



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE
LA MADERA**



**“Posibilidades de uso de la higuera (*Ricinus communis* L.)
en la obtención de celulosa a la sosa, blanqueada [OD(OP)D]
para su uso en papel bond”**

**Que para obtener título de
Ingeniero en Tecnología de la Madera**

Presenta

Rocío Orihuela Equihua

Asesor

Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Co-asesor

M. C. Teófilo Escoto García

Universidad de Guadalajara

Morelia, Michoacán Enero de 2011.

El presente trabajo de investigación “Posibilidades del uso de la higuera (*Ricinus communis* L.) en la obtención de celulosa a la sosa, blanqueada [OD(OP)D] para su uso en papel bond”, fue desarrollado en los laboratorios del Departamento de Madera, Celulosa y Papel “Ing. Karl Augustin Grellmann” de la Universidad de Guadalajara, bajo la dirección del M.C. Teófilo Escoto García de dicha Universidad y bajo la codirección del Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Así mismo se tuvo la asesoría del Dr. Antonio Rodríguez Rivas y M.C. José de Jesús Rivera Prado del DMCyP.

Índice General

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
II.1. Aspectos generales sobre la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.)	3
II.1.1. Localización geográfica	3
II.1.2. Generalidades de la especie	3
II.1.3. Clasificación taxonómica	4
II.1.4. Descripción de las partes de la Higuera	4
II.1.5. Variedades de la especie	5
II.1.6. Cultivo	5
II.1.7. Usos y Aplicaciones	6
II.1.8. Hábitat	7
II.1.9. Zona climática	7
II.1.10. Características macroscópicas de la madera	7
II.1.11. Características microscópicas de la madera	8
II.1.12. Ventajas y desventajas	8
II.1.13. Medición dendrométrica para obtención de volumen	9
II.2. Referencias específicas del uso del tallo de la higuera para papel	9
II.2.1. Descripción del proceso a la sosa para la obtención de la pulpa	11
II.2.2. Pulpeo a la sosa de plantas no maderables	11
II.3. Historia del proceso de blanqueo de pulpas celulósicas para papel	12
II.3.1. Los principios generales del blanqueo de la celulosa	14
II.3.2. Estudios de blanqueo de pulpas celulósicas para papel	16
II.3.3. Papel bond	17
II.4. Análisis Micrográfico y Morfológico	20
III. JUSTIFICACIÓN	22
IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	23
V. METODOLOGÍA	24
V.1. Descripción general de la investigación realizada	24
V.1.1. Recolección de la materia prima Higuera (<i>Ricinus communis</i> L.)	25
V.1.2. Descortezado y secado del material	25
V.1.3. Astillado	26
V.1.4. Determinación de humedad	26
V.2. Proceso químico de cocción a la sosa para la obtención de celulosa a partir de Higuera (<i>Ricinus communis</i> L.)	27
V.2.1. Lavado de la pulpa	27
V.2.2. Desfibrado	27
V.2.3. Depurado	28
V.2.4. Centrifugado y homogeneizado	28
V.2.5. Rendimiento	29

V.2.6	Número de Kappa	29
V.2.7.	Curvas de Refinación	29
V.2.8.	Medición del grado de refinación	29
V.2.9.	Formación de hojas estándar y determinación de las pruebas físico-mecánicas.	30
V.2.10.	Selección de un tratamiento óptimo para el proceso de blanqueo	31
V.3.	Proceso de Blanqueo	31
V.3.1.	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas	33
V.3.2.	Medición de Blancura y opacidad	34
V.4.	Viscosidad	34
V.5.	Análisis de composición química básica	34
V.6.	Análisis macroscópica de la madera de <i>Ricinus communis</i> L.	35
V.7.	Análisis microscópica de la madera de <i>Ricinus communis</i> L.	35
V.8.	Análisis micrográfico y Morfología	35
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
VI.1.	Caracterización y descripción de la planta	36
VI.2.	Medición dendrométrica para la obtención de volumen	38
VI.3.	Proceso de cocción a la sosa	38
VI.3.1.	Propiedades físico-mecánicas de los tratamientos	39
VI.3.2.	Resultados de los tratamientos y selección	39
VI.4.	Resultados de las pruebas físico-mecánicas	40
VI.4.1	Resultados de las pruebas físico-mecánicas del tratamiento óptimo en la pulpa blanqueada	43
VI.5.	Blancura y opacidad de las hojas de papel estándar	45
VI.6.	Viscosidad	45
VI.7.	Análisis químico de las muestras	45
VI.8.	Descripción organoléptica de la madera	46
VI.9	Descripción microscópica de la madera	47
VI.10.	Análisis morfológico y micrográfico	47
VII.	CONCLUSIONES	49
VIII.	RECOMENDACIONES	51
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

Índice de Figuras

	Pág.
Fig. 1	3
Fig. 2	7
Fig.3	8
Fig. 4	24
Fig. 5	25
Fig. 6	25
Fig. 7	26
Fig. 8	26
Fig. 9	27
Fig.10	28
Fig.11	28
Fig.12	29
Fig.13	30
Fig.14	30
Fig.15	34
Fig.16	35
Fig.17	40
Fig.18	40
Fig.19	41
Fig.20	41
Fig.21	42
Fig.22	42
Fig.23	43
Fig.24	44
Fig.25	44
Fig.26	44
Fig.27	44

Fig.28	Rodajas de Higuierilla	46
Fig.29	Cortes típicos obtenidos en la madera de Higuierilla	47
Fig.30	Fibras de higuierilla (<i>Ricinus communis</i> L.)	48

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Propiedades mecánicas y óptimas para papel bond blanco grado 4 de 75 g/m. para los rollos de papel	18
Tabla 2. Características Morfológicas del <i>Ricinus communis</i> L.	20
Tabla 3. Dimensiones e índices de calidad de pulpa de las fibras de <i>R. communis</i> L.	21
Tabla 4. Condiciones del proceso de pulpeo a la sosa de las astillas de Higuierilla.	27
Tabla 5. Primera etapa del proceso de blanqueo	32
Tabla 6. Segunda etapa del proceso de blanqueo	32
Tabla 7. Tercera etapa del proceso de blanqueo.	33
Tabla 8. Cuarta etapa del proceso de blanqueo.	33
Tabla 9. Descripción del ejemplar de estudio	36
Tabla 10. Medición dendrométrica para la obtención de volumen	38
Tabla 11. Evaluación de la pulpa de Higuierilla de acuerdo al proceso de cocción.	38
Tabla 12. Resultado de las pruebas Físico-mecánicas de cada hoja sin blanquear.	39
Tabla 13. Características físico-mecánicas en hojas de pulpa blanqueada.	43
Tabla 14. Resultados del blanqueo de celulosa con 0', 6'. 12', 26'.	45
Tabla 15. Viscosidad de la pulpa sin blanquear y blanqueada.	45
Tabla 16. Análisis químico de la Higuierilla (%).	46
Tabla 17. Resultados de la microscopia	46
Tabla 18. Características Morfológicas y clasificación de los elementos constitutivos de la Higuierilla.	48
Tabla 19. Micrografía Medina (1996)	48

I. INTRODUCCIÓN

México posee una gran gama de especies arbóreas, así como una gran diversidad de plantas anuales y vegetales no maderables, las cuales son una parte fundamental en la reserva ecológica y al mismo tiempo en la economía del país.

La superficie total forestal del mundo es de 3,800 millones de hectáreas, o sea aproximadamente una tercera parte de la superficie terrestre. El área total del bosque creado por el hombre se estima en unos 100 millones de hectáreas, más de la mitad, aproximadamente 53 % de esta madera, se utilizó como leña para cocinar alimentos y calefacción de hogares, construcción de casas, muebles, utensilios para el hogar entre muchos otros; y en América del Sur y en África tropical la proporción de madera usada como combustible fue de 90%.

La creciente demanda al uso de madera radica en primer lugar para leña, para producción de papel, tableros y para elaboración de paneles, la construcción y, posiblemente en ciertas regiones para transformación en productos químicos como combustibles (Johnston, 1989).

Del resto de vegetales no maderables (arbustivos), que normalmente no son utilizados para fabricar productos madereros y papeleros, se sabe muy poco sobre su aprovechamiento integral. Este es el caso de la Higuera (*Ricinus communis* L.), material que es considerado en el mundo como maleza o como simple arbusto que crece en bordos de carreteras, ríos y lotes valdíos (<http://infojardin.com/ricinus.htm>).

El tipo de fibra usada para fabricar papel es completamente variado en diversos países, pero desde un punto de vista mundial, la madera representa del 85 al 90% de las materias fibrosas consumidas. Otro punto interesante, es el hecho de que aproximadamente el 20% de la madera para pulpa es proporcionada por las maderas duras latifoliadas (Rodríguez, 1971).

Las plantas no maderables más importantes para la industria de pulpa y papel son los desechos agrícolas (bagazo de caña), en los que normalmente se emplea el proceso a la sosa y el blanqueo de pulpa (<http://www.allbusiness.com/ingenier-a/>). Para el proceso de blanqueo de pulpas se han usado reactivos químicos que contienen cloro (elemental o gaseoso) (C), hipoclorito (H) o con dióxido de cloro (D), y las secuencias de blanqueo habitualmente tradicionales eran CEHDED y CEDED. La regla es que la gran mayoría de la lignina residual se removía con el producto químico más barato, y sólo los vestigios finales de lignina se removían con dióxido de cloro más caro. El blanqueo ECF, donde se usa dióxido de cloro pero no cloro gaseoso, rápidamente se volvió común, los países nórdicos abandonaron completamente

el uso de cloro gaseoso en el blanqueo de pulpa en 1994, y desde ese momento el método dominante ha sido el blanqueo ECF. La pulpa puede también blanquearse totalmente sin químicos a base de cloro. Este tipo de blanqueo químico a base de oxígeno es normalmente conocido por la abreviatura TCF. Los químicos de blanqueo en el blanqueo TCF son químicos conteniendo oxígeno, tales como oxígeno, peróxido de hidrógeno y ozono. Los últimos compuestos químicos a ser usados son los perácidos. Estos son también químicos que contienen oxígeno (<http://www.knowpulp.com/spanish/demo/spanish/pulping/bleaching/>).

