospheres for Paper, Board, Pulp Handsheets, and Related Products."

7.2 Align and clamp the specimen first in the upper jaw, and, after carefully removing any noticeable slack, in the lower jaw; preload the specimen if required. The proper paper alignment in the clamps will prevent jaw tear type breaks. Avoid touching with the fingers the test area between the clamps (see Appendix A2).

7.3 Load each specimen in the following manner until it breaks, by adjusting the machine speed so that the average time to break is between 5 and 15 s. The time can be extended to 30 s when testing high elongation papers such as crepe and extensible papers (see Appendix A3).

NOTE 5: In cases of dispute, the average time to break should be 10 ± 2 s.

7.3.1 Reject readings from individual strips if the strip slips or breaks in or at the edge of the clamps.

8. Procedure

8.1 Turn the oscillating folding head so that the opening is vertical. Turn motor control switch to the off position. Place a 1-kg weight on the top of the plunger (equivalent to the tension desired on the specimen); tap the plunger sideways to minimize friction effects and lock it in position. Without touching the part of the strip to be folded, clamp the specimen lying wholly within one plane, i.e., flat, and with the sides, parallel to, and not touching the oscillating jaw-mounting-plate. Remove the weight and unscrew the plunger lock to apply the specified tension to the test strip. If the reading of the load indicator changes, reclamp the specimen to give it its proper tension. Zero counter, then start motor.

NOTE 2: The number of the folds may vary by as much as the cube of the applied tension. Use a tension of 9.81 N (1 kgf), but if this gives an unreasonably high or low test result, use more or less tension: 14.72 N or 4.9 N (1.5 or 0.5 kgf) and state the actual tension used in a prominent position in the report.

8.2 Set the counter to zero and place the centrifugal fan so that its inlet is almost touching and is across the specimen and oscillating head. Start the fan and the instrument motor. Fold the strip at a uniform rate of 175 ± 25 double folds per minute until it breaks. Record the number of double folds made before fracture. If there is any appreciable delay between tests on successive specimens, keep the fan running to prevent the head warming by conduction from its shaft.

Anexo 20. Requisitos de pruebas físico-mecánicas para diferentes tipos de papel.

REQUISITOS DE PRUEBAS FISICO-MECANICAS PARA DIFERENTES TIPOS DE PAPEL

	Gramaje gr/m ²	Porosidad 100cc/seg.	Longitud de rotura (m)	Índice de reventamiento (gr/cm ² /g/m ²)	Nº de dobles pliegues (#)	Índice de rasgado (mN-m ² /g)	Blancura %
Papel bond 60	60	40	4000	13	13	2.9	81
Papel bond 80	80	40	4000	13	15	2.9	81
Papel sellado	90	100	4500	25	250	10.2	70
Papel manifold (copia)	30	20	3400	10	40	5.9	78
Papel toalla	50	-	1500	10	-	7.8	70
Papel servilleta	28	-	-	-	-	-	76
Papel cometa (sulfito)	30	-	2500	13	19	3.7	-
Papel para envolver (sulfito)	40	-	3150	14	25	4.4	-
Papel periódico (block escolar)	52	25	2500	5	9	3.9	62
Papel estucado 80 brillante	80	800	4000	13	12	3.9	82
Papel estucado 90 brillante	90	1000	4000	13	14	3.9	82
Papel estucado 120 brillante	120	1050	4000	13	15	3.9	82
Papel estucado 220 brillante	220	1100	4000	13	16	3.9	82
Papel para caratula liviana (cuadernos)	120	40	2200	7	12	7.1	-
Papel para caratula gruesa (cuadernos)	180	70	2200	7	15	7.1	-
Papel periódico satinado (texto escolar)	60	120	2500	10	11	5.0	70

Fuente: NORMA INTINTEC INACAL NTP (1998).

Anexo 21. Matriz de consistencia.

Titulo	Problema	Objetivos	Hipótesis	Definición de operaciones				Recolección de datos		
				Variables	Indicador	Unidad	Método	Técnica	Instrumento	
Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).	General ¿Cuál es el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.)?	General Determinar el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).	General La temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH tiene efecto en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).	Entrada						
				Temperatura	160 y 170	°C	Programación	-	Termómetro	
				Tiempo	45 y 75	min.	Control	-	Cronómetro	
				Concentración de NaOH	15 y 19	%	Iterativo/matemático	-	Balanza digital	
				Salida						
		Específicos ¿Cuál es el rendimiento de la pulpa de paja (<i>Stipa ichu</i> L.) por efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH?	Específicos Determinar el rendimiento en la pulpa de paja (<i>Stipa ichu</i> L.) por efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH.	Específicos La temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH tiene efecto en el rendimiento en la pulpa de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).	Rendimiento	Número	%	(P _s /M _s)X100	Cálculo matemático	-
		¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.) por efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH?	Determinar las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.) por efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH.	La temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH tiene efecto en las propiedades físico-mecánicas en la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).	Propiedades físico-mecánicas	Blancura	° Photovolt	TAPPI T 452-om 1998	Instrumental/lectura	Reflectómetro
		¿Cuáles son las variables óptimas de temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.)?	Determinar las variables óptimas de temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH de la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).	Las variables óptimas de temperatura, tiempo de cocción y la concentración del NaOH afectan en la pulpa formada de paja (<i>Stipa ichu</i> L.).		Índice de rasgado	(mN-m ² /g)	TAPPI T 414-om 1998	Instrumental/lectura	Rasgómetro
						Longitud de rotura	(m)	TAPPI T 404-om 1992	Instrumental/lectura	Tensiómetro
						Doble pliegues	(#)	TAPPI T 511-om 1996	Instrumental/lectura	Plegómetro

APÉNDICES

Apéndice 1. Panel fotográfico del material vegetal y pulpas.



LEYENDA:

- 1: Paja (*Stipa ichu L.*) en crecimiento.
- 2: Almacenamiento de la paja (*Stipa ichu L.*) chipeada.
- 3: Prensado de las pulpas formadas de paja (*Stipa ichu L.*).
- 4: Obtención de probetas para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de pulpas formadas de paja (*Stipa ichu L.*).

Apéndice 2. Panel fotográfico de la determinación de propiedades químicas en muestra de paja y pulpa obtenida de paja (*Stipa ichu L.*).



LEYENDA:

- 1: Determinación de los extractivos en alcohol de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 2: Determinación de cenizas de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 3: Determinación del contenido de lignina de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 4: Determinación de holocelulosa de la paja (*Stipa ichu L.*).
- 5: Determinación de la lignina residual en la pulpa formada de la paja (*Stipa ichu L.*).