La palabra blanqueo proviene del vocablo anglosajón *blaecan*, que significa “desteñir”. La celulosa y las hemicelulosas son de color blanco y no contribuyen al color oscuro que tiene la pulpa después del proceso de cocción; el blanqueo oxidativo se lleva a cabo con el peróxido de hidrógeno el cual es un ácido débil.

El concepto principal para este trabajo de tesis, se enmarca dentro de un proyecto que se llevó a cabo en el Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, que busca promover el aprovechamiento del tallo de la Higuierilla para hacer papel bond, mediante un proceso de pulpeo a la sosa y así valorar sus propiedades que tiene, aplicando una secuencia de blanqueo [OD(OP)D] oxígeno, dióxido, oxígeno-peróxido, dióxido, y demostrar una posibilidad de blancura en el papel y comparar sus resultados obtenidos con los reportados en la literatura.

II. MARCO TEÓRICO

II. 1. Aspectos generales sobre la higuera (*Ricinus communis* L.)

II. 1.1. Localización geográfica

La Higuera (*Ricinus communis* L.) es originaria del Norte de África (Fig. 1) y posiblemente de Asia; con mucha frecuencia crece en muchas regiones tropicales, donde se conoce desde hace más de 6 000 años. Los países donde actualmente es cultivada son: China, India, Brasil y Colombia. En México se está fomentando el cultivo de la Higuera, para la obtención de aceite y los estados productores en México son: Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Campeche, San Luis Potosí, Veracruz, Colima, Guerrero, Chiapas y Tabasco (<http://www.zonaverde.net/ricinuscommunis.htm>).

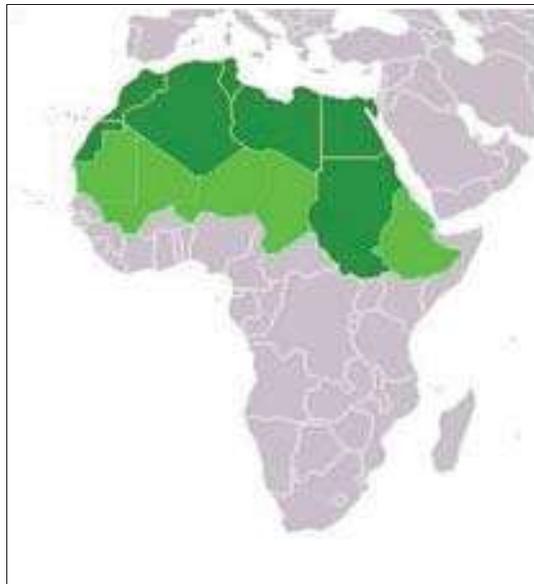


Figura 1. Área de localización de la Higuera en el norte de África

II.1.2. Generalidades de la especie

Soares y de Souza (2006) señalan la etimología del nombre botánico: *Ricino* =garrapata, por la apariencia de las semillas; *communis*= del latín communis=e=muy común o corriente.

Soler (2001) menciona el nombre científico y nombres comunes de la Higuera:

⊕ Nombre científico: *Ricinus communis* L.

⊕ Nombres comunes: Higuierilla, Castor Oil Plant, Catapucina, Higuierilla infernal, Tártago, etc.

Altura: 5 m.

Diámetro del árbol: 0.30 m.

Densidad de la madera: 0.56 g/cm³

II.1.3. Clasificación taxonómica

Sobre su clasificación taxonómica Cronquist (1981) señala lo siguiente:

Reino: Plantae
Subreino: Tracheobionta
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Rosidae
Orden: Malpighiales
Familia: *Euphorbiaceae*
Subfamilia: Acalyphoideae
Tribu: Acalypheae
Subtribu: Ricininae
Género: *Ricinus*
Especie: *Ricinus communis* L.

II.1.4. Descripción de las partes de la Higuierilla

Soares y de Souza (2006) muestran a continuación la descripción de cada parte del árbol:

- **Altura:** de 3-6 m, porte muy recto.
- **Tallo:** lampiños, ramificados y rojizos puede tener colores y formas diferentes estar o no estar cubierto de cera, el tallo de la planta es frágil y sujeto a quebraduras.
- **Corteza:** lisa, de color amarillento grisáceo.
- **Madera adulta:** el tallo o la madera es hueca cuando la planta es joven, pero tiende a ser leñoso cuando es ocupado por un tejido esponjoso a medida que la planta madura. Albura de color blanco, duramen de café oscuro, vetado suave.
- **Hojas jóvenes:** no opuestas, en más de cinco pares, las divisiones ovado-oblongas a lanceoladas agudas o acuminadas, borde irregular dentado-granuloso.
- **Hojas adultas:** pecioladas tan largo o más largo que la lámina orbicular, de 10 a 60 cm de diámetro, en forma de palma, con 5-11 lóbulos lanceolados anchos y márgenes dentados aserrados, tienen forma de estrella, gruesas de color verde oscuro y brillante por la haz y verde pálido mate por el envés; nervadura bastante regular.

- **Inflorescencia:** las flores están agrupadas en densas inflorescencias; las masculinas con un perianto de 6 a 12 mm de largo, tienen los estigmas o polen de color amarillo y la flor femenina es de 4 a 8 mm de largo son globos o tubérculos blandos con estambres de color rojo que parecen pelos gruesos, su flor puede ser fecundada por el polen de otra planta.
- **Frutos y/o semillas:** el fruto es una cápsula subglobosa o dehiscente de 3 valvas ovoide o inclusas, con cubierta de espinas o deshilachadas, espinas cortas y gruesas (equinado), 3 semillas elipsoides de color pardo-rojizo, con manchas, algo aplanadas de 10 a 17 mm de largo, lisas, brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris, a menudo unidas por los extremos y sobresaliendo por el borde del receptáculo conspicuamente carunculadas.
- **Raíz:** es pivotante y puede alcanzar hasta 3 m de profundidad constituyéndose en el amarre principal de la planta.

II. 1.5. Variedades de la especie

Fernández (2008) menciona en su investigación referente al tallo de la Higuierilla, que existen una gran variedad de especies de Higuierilla, ya sea por tamaño de la planta, el color, la forma, el tamaño de sus semillas o el tamaño de los racimos entre otras, de las más comunes se encuentran:

Ricinus communi major (Ricino grande); este es el más conocido, tiene hojas grandes de color verde claro, frutos numerosos casi esféricos e indehiscentes, su aceite es más indicado para su uso industrial.

Ricinus communis minor (Ricino pequeño); de semillas pequeñas, es dehiscente, planta pequeña y muy ramificada desde la base.

Ricinus communis sanguineus (Ricino sanguínea): los tallos, hojas y frutos de este ricino son de rojo intenso. En regiones oscuras y frías se cultiva como ornamental.

Ricinus communis viridis (Ricino viridis); tallos y peciolos son de color verde claro, con tintes ligeramente rosados en los nudos, semillas grisáceas manchadas de pardo. Se adapta a regiones templadas con lluvias.

II.1.6. Cultivo

Soares y de Souza (2006) mencionan que la época adecuada de siembra es un factor fundamental, cuando la humedad y/o temperatura no satisfacen los requerimientos del cultivo, pueden ocurrir pérdidas importantes, como por ejemplo pudrición de las inflorescencias hasta el 60% por exceso de humedad. La planta debe podarse para evitar que alcance alturas inapropiadas, se considera que la propagación de la Higuierilla es sexual, por medio de las semillas, esta siembra se hace de forma directa y su distancia de siembra

depende de la variedad y si se va a asociar con otro cultivo. Se siembra de 3-5 cm de profundidad para conseguir un alto porcentaje de germinación.

En el cultivo de esta especie, su crecimiento es de manera silvestre a gran escala, y mediante su desarrollo necesita de climas cálidos y secos con una temperatura entre 20 y 30°, requiere de gran luminosidad y no soporta heladas en cualquier etapa del cultivo. La planta prospera a nivel del mar hasta 2500 msnm (metros sobre el nivel del mar), tiene un promedio de tres años de vida, al tercer año se debe renovar por siembra nueva; esta se hace de manera directa a una distancia que va a depender de la variedad y del tipo de cultivo a establecer, su germinación empieza a los 10 o 15 días, a los 6 o 7 meses empieza a dar sus primeros frutos. Su desarrollo es favorable en distintos lugares, pero requiere de un suelo bien drenado, profundo, permeable y utilización de materia orgánica. Presenta un buen sistema de raíces que le permiten explorar áreas relativamente profundas.

Las mejorías que presenta esta planta es que resulta ser económica para el agricultor, ya que no requiere grandes insumos para el cultivo; además de ser una opción viable para ellos.

Otra cualidad que posee, es disminuir el nivel de dióxido de carbono (CO₂), ya que para fabricar el aceite, la planta toma dióxido del aire y mediante la fotosíntesis lo convierte en aceite, lo cual regula la contaminación.

II.1.7. Usos y Aplicaciones

Niembro (1990) menciona que la planta tiene diversos usos, al menos 700 aplicaciones; por ejemplo, los tallos pueden ser utilizados para la fabricación de papel, pero las semillas son lo más importante económicamente. Se extrae el aceite de ricino o de castor, que se utiliza como purgante, pero también como lubricante técnico importante, además para la manufacturación de jabones, tinturas, plásticos, fungicidas, champú, entre otros más.

Sin embargo el principal uso de la planta es la extracción de aceites a partir de las semillas, solicitado por la industria por tener diferentes aplicaciones ya que es una oleaginosa natural cuyas propiedades le brindan la facultad de poder transformarse en productos que pueden sustituir a derivados del petróleo.

(www.globalagroculturalessources.com/spa/Biofuel/castor.asp).

Después de la recolección de las semillas los tallos quedan como desechos y en referencia con las hojas son empleadas para cataplasma que son para aliviar padecimientos físicos y/o padecimientos corporales (Sánchez, 2006).

II.1.8. Hábitat

Niembro (1990) describe el lugar donde habita la Higuierilla como ruderal, arvense y ubicado en los márgenes de los ríos, en áreas abiertas de bosque de encino, pino-encino, y otras latifoliadas desde el nivel del mar hasta 2500 msnm.

II.1.9. Zona climática

Soares y de Souza (2006) dice que las zonas climáticas son de baja precipitación y es necesario sembrar la semilla después de las primeras lluvias, y para zonas con lluvias fuertes y prolongadas la siembra debe efectuarse calculando que la cosecha coincida con el tiempo seco; para que su desarrollo sea normal en la planta ya que esta especie se consigue en climas cálidos con baja humedad relativa.

II.1.10. Características macroscópicas de la madera

Soler (2001) da a conocer los siguientes aspectos organolépticos, y para indicar las características en la figura 2, se observa una muestra de la madera de higuierilla:

Aspectos	Higuierilla (<i>Ricinus communis</i>) L.
Color	
Albura	Café claro amarillento
Duramen	Castaño amarillento
Olor	No se percibe
Sabor	No se percibe
Hilo	Recto a inclinado
Textura	Media
Veteado	Moderadamente pronunciados
Brillo	Opaca
Anillos de crecimiento	No bien definidos

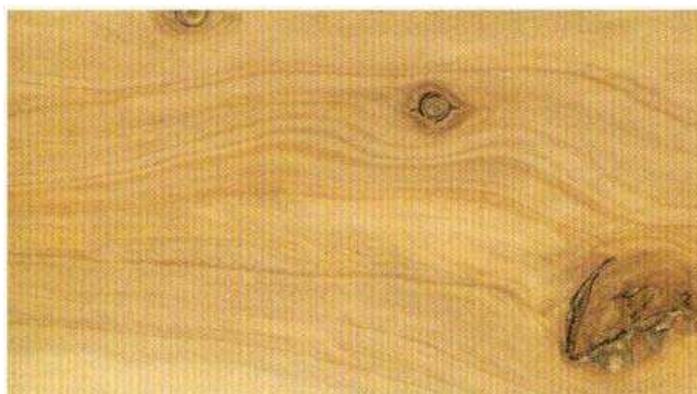


Figura 2. Muestra de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) (Soler, 2001)

II.1.11. Características microscópicas de la madera

Ilic (1991) muestra los tres cortes típicos (transversal, radial y tangencial) de la Higuierilla (Fig. 3), donde se aprecian radios anchos, parénquima leñoso, poca fibra pero su longitud es buena con pared delgada, su rendimiento es bajo, presencia de parénquima paratraqueal disociado, mucho radio, a simple vista se estima que puede tener un aproximado del 35% de fibra, 35% parénquima radial, 25% poros y un 5% de parénquima leñoso.

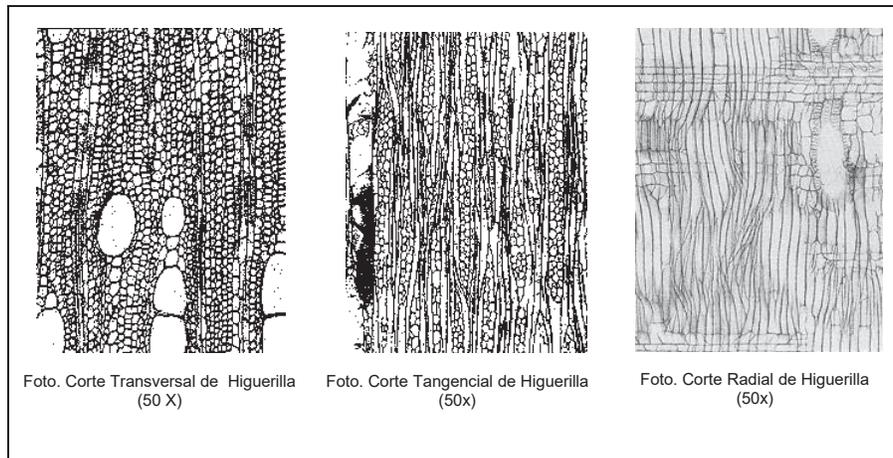


Figura 3. Cortes típicos de la madera de Higuierilla (Ilic, 1991)

II.1.12. Ventajas y desventajas

Una de las ventajas de la Higuierilla que mencionan Soares y de Souza (2006) es el rápido crecimiento y que se puede cosechar todo el año, ya que el arbusto tiene racimos en distintos grados de maduración. En la comercialización por cada 3 toneladas de semilla se puede obtener una tonelada de aceite que es su principal producto, todas las partes de la higuierilla son tóxicas, particularmente las semillas por la presencia de una sustancia llamada “ricina”.

Fernández (2008) da a conocer la ventaja que tiene la pulpa de higuierilla para el proceso de fabricación de papel:

- El proceso es relativamente fácil, en cuanto a la preparación de los reactivos.
- El sistema de cocción es simple.
- Obtiene buenos resultados cuando se usan materiales no maderables.
- Sistema sencillo de recuperación de reactivos.
- Las pulpas obtenidas de higuierilla que son parecidas al bagazo de caña con el proceso a la sosa, y presentan muy buenas propiedades para hacer usadas en los papeles de escritura (papel bond).

Sobre las desventajas Soares y de Souza (2006) mencionan que si se ingieren las semillas o alguna parte de la especie, causa intoxicación y los síntomas son: náuseas, vómitos, dolor de estómago, ansiedad, piel caliente, pulso acelerado y si la dosis es fuerte, convulsiones y hasta la muerte; aunque a temperaturas mayores a 50° C se inhibe la toxicidad del compuesto.

Fernández (2008) describe las desventajas que tiene el tallo de la Higuerilla para pulpa.

- Su rendimiento es del 35 al 45%.
- El reactivo suele atacar en forma excesiva el material fibroso, degradándolo si no se tiene un buen control de % NaOH, temperatura y el tiempo de cocción.

II.1.13. Medición dendrométrica para obtención de volumen.

Romahn (1994) dice que el área basal de la sección transversal tomada a 1.3 m de altura en un fuste, o sea a la altura del diámetro normal, se denomina “área basal”, usualmente se asume que la forma de la sección es circular y se calcula en base del diámetro.

$$A = \pi r^2 = 3.1416 * r^2$$
$$A = \pi d^2 / 4 = 0.7854 d^2$$

$$A = 0.7854 d^2$$

Cubicación Newton para los fustes o troncos de los árboles deben dividirse en trozas de igual o diferente longitud, se cubican por separado de tal forma que la precisión de la cubicación será mayor entre menor sea la longitud de las trozas en que se divide el fuste.

Cubicación Huber para obtener el volumen de un fuste basta multiplicar el área de su sección media por su longitud.

II. 2. Referencias específicas del uso del tallo de la higuerilla para papel

La información que se muestra en esta sección es sobre el uso del tallo de la Higuerilla, información es escasa, pero sin embargo y específicamente para el aprovechamiento leñoso, existen algunas referencias sobre el tratamiento químico para la obtención de pulpa para papel.

Nagaty (1982) en su investigación (Alkaline Pulping of *Ricinus communis* and Paper Made Therefrom) menciona del uso el tallo de higuerilla, con el cual obtuvo pulpa celulósica mediante dos procesos: sosa y Kraft, y en su trabajo encontró que el papel fabricado con pasta a la sosa producida en dos etapas a temperaturas de 160 °-170 °C, mostró la mayor resistencia al explosión. La mayor elongación es de pasta de papel producida por una etapa de fabricación a 170°C. La conclusión a la que llegaron en este estudio, fue que el proceso al sulfato o

kraft fue mejor que el de la sosa, ya que para fines de blanqueo de la pulpa es mejor en este proceso, así como del proceso tradicional en la obtención de papel hecho de madera convencional. En la tabla 1 se muestran las condiciones químicas para la cocción alcalina de tallos de higuera.

Agarwal (1992) en un estudio químico de tres especies donde incluye a *Ricinus communis* indica que estas plantas contienen alfa celulosa con un rango de 42 a 70% y que son útiles para la elaboración de pulpa y papel. En este estudio concluye que las tres especies estudiadas tienen un potencial promisorio, como una importante fuente de fibra para la elaboración de papel para los países tropicales. Los resultados de los estudios anatómicos como los morfológicos indican que las estructuras de estas plantas no maderables son comparadas abiertamente con las maderables, lo cual ayuda a facilitar la deslignificación con bajos requerimientos químicos. Los resultados finales indicaron que estas plantas pueden ser utilizadas para producir pulpa con propiedades satisfactorias.

Fonseca (2006) da a conocer el objetivo del estudio que fue mezclar fibra de higuera con fibra de cartón corrugado, determinó la composición química de acuerdo a métodos Tappi y las características morfológicas de las fibras, determinando sus dimensiones, longitud y diámetro de la fibra como diámetro de lumen, con el fin de determinar los índices de calidad para la fabricación de la especie para que sea apta en la fabricación de papel, y sugiere que la pulpa sea tratada mediante el proceso tradicional de pulpeo; a la sosa para obtener celulosa, el tipo de papel dependerá de las condiciones de cocción 16-20% NaOH, relación licor/madera 5/1, temperaturas máximas de cocción 150-170°C y tiempo de temperatura máxima 90-120 minutos.

Fernández (2008) llevó a cabo una optimización de mezclas: Higuera (*Ricinus communis* L.) y paja de trigo (*Triticum sativum*) para papel ondulado (*médium*), mediante proceso a la sosa. En este estudio consideró un porcentaje de NaOH del 16% para higuera y 10% para paja, con un tiempo de 90 min, a 170°C en el proceso de cocción. Los tiempos de refinación seleccionados para las pulpas fueron 12 minutos para la pulpa de higuera y 4 minutos para la pulpa de paja de trigo. Esta investigación menciona que el estudio de la higuera tratada sólo con una planta no maderable para su aprovechamiento y utilización para papel ondulado sería una opción adecuada ya que también podría reciclarse con otro tipo de fibras ya tratadas.

Morales (2009) obtuvo celulosa a partir de astillas de Higuera al 100% mediante la optimización de un proceso a la sosa para la elaboración de cartón corrugado (*médium*). Las condiciones que se consideraron en el proceso de optimizar la pulpa son: % reactivo (NaOH), tiempo y temperatura de cocción y se seleccionaron los tratamientos y tiempos de refinación mediante curvas de

refinación. Se encontró que las pulpas de Higuierilla (*Ricinus communis* L.), con las mejores propiedades físico-mecánicas fueron las obtenidas en los tres tratamientos los cuales fueron seleccionados como el T4, T7 y T8, de acuerdo con el análisis estadístico que se realizó menciona que la temperatura es el factor que más influencia tiene en las propiedades físico-mecánicas.

II. 2.1. Descripción del proceso a la sosa para la obtención de la pulpa.

Libby (1977) menciona que el proceso a la sosa fue el primero, puramente químico en utilizarse en el mundo, y prototipo de los procesos químicos actuales, aunque en un principio se utilizaron plantas anuales como la paja y el ramio, que reportan muy buena calidad en las pulpas obtenidas. Las pulpas producidas por el proceso a la sosa se utilizan para la fabricación de papeles finos, escritura entre otros y para mezclarlos con otras pulpas, dependiendo de la materia prima, principalmente plantas anuales y maderas duras, las variables a controlar más comunes en este tipo de procesos son: tiempo de cocción, % de reactivo, temperatura de cocción y relación agua/materia seca (hidromódulo).

Sanjuán (2007) dice que la pulpa es el producto básico de la madera y de los materiales no maderables o de fibras recicladas, que principalmente es utilizada en la fabricación de papel, y el primer proceso de la fabricación de pulpa química de madera fue hirviendo madera en álcali cáustico a una temperatura alta; este se conoce ahora como proceso a la sosa; la pulpa a la sosa no encontró una buena aceptación en Inglaterra y Burgess. El reactivo principal en este proceso es el hidróxido de sodio (NaOH) en solución con una concentración variable en el licor de cocción.

Fernández (2008) el rendimiento de madera a pasta en el proceso a la sosa es de entre 50 y 70% para maderas duras y 35-50% aproximadamente en fibras no maderables, el consumo de sosa es variable dependiendo del tipo de fibra.

Anzaldo y Zapata (1992) menciona que para su estudio las condiciones promedio del proceso a la sosa se utilizó reactivo 15-20%, tiempo 1-2 hrs., y temperatura 155-175 °C, y las características físicas del papel obtenido por este método, son muy parecidas a las de los procesos mecánicos, y sus aplicaciones son las mismas, aunque este método está casi en desuso debido a las mejores propiedades obtenidas por otros métodos.

II.2.2. Pulpeo a la sosa de plantas no maderables

Sanjuán (1997) señala que el proceso a la sosa requiere de 10 a 15% de NaOH referido al material fibroso base seca y una temperatura de 160 a 170 °C. El rendimiento por lo regular debe de ser de 40 a 55% y dependiendo en gran medida del tipo y calidad de la materia prima, especialmente del contenido

de lignina y de la proporción de células de parénquima. Un contenido muy alto de parénquima no sólo afecta el rendimiento sino también incrementa el consumo de álcali, disminuyendo la resistencia de la pulpa y aumenta el contenido de finos con lo que baja rápidamente la drenabilidad. Respecto al proceso de pulpeo usado para obtener celulosa a partir de plantas anuales y tallos no maderables se encuentran reportados el proceso al sulfito neutro, sulfito alcalino y el proceso a la sosa, este último utilizado más frecuentemente por tener mejores resultados.

II.3. Historia del proceso de blanqueo de pulpas celulósicas para papel

Rapson (1963) da a conocer algunos antecedentes históricos del blanqueo:

Cuando el hombre antiguo comenzó a vivir en las comunidades, se hizo necesario el desarrollo de una economía agrícola como vegetativa para el desarrollo del papel, después de haber descubierto la forma de separar las fibras de los tallos vegetales o de lino de la parte leñosa por un proceso de desfibrado, se encontró eran muy fuerte y pudieran ser utilizado para hilado o tejido en textiles, entre ebullición y lavado, los productos eran expuestos en los prados de hierba a la acción del sol en estas condiciones, para que la materia colorante natural poco a poco se desvanecería y se convertiría en el paño blanco. Durante siglos, este fue el único método conocido de la decoloración de tejidos vegetales, y para los fabricantes de papel en el blanqueo se mencionan algunos:

- El blanqueo Grass fue el único método conocido para el blanqueo de textiles vegetales hasta el descubrimiento del cloro elemental por el químico sueco Carl Wilhelm.
- Scheele, en 1774 observó inmediatamente que el cloro llegaba a tener un blanqueo de gran alcance en la materia colorante en las fibras vegetales y, por tanto era pionero en el uso de cloro como agente blanqueador, los fabricantes de textiles rápidamente reemplazaron el blanqueo por cloro, pero el proceso de nuevo tuvo que ser llevado a cabo con mucho cuidado porque el cloro, especialmente si se usaba en exceso, tendría un profundo efecto degradante en el producto terminado.
- Berthollet químico francés descubrió que si el cloro se absorbe en una solución de carbonato de potasio, para una solución del blanqueo de gran alcance sería eficiente en la formación de la pulpa sin degradar de los productos terminados.
- Eau de Labarranque, el nombre de su inventor, químico francés que descubrió una solución de blanqueo similar el cual podría hacerse

mediante la absorción de cloro en una solución de sosa cáustica o carbonato de sodio.

- Tennant sobre su proceso en 1798 de Escocia, descubrió que el cloro puede ser disuelto en una mezcla de leche en un determinado tiempo y una vez instalado, la solución clara fue también una solución satisfactoria de blanqueo.
- En 1799, se descubrió que el cloro puede ser absorbido en seco, obtendría un monopolio práctico de fabricación de la capacidad blanqueadora.
- En 1898, Cross y Bevan, que fueron los pioneros en el proceso de rayón viscosa en Inglaterra, publicaron un método analítico para el aislamiento de celulosa a partir de material vegetal, el material húmedo se saturaba con gas de cloro elemental, se lavaban y se cocían en la solución de clorito de sodio, esta secuencia se repetía hasta que el material blanco final se mantuviera por lo cual se convirtió en un método estándar para el aislamiento de la celulosa y el producto llegó a ser conocido como celulosa Cross Bevan.
- La pulpa Kraft es bastante diferente a la pulpa a la sosa, sin embargo los residuos de lignina clorada no es soluble en solución de ácido y debe ser extraído con sosa cáustica. La mayoría de las fábricas con cloro e hipoclorito sólo se vieron obligados a dividir el blanqueo con hipoclorito en dos o más etapas para mantener la concentración de hipoclorito lo suficientemente baja para evitar una excesiva degradación.
- El dióxido de cloro es muy explosivo y en forma concentrada no facilita su transporte, al ser utilizadas casi no tiene degradantes para la celulosa, pero no destruye el color que queda en la fibra. Esto ha permitido a las fábricas de papel kraft producir pasta de alta blancura y alta resistencia de la estabilidad del color excelente, su uso también es muy corrosivo y tóxico.
- Un agente de blanqueo utilizado con pastas químicas es el peróxido de hidrógeno o de sodio, los peróxidos tienen efecto degradante muy poco sobre la celulosa, y no sólo lo hacen blanquear la materia colorante, sino también actuar para evitar la regresión de color. Por esta razón, el peróxido se utiliza a veces como una etapa final en una operación de múltiples etapas; los peróxidos son capaces de aumentar la blancura hasta un 15%.

- Otros agentes oxidantes tales como el peracetatos, los perboratos, persulfatos, y el ozono han sido objeto de numerosas investigaciones, pero su costo es demasiado alto por completo o tienen demasiada acción degradante de la celulosa.

II. 3.1. Los Principios generales del blanqueo de la celulosa

Rapson (1963) menciona algunos principios del blanqueo de celulosa y da su definición:

- *Los Objetivos de blanqueo de la celulosa.*- Es hacer la pulpa blanca y brillante a la vista, se desea que al blanquear la pulpa no provoque daños en las resistencia del papel, y en algunos casos se desea purificar la pulpa, durante su proceso en la disolución de la lignina, resina, los iones de metal, y al mismo tiempo para reducir la viscosidad de la pulpa a un nivel predeterminado, los propósitos que se desea hacer la pulpa no sólo más blanca y más brillante, sino también para que sea estable y no se cambie en amarillo y pierda su brillo o la fuerza sobre el envejecimiento, es importante mantener el costo de la decoloración a un mínimo, esto significa seleccionar químicos que permiten blanquear a las especificaciones requeridas.
- *Química general de la decoloración o blanqueo.*- Las principales sustancias que absorbe la luz en la pulpa de madera se derivan de los componentes de la lignina y la resina de la madera original, la eliminación de la lignina y resina implicaría una pérdida sustancial en el rendimiento de la pulpa de la madera. Las pastas son generalmente blanqueadas sin disolver la lignina, esto se puede hacer con peróxidos o hidrosulfitos, en algunos casos ambos tratamientos son utilizados de forma consecutiva para alcanzar una mayor blancura, y en el blanqueado si no se elimina un poco la lignina puede consume cantidades más grandes de productos químicos para cada punto en el aumento de brillo.

El cloro es el agente más oxidante disponible y reacciona muy rápidamente con la lignina en baja temperatura, causando sólo daños menores a la fracción de carbohidratos de la pulpa. La pulpa con frecuencia es más oscura después del tratamiento con cloro, y por lo general un color dorado-anaranjado. Los productos de su reacción con la lignina son fácilmente solubles en soluciones diluidas de hidróxido de sodio.

El segundo tratamiento en los procesos de blanqueo es por tanto una extracción con solución acuosa diluida de hidróxido de sodio para disolver la lignina clorada y oxidada. La sosa cáustica (NaOH) para la etapa de

extracción, disuelve algunos componentes de la resina y de hemicelulosas, además la oxidación de la pulpa elimina parte de la lignina restante. El blanqueo puede realizarse con varios reactivos se ha utilizado durante más de un siglo, porque es barato y bastante eficaz. El hipoclorito de sodio se usa en algunas fábricas, principalmente porque es mucho más simple de preparar a partir de cloro y sosa cáustica. El dióxido de cloro ha sustituido al hipoclorito en gran medida, el peróxido de hidrógeno se utilizan en algunas fábricas.

- *El daño a los carbohidratos de carbono durante el blanqueo.*- Los hipocloritos, no son muy selectivos en la oxidación de la lignina, dado que el tratamiento de hipoclorito se realizan generalmente en soluciones alcalinas, las cadenas moleculares de celulosa se rompen en cierta medida, y la viscosidad disminuye, algunos grupos carbonilo son más oxidados a grupos carboxilo, especialmente a pH más alto, lo que aumenta la estabilidad hacia el álcali y hacia el envejecimiento, pero también aumenta el intercambio de cationes de la pulpa, causando que se conservan una mayor proporción de iones de metal de cualquier agua en contacto con él.

Cualquier agente oxidante reacciona con la pasta en dos formas generales: al reaccionar con la lignina y otros materiales no celulósicos en la pulpa, y para degradar la celulosa y la hemicelulosa.

- *Etapas de blanqueo.*- La blancura que se puede lograr puede ser en varias etapas entre ellas, cloración, extracción cáustica e hipoclorito u otros agentes oxidantes, no importa cuánto de estos reactivos más puedan aplicarse, el nivel de blancura que se pueda lograr con una degradación aceptable varía con cada tipo de pasta, y no está directamente relacionado con la cantidad de agente oxidante que se agregue una pulpa.
- La pasta al sulfito requiere un mínimo de un agente oxidante total (incluyendo cloro en la cloración), y fácilmente llega a un nivel de blancura de 85 a 87%.
- La pulpa semiquímica al sulfito para papel requiere de una gran proporción de oxidante debido a la gran cantidad de lignina dejó en ella.
- La pulpa kraft con tres etapas (C,E,H) consume menos químicos pero no puede ser blanqueada por encima de 72-75%.

Aunque el cloro es barato, otros agentes oxidantes se han probado en el laboratorio para el blanqueo de la celulosa, y dos de ellos, como el dióxido de cloro y peróxido, se utilizan a gran escala.

- El dióxido de cloro tiene la capacidad única para oxidar la lignina con el ataque insignificante sobre los hidratos de carbono en las condiciones que normalmente se utilizan para el blanqueo de la pulpa, no es el más cercano al agente blanqueador ideal, pero se ha sustituido el hipoclorito como agente de blanqueo de la pulpa, todavía no es lo suficientemente barato para ser utilizada en lugar del cloro salvo en algunas circunstancias especiales.
- Los peróxidos, tanto de hidrógeno y de sodio, se utilizan ampliamente para el blanqueo de pasta mecánica y pulpas de alto rendimiento, y menos extensivamente para el blanqueo de pastas químicas. El peróxido es la mejor opción después de que otros agentes oxidantes como el hipoclorito y dióxido de cloro han aumentado el brillo a un nivel alto. El peróxido aumenta el brillo de unos puntos más altos y hace que la pulpa sea más resistente al amarillamiento con el tiempo.

El papel, como todos los materiales compuestos en gran medida de la celulosa, tiende a convertirse en amarillo con la edad, lo que disminuye su brillo. La velocidad a la que esto ocurre se puede influir mucho por las condiciones utilizadas en el blanqueo. Por ejemplo, si se utiliza hipoclorito a pH 10, la estabilidad del color de la pulpa blanqueada es mucho mayor que si se utiliza a un pH de 7. Esto se debe a la formación de grupos carbonilo en el pH más bajo, que se oxidan más a los grupos carboxilo en el pH más alto. El dióxido de cloro no genera grupos carbonilo por debajo de un pH 7, pero tampoco se oxidan los grupos existentes de aldehído a carboxilo para mejorar la estabilidad del color. Las etapas de extracción cáustica mejoran la estabilidad del color, tal vez por la ruptura de las moléculas de hidratos de carbono grupos carbonilo, disolviendo los fragmentos más pequeños, y por lo tanto la eliminación de grupos carbonilo, que causa la reversión de color.

II.3.2. Estudios de Blanqueo de pulpas celulósicas para papel

Guerra (1974) en su trabajo explica que el método de blanqueo químico tiene por objetivo quitar los componentes de lignina sin dañar la pasta, dejando únicamente celulosa y hemicelulosa como sea posible.

Libby (1977) menciona que el blanqueo de las fibras celulósicas es una parte importante en la fabricación de la pulpa que se va a usar en papel blanco y dentro de cada paso en el proceso, existen muchas variables que están determinadas por el tipo de reacción deseada en dicho paso y por las condiciones de operación como son: el pH, consistencia, adición de reactivos, concentración de reactivos, temperatura y tiempo.

Sanjuán (1997) menciona que en la etapa del oxígeno este le ayuda a la pulpa para deslignificarlo. La etapa de dióxido, es uno de los agentes químicos más

importantes en el blanqueo de pulpas químicas, ya que reacciona preferentemente con la lignina sin ir en deterioro de los carbohidratos. Estas características lo convierten en un agente capaz de obtener pulpas estables, fuertes y con un alto grado de blancura. En la etapa con oxígeno y peróxido, el oxígeno aumenta el grado de deslignificación sin afectar la viscosidad de la pulpa, debido a que las reacciones con carbohidratos son escasas. Y en el caso del peróxido la adición de este permite disminuir la cantidad de oxidante a utilizar en una etapa posterior; la etapa de dióxido va a dar el efecto final de blanqueo de la pulpa, sin degradarla significativamente.

Vera (2002) en su estudio sobre estabilidad de los carbohidratos del *Pinus radiata* durante los procesos de obtención y blanqueo de pulpas, indica que la intención del blanqueo es atacar los cuerpos de color y lignina de la pulpa para proporcionarle brillantez como color a la pulpa. Usualmente los blanqueos oxidativos utilizan peróxido de hidrogeno, oxígeno y ozono. Para la etapa de blanqueo con dióxido de cloro, este ocasiona un gran incremento de blanqueo. Este blanqueador está catalogado como una de las mejores etapas simples para remover el color de la pasta. El peróxido de hidrogeno es un compuesto químico que puede ser descompuesto en oxígeno y agua por iones metálicos, el blanqueo con peróxido normalmente se lleva a cabo a consistencia media y alta con temperaturas de 60 a 80°C por un tiempo que va de dos a cuatro horas, para pulpas químicas y es un agente efectivo que mejora la blancura de las pulpas. El oxígeno es un agente oxidante muy fuerte, esta oxidación es la reacción esencial para el blanqueo por eliminación de la lignina; el blanqueo con oxígeno es un proceso en fase gaseosa a una presión entre 4 y 8 kg/cm² en medio alcalino con una consistencia entre 10 y 20% a una temperatura de 90 a 140°C dependiendo de la carga de álcali usado. También el peróxido con el oxígeno tienen rasgos comunes por que en ambos casos el medio es alcalino y las mismas especies reactivas están presentes aunque en diferentes proporciones.

II.3.3. Papel bond

El papel bond originalmente, fue fabricado a partir de algodón, y diseñado para la escritura e impresión, documentos legales, pero ahora se utiliza también para correspondencia comercial, otros tipos de impresión y escritura.

ICAITI (1982) clasifica el papel bond en cuanto a sus características de uso en los siguientes grados:

Papel Bond Permanente y Durable.- es la calidad del papel cuyos caracteres impresos o escritos en él no se borran con facilidad y por lo mismo es el adecuado cuando se requiere permanencia. Es apropiado para impresión tipográfica de la más alta calidad, impresión offset y estampado por matriz también puede usarse para escritura y máquina de escribir.

Papel Bond Semipermanente y Durable.- es la calidad del papel cuyos caracteres impresos o escritos en él no se borran con facilidad, y por lo mismo es el adecuado cuando se requiere semipermanencia. Al igual que el anterior es apropiado para impresión tipográfica de alta calidad offset y estampado por matriz. También puede usarse para escritura y para máquina de escribir.

Papel Bond Semipermanente.- es la alta calidad del papel cuyos caracteres impresos o escritos en él no se borran con facilidad, y por lo mismo es el adecuado cuando se requiere semipermanencia. Es apropiado para impresión tipográfica de alta calidad, e impresión offset en ambos lados; puede usarse para escritura y para máquina de escribir.

Papel Bond para Propósitos Especiales.- es la calidad del papel que posee buena resistencia al borrado. Es apropiado para impresión tipográfica y para uso con duplicador offset, así como para máquina de escribir.

Las especificaciones de acuerdo ICATI (1982) para el papel bond blanco de 75g/m², y sus requisitos se mencionan a continuación (Tabla 4):

Tabla 1. Propiedades mecánicas y óptimas para papel bond 4 de 75 g/m.sup.2, para los rollos de papel.

PROPIEDAD	MUESTRAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistencia a la explosión (Kpa)	185	185	184	159	172	168	158	167	157	----
Resistencia a la tensión (kN/m)	4,85	4,73	4,22	4,29	4,33	4,20	4,16	3,53	---	---
Resistencia al rasgado (mN)	1,56	1,59	2,79	1,86	2,04	759	752	650	---	423
Opacidad fondo blanco (%)	---	---	88,5	85,0	86,6	90,0	88,9	89,9	87,0	87,1
Opacidad fondo papel (%)	88,4	88,3	89,7	86,1	87,7	91,2	90,2	91,1	88,3	---
Brillantez (%)	81,6	88,9	81,0	83,0	84,0	81,8	81,2	83,2	78,1	---

Walsh (1985) da a conocer otras tipos de definiciones del papel bond como son:

Papel Bond.- La hoja debe tener buena apariencia visual, blanca y limpia. Además, la hoja de bond debe tener una "sensación" de calidad, con una superficie más aterciopelada. Los papeles Bond tienen un complemento distintivo que es el crujido que viene de la rigidez incorporada en la hoja como requisitos de uso final. Una hoja de bond está diseñado para ofrecer un

rendimiento rápido, económico, sobre equipos offset; fuerte, limpio, fácil de leer.

Papel Autocopiativo.- La importancia de la hoja autocopiativa debe tener un acabado libre de pelusa para evitar la dificultad de leer letras, obviamente estos documentos tiende a ser más áspero y el resultado es un menor número de copias legibles, la fuerza, el volumen y la firmeza son también esenciales para un duplicador; este papel es capaz de aceptar el líquido que humedece cada hoja antes de que entre en contacto con tinta, la consideración más importante en el trabajo es un rendimiento rápido y sin problemas.

Papeles Ledger.- El objetivo de estos papeles es de tener una superficie lisa en ambas caras para plasmar datos o escrituras sin imperfecciones de uso, es de resistencia excepcional.

Papel para mimeógrafo.- La principal aplicación en la hoja de mimeógrafo es la capacidad que tiene el papel para absorber las tintas, alimentarse bien de ellas y dar alternativas de copiado clara y legible. En general, los documentos de mimeógrafo se hacen con un acabado rugoso para permitir tintas mimeógrafo para penetrar la superficie de la hoja rápidamente, reduciendo así las manchas en la minimización de compensación. El acabado está diseñado para atrapar el aire que momentáneamente aísla el secado de la tinta de la hoja siguiente.

Papeles Xerográfico.- Están diseñados con la fiabilidad de ser usados en equipo de fotocopiado que es la principal función, y las hojas se han establecido con una humedad adecuada y rigidez para asegurar el rendimiento de la máquina. En general, esta hoja tiene un acabado de tipo duplicadora, las características principales del papel para su diseño son: Brillo, color y tono en los documentos de copadoras

Escoto (2004) También menciona algunos tipos de papel que son:

- Papel para documentos.- requiere de alta resistencia, durabilidad, y estabilidad en su color, son fabricados con pasta químicas blanqueadas de maderas de pino y mezclas de fibra largas y cortas de primera calidad.
- Papeles de escritura.- se requiere que sean flexibles, blancos con buena solidez superficial y un buen encolado, son fabricados a partir de mezclas de pulpas químicas blanqueadas y pulpas mecánicas de pino.
- Papeles de impresión.- amplia variedad abarcando todos aquellos papeles que pueden imprimir, tales como libros, revistas y periódicos, además de folletos, catálogos y documentos.

- Papel sin estucar.- incluye los papeles formados con pastas mecánicas (papel periódico, directorios y algunos libros impresos de alto tiraje) y sin pastas mecánicas (imprimen libros de mejor calidad).

II.4. Análisis micrográfico y morfológico

Agarwal (1992) en su investigación da a conocer la obtención de los estudios morfológicos del *Ricinus communis* con el único objetivo de evaluar la capacidad de esta planta en la fabricación de papel y dar a conocer el efecto de las dimensiones de la fibra en la formación y la estructura del papel. Los resultados de estas investigaciones indican que estas plantas no maderables fibrosas tienen una gran promesa como fuente de suplemento de fibra de especies útiles y también tienen buenas oportunidades para su aceptación industrial.

Tabla . Características morfológicas del *Ricinus communis* L.

Determinación y dimensión del <i>Ricinus communis</i>	Valor promedio (micras)
1. Longitud de Fibra (μm)(Promedio)	0.81
2. Diámetro de fibra (Promedio) (μm)	20.54
3. Diámetro de fibras lumen (μm) (Promedio)	11.52
4. Espesor de la pared celular (Promedio) (μm)	4.21
5. Relación entre diámetro interior (lumen) y exterior de la fibra (μm)	0.560
6. Relación entre la pared celular, y espesor de la fibra de diámetro (2W/D)	0.410
7. Relación Runkel (2W/l) espesor de la pared interior (lumen) del diámetro	0.731
8. Índice de flexibilidad	39.42
9. Coeficiente o índice de rigidez (2W/L)	0.365

Medina (1996) dice que la longitud de las fibras es (0 y 1.57 mm) y sugiere que la pulpa obtenida mediante esta unidad pueda ser aplicada en papel de escritura y corrugado.

Los componentes químicos del *Ricinus comunnis* son muy semejantes al de plantas latifoliadas y plantas anuales, las cuales son usadas en la industria del papel y cartón.

Fonseca (2006) menciona que la longitud promedio de la fibra del *R. communis* es una materia prima de fibra corta, y el valor de rigidez como de flexibilidad en la fibra, la clasificación de las fibras de acuerdo a la relación Runkel indica que las fibras tienen un grado II en el rango de 0.25-0.50, la cual la clasifican a la fibra en el rango de muy buena para hacer papel.

Tabla 3. Dimensiones e índices de calidad de pulpa de las fibras de *R. communis*.

Dimensión	Valor promedio (micras)	
Longitud de fibra (L)	1058	
Diámetro de la fibra (D)	27.4	
Diámetro del Lumen (l)	18.6	
Grosor de pared de la fibra (2w)	8.8	
Determinación	Relación	Valor
Relación de Runkel	2W/l	0.483
Coefficiente o índice de rigidez	2W/D	0.318
Coefficiente de flexibilidad	l/D	0.68
Coefficiente de Peteri o índice de flexibilidad	L/D	38.7

III. JUSTIFICACIÓN

Las posibilidades de uso de la Higuierilla para la obtención de celulosa blanqueada y su aplicación en papel bond, hace referencia de los estudios realizados por: Fonseca (2006), Fernández (2008) y Morales (2009) referente a la obtención de celulosa a partir del tallo de la Higuierilla (*Ricinus communis* L.), en donde se mencionan las propiedades químicas, físico-mecánicas y morfológicas que tiene esta materia prima con posibilidad para obtener celulosa, dando una viabilidad en la elaboración de papel corrugado, como también dan la propuesta del aprovechamiento que puede llegar a ser esta materia prima en la industria para la producción de celulosa.

Se resalta también la importancia de saber aprovechar los sistemas de cultivo de este vegetal (Higuierilla), y demostrar que es un factor viable en la obtención de celulosa, así se podrá moderar los derribos de las especies forestales maderables o sustentables que se utilizan en ella, sustituyéndolos por material no maderable como es el caso de la Higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la aplicación en un futuro en la industria papelera.

Este trabajo aportara información que se agregara a los resultados y la investigación del uso y manejo del tallo de higuierilla, ya que sobre este tema faltan más trabajos a desarrollar y conocer su aprovechamiento; por lo tanto la información disponible se sujeta a los resultados encontrados en este trabajo realizado, con el fin de hacer factible el aprovechamiento del tallo para la obtención de pulpa para blanqueo y su posibilidad de uso en papel bond.

IV. OBJETIVO GENERAL

Obtener pulpa a partir del tallo *Ricinus communis* L. (higuerilla), utilizando un proceso a la sosa y realizar un blanqueo en la pulpa para determinar su factibilidad como fuente de fibra celulósica en el papel bond.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar la ubicación de su derribo, las partes que constituyen al vegetal (como hojas, frutos, corteza, etc.), así como calcular su volumen después del derribo.
2. Caracterizar la higuerilla desde el punto de vista de composición química básica y morfología celular.
3. Optimizar un proceso de cocción a la sosa con las variables (%) reactivo, tiempo y temperatura.
4. Seleccionar 1 tratamiento óptimo aplicando una secuencia de blanqueo para sugerirla en la elaboración del papel bond.

HIPOTESIS

El tallo de higuerilla (*Ricinus communis* L.) dará la posibilidad de adquirir una fibra con resistencia aceptable después del proceso de blanqueo y ser sugerida como una pulpa aplicable en fabricación de papel bond.

V. METODOLOGÍA

V.1. Descripción general de la investigación realizada.

Como se muestra a continuación en el esquema (Fig. 5), se hace referencia a los pasos que se siguieron para la realización de este trabajo.

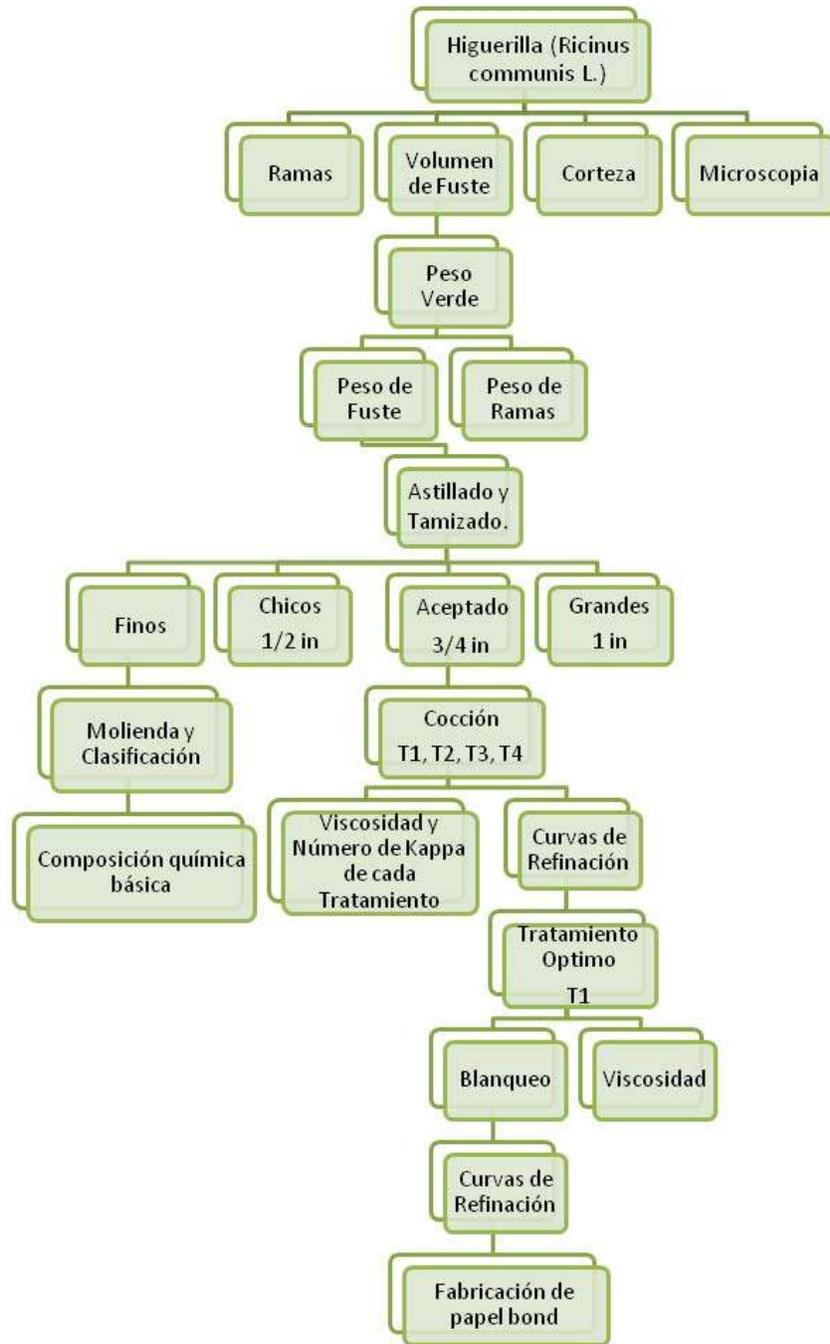


Figura 4. Diagrama general de la investigación

V.1.1. Recolección de la materia prima Higuera (*Ricinus communis* L.)

La colecta del espécimen de la Higuera se llevó a cabo en el campo experimental Bosque Escuela (Cuxpala, Jal.) de la Universidad de Guadalajara, ubicado en el Bosque la Primavera. (Fig. 6)

Una vez que se escogió el espécimen, se derribó podando las ramas, con una motosierra y posteriormente se procedió a la medición del árbol obteniendo los siguientes datos:

- Diámetro inicial como diámetro a la altura del pecho (está estandarizado mediante una altura de 1.30m a partir del suelo), se utilizó una cinta diamétrica o flexómetro.
- La longitud del árbol (fuste principal, trozas o ramas).
- Se procedió a tomar muestras botánicas y fotografías de hojas, flores y frutos.



Figura 5. Recolección materia prima

V.1.2. Descortezado y secado del material.

Después de la medición del árbol se cortó en trozos para su traslado al laboratorio. El descortezado fue manual retirando la corteza con una navaja (exacto) y una espátula, los troncos se dejaron secar a temperatura ambiente (Fig. 7).



Figura 6. Secado de la Troza de Higuera

V.1.3. Astillado

El astillado del tallo de *R. communis* se realizó utilizando el equipo (Fig. 8) el cual consiste en un volante rotativo con cuchillas que sobresalen de su cara, se alimentan a un ángulo determinado y las cuchillas del astillador cortan la madera del tamaño deseado. Las astillas obtenidas se clasificaron mediante tamices de diferentes tamaños formado por tres cribas con aberturas promedio, el primero de 1 pulgada de abertura, el segundo de $\frac{3}{4}$ de pulgada y el tercer tamiz de $\frac{1}{2}$ pulgada, a estas astillas se les determinó el contenido de humedad y posteriormente se embolsaron en proporciones de 600g base seca.

Las astillas que fueron utilizadas para el cocimiento fueron las retenidas en la criba de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Se rechazaron las astillas de la primera y última malla y los finos, por considerar sus proporciones inadecuadas para la digestión.



Figura 7. Astillador

V.1.4. Determinación de humedad

En la determinación del porcentaje de humedad presente en la astilla se realizó de acuerdo con la norma T258 om-89. Las astillas clasificadas por diferentes tamices, se pesada para conocer su peso inicial poniéndolas a secar en una estufa a 105° C en un periodo de 2 a 3 hr., hasta llegar a peso constante se dejan enfriar en un desecador por 15 minutos para de nuevo volverlos a pesar y tomar los datos de peso final para calcular su contenido de humedad.



Figura 8. Determinación de Humedad

V.2. Proceso químico de cocción a la sosa para la obtención de celulosa a partir de Higuierilla (*Ricinus communis* L.)

Para la aplicación del tratamiento de cocción a partir del tallo de higuierilla en la obtención de pulpa, se realizó en base a las condiciones de la (Tabla 8):

Tabla 8. Condiciones del proceso de pulpeo a la sosa de las astillas de Higuierilla

Tratamiento experimental	Reactivo NaOH (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
T 1	- 1(25)	- 1(160)	-1(120)
T 2	+1(25)	-1(175)	+1(150)
T 3	-1(30)	+1(160)	-1(120)
T 4	+1(30)	+1(175)	+1(150)

La cocción de la madera se llevó a cabo en un digestor “bach”, se agregan 1 kg astillas húmedas (635 g.b.s.) de higuierilla (Fig. 9), ya seleccionada por tamaños y se alimenta con el licor de cocimiento, a una relación de baño ó hidromódulo de 5:1.



Figura 9. Cocción de Astillas de Higuierilla

V. 2.1. Lavado de la pulpa

Terminada cada una de los tratamientos se lava con suficiente agua en una criba, con la finalidad de eliminar el mayor contenido de licor negro de las astillas.

V.2.2. Desfibrado

Las astillas de Higuierilla cocidas fueron desfibradas en un refinador de discos Sprout Waldrom con una abertura entre discos de 12 milésimas de pulgada (Fig.10), lo cual consistió en desintegrar la fibra para convertirla en pasta o pulpa, para posteriormente ser depurada.

A las pulpas obtenidas se evaluó el porcentaje de humedad, rendimiento, rechazo. El álcali residual se determinó de acuerdo a T 264 om 94. Los licores obtenidos fueron evaluados en álcali total y cantidad de sólidos disueltos.



Figura 10. Desfibrador de Pulpa

V.2.3. Depurado

En esta etapa se utilizó un depurador de diafragma con una placa ranurada de 0.25 mm “Lorentzen Wettre” (Fig. 11), para separar la pulpa, en la cual se obtienen rechazos que quedan en la placa del depurador (estos rechazos son recogidos para su determinación posterior). La fibra aceptada se colectó en un tamiz o criba.



Figura 11. Depurador de Pulpa

V.2.4. Centrifugado y homogeneizado

Después del depurado se prosiguió a centrifugar la pulpa, durante 5 minutos, y al término de este se llevó al homogeneizador. Después de calculó lo siguiente:

- Peso seco de la pulpa
- Porcentaje de humedad (%)
- Rendimiento aceptado (%)
- No. Kappa

V.2.5. Rendimiento

En esta parte se determinó el rendimiento de la pulpa mediante la norma T240 om-93.

V.2.6. Número de Kappa

A las pulpas obtenidas de los tratamientos T1, T2, T3, T4 se les determino el No. De kappa.

Bajo las especificaciones de la norma T236 om-99: Este método se aplica para la determinación de la dureza relativa, blanqueabilidad o grado de deslignificación de la pulpa, y puede ser usado en todos los tipos y grados de pulpa de proceso químico o semiquímico.

V.2.7. Curvas de Refinación

Ya obtenidas la pulpas (T1, T2, T3, T4), se realizó la refinación en el molino Jokro (ISO 5264/3) (Fig. 12), el cual es un recipiente en forma de tina con seis cavidades en donde se colocan los recipientes de refinación con una cantidad de pulpa de consistencia conocida, es batida o refinada entre la pared interior del recipiente y el rodillo ranurado que gira libremente con rotación planetaria alrededor de un eje central.



Figura 12. Molino Jokro

V.2.8. Medición del grado de refinación

La medición o evaluación de las curvas de refinación mecánica se realizó usando diferentes tiempos para cada uno de los tratamientos sin blanquear T1 y T2 (0', 6', 12', 26') T3 y T4 (0', 6', 14', 26'), para las fibras cortas no es recomendable rebasar los 30 minutos, ya que por la misma estructura, puede dañarla; para el blanqueo se utilizaron tiempos en T1 (0', 6', 12', 26').

Para cada punto de las pulpas se les determinó el grado de refinación utilizando el equipo Schopper Riegler (ISO 5267/1) (Fig. 13), con él se

determina la drenabilidad de la muestra esto quiere decir que tanta agua es retenida por la fibra el ser filtrada.



Figura 13. Equipo Schopper Riegler

V.2.9. Formación de hojas estándar y determinación de las pruebas físico-mecánicas.

Se prosiguió hacer hojas en el formador Rapid Köthen (ISO 5269/2) (Fig. 14), este equipo consta de una consola del control de ajuste para condiciones de aire y vacío, el cual consiste en formar y secar hojas en corto tiempo.

De cada tratamiento con sus diferentes puntos de refinación se formaron 10 hojas, para hacer las pruebas físico-mecánicas.



Figura 14. Formador Rapid Köthen.

El muestreo de hojas se estableció bajo la Norma T 5270, se seleccionaron hojas sin defectos visibles y con un peso o gramaje de $60 \pm 5 \text{ g/m}^2$.

A continuación se señalan los ensayos realizados.

Calibre o espesor (T 411 om-89)

Porosidad (T 460 om-67)

Resistencia al rasgado (T 414 om-88)

Resistencia al dobléz (T 511 om-88)

Resistencia a la explosión (T 403 om-91)

Resistencia a la tensión (T 404cm-92)

V.2.10. Selección del tratamiento para el proceso de blanqueo

En esta etapa, habiendo obtenido los resultados de las pruebas físico-mecánicas y comparando el número de Kappa, dado en el modelo de cocción procedió a seleccionar uno de los tratamientos con los mejores resultados, para posteriormente aplicar el proceso de blanqueo y de nuevo realizar la caracterización físico-mecánica.

V.3. Proceso de blanqueo

Para el proceso de blanqueo se eligió T1 por haber obtenido el mejor resultado de número de Kappa.

La secuencia para el blanqueo fue: Oxígeno (O), Dióxido (D), Oxígeno-Peróxido (OP), Dióxido (D). A cada una de estas etapas se determinó la humedad de la pulpa, así como su pH y se establecieron las condiciones de operación. La etapa de Oxígeno se llevó a cabo en un reactor Jayme, que es un cilindro rotatorio de acero inoxidable con tapa, con capacidad de 7 litros, equipado con un manómetro para el control de la presión de oxígeno, una válvula para el llenado de oxígeno y para el desfogue de la presión y vapor de agua, un termostato para el control de la temperatura, como medio de calentamiento usa resistencias eléctricas.

Las cuatro etapas de blanqueo se establecieron para la aplicación de la pulpa y fueron las siguientes:

En la primera etapa, la principal razón del blanqueo es eliminar el contenido de lignina evitando causarle daño en la calidad de la fibra, se inicio revisando el numero de kappa que tenía para poder agregar los reactivos químicos correspondientes, agregándole dentro de una bolsa agua con el sulfato de magnesio ($MgSO_4$) a la pulpa para homogeneizándola, después se le añadio de nuevo solución de sosa ($NaOH$) para homogeneizarlo, se observo su pH, se coloca dentro del digester Jayme verificando su temperatura, tiempo y presión, una vez concluyendo el termino del tiempo se despresuriza para sacar la pulpa y lavarla con agua hasta que suelte todo el licor que todavía trae, se centrifuga y coloca en una bolsa y se sella de nuevo.

Tabla 5. Primera etapa del proceso de blanqueo

Primera Secuencia de Oxígeno (O)	
% Humedad inicial	75.54%
N° de Kappa inicial	32.88
Gramos de pulpa inicial	180 gr
Reactivos de Blanqueo	
Sosa (NaOH)	3.5%
Temperatura	110°
Consistencia	10%
Tiempo a temperatura de reacción	120 °C
Presión de Oxígeno	5 kg/cm ²
Sulfato de Magnesio	0.5%
Base de cálculo	180 g. b. s.
% Humedad final	73.9%
N° kappa	11.5
Gramos pulpa final	154.82 g. b. s.

Ya pasado el tiempo se determina el número de Kappa para reportar su grado de deslignificación que se obtuvo en la primera etapa. Se aplica la segunda etapa agregándole agua con HCl para que la pulpa este neutra, se le agrega el dióxido de cloro, para que pueda homogeneizarla con el reactivo toda la muestra, después de finalizar la etapa se lava con agua.

Tabla 6. Segunda etapa del proceso de blanqueo

Segunda Secuencia de Dióxido (Do)	
% Humedad inicial	73%
N° de Kappa inicial	11.7
Gramos de pulpa inicial	154.82 gr
Reactivos de Blanqueo	
Factor Kappa	0.24
Temperatura	60 °C
Consistencia	10%
Tiempo a Temperatura de reacción	60 °C
Dióxido de Cloro	2.81%
Base de cálculo	150 g. b. s.
% Humedad final	72.44%
N° kappa	4.13
Gramos pulpa final	142.03 g. b. s.

Nuevamente revisando el número de kappa se establecieron las condiciones que se utilizaran para la tercera etapa, para lo cual se utilizo peróxido (H₂O₂), sulfurato de magnesio (MgSO₄) y sosa (NaOH) vertiéndolo en la pulpa, homogeneizándolo, se tomo el pH, para meterlo al digestor Jayme, se tomo su temperatura, presión y tiempo, se realizo de nuevo el lavado y centrifugado.

Tabla 7. Tercera etapa del proceso de blanqueo

Tercera Secuencia Peróxido (OP)	
% Humedad inicial	72.44%
N° de Kappa inicial	4.13
Gramos de pulpa inicial	142.03
Reactivos de Blanqueo	
Peróxido	1%
Sulfato de Magnesio	0.5%
Sosa (NaOH)	1%
Temperatura	95 °C
Consistencia	10%
Tiempo a Temperatura de reacción	95 °C
Presión de Oxígeno	5 Kg/cm ²
Base de cálculo	140 g. b. s.
% Humedad final	72.60
N° kappa	3.42
Gramos pulpa final	133.03

La última etapa se realizó de la misma manera a los anteriores incorporando como agentes de blanqueo el dióxido de cloro (ClO₂), a una determinada temperatura y tiempo de reacción.

Tabla 8. Cuarta etapa del proceso de blanqueo

Cuarta Secuencia Dióxido (D)	
% Humedad inicial	72.60
N° de Kappa inicial	3.42
Gramos de pulpa inicial	133.03
Reactivos de Blanqueo	
Dióxido de cloro (ClO ₂)	1.5%
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	1%
Temperatura	80 °C
Consistencia	10%
Tiempo a Temperatura de reacción	180'
% Humedad final	72.34%

V.3.1. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas

Ya terminado este proceso de blanqueo realizado (Fig. 15), se prosiguió a valorar de nuevo sus propiedades físico-mecánicas, volviendo a formar hojas y hacer las determinaciones de: Calibre o espesor, Porosidad, Resistencia al rasgado, Resistencia al doblado, Resistencia a la explosión, Resistencia a la tensión. También se midió la blancura y viscosidad de la pulpa blanqueada.



Figura 15. Hojas de los 4 Tratamientos y equipo pruebas físicas-mecánicas

V.3.2. Medición de blancura y opacidad

En las hojas blanqueadas se midió la blancura en el Espectrofotómetro “Elrepho 3000”. La blancura se realizó bajo la norma T 452 om-02 y la opacidad se basó en T 519 om-02.

V.4. Viscosidad

En la pulpa sin blanquear y blanqueada se llevó a cabo la prueba de viscosidad de acuerdo a la norma (T 230 os-76), esta técnica proporciona una indicación relativa de la degradación (disminución del peso molecular de la celulosa), resultante de los procesos de pulpeo y/o blanqueo.

V.5. Análisis de composición química básica

EL análisis químico de la madera de Higuierilla se realizó en las astillas de aserrín-madera, fueron molidas y tamizadas para finalmente utilizar la malla según T 257 om-88. Los siguientes análisis fueron efectuados:

Extraíbles en Etanol-Tolueno (1:2) (T 204 cm-97)

Extraíbles en agua (T 207 cm-99)

Lignina (T 222 om-98)

Holocelulosa (Método Wise)

α -celulosa (T 203 cm-99)

Cenizas (T 211 om-93)

V.6. Análisis macroscópica de la madera de *Ricinus communis* L.

Se tomo una de las rodajas de la Higuierilla para determinar sus características organolépticas las cuales fueron:

Color: albura y duramen, olor, sabor, textura, veteado, brillo, anillos de crecimiento.

V.7. Análisis microscópica de la madera de *Ricinis communis* L.

De la troza o fuste recolectado de Higuierilla se obtuvieron rodajas; de ellas se tomaron dos al azar, cuidando que tuvieran tanto duramen como albura para hacer una caracterización organoléptica. De la rodaja se obtuvieron muestras de 1X1X2 cm que se sometieron a un proceso de ablandamiento que consiste en hervirlos. Los cortes se realizaron en el Laboratorio de Microscopia con un micrótopo de deslizamiento, marca "Reichert" y se obtuvieron con un grosor de corte de 20 μ (micras) de los tres planos: transversal, tangencial y radial.

V.8. Análisis micrográfico y morfología

El análisis micrográfico y morfológico de la disgregación del material celular (fibras y parénquima), se llevó acabó mediante la disgregación de material fibroso en:

Se utilizaron colorantes de azul de metileno o austrablau FM al 1% y/o safranina "O" al 1%.



Figura 16. Microscopio de campo claro

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1. Caracterización y descripción de la planta.

En la Tabla 13 se engloban los resultados de la descripción de cada parte de la especie recolectada en el Bosque Escuela (Bosque la Primavera) de la Universidad de Guadalajara:

Tabla 9. Descripción del ejemplar de estudio

Nombre	Higuerilla (<i>Ricinus communis</i> L.)	Foto
Árbol	Es de 3-6 m de altura perennifolio porte muy erecto, el fuste no siempre esta derecho y su diámetro no es muy pronunciado, con varias ramificaciones.	
Corteza	Lisa, de color amarillento grisáceo o algo pardusco, puede tener formas diferentes y estar o no cubierta de cera.	
Madera	El tallo es hueco cuando la planta es joven, pero tiende a ser leñoso cuando es ocupado por un tejido esponjoso a medida que la planta madura (albura de color blanco).	
Hojas	En forma de palma, con lóbulos lanceolados anchos y márgenes dentados aserrados, tienen forma de estrella, gruesas de color verde oscuro y brillante por la haz y verde pálido mate por el envés; nervadura bastante regular	

<p>Flores</p>	<p>Las flores están agrupadas en densas inflorescencias; las masculinas con un perianto largo, tienen los estigmas amarillos y las femeninas son globos o tubérculos blandos con estambres de color rojo que parecen pelos gruesos.</p>	
<p>Frutos</p>	<p>El fruto es una cápsula cubierta de espinas o deshilachadas, espinas cortas y gruesas (equinado), las semillas que están dentro de la cápsulas son largas, lisas, brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris, a menudo unidas por los extremos y sobresaliendo por el borde del receptáculo conspicuamente carunculadas.</p>	
<p>Usos y Aplicaciones</p>	<p>La planta tiene diversos usos, p.ej., los tallos se utilizan para la fabricación de papel. Pero, las semillas son lo más importante económicamente; se extrae el aceite de ricino o de castor, que se utiliza como medicinal, pero también como lubricante técnico importante, para la manufactura de jabones y pinturas.</p>	
<p>Hábitat</p>	<p>Ruderal, según sus variedades se presenta como árbol, arbusto o hierba, además cultivada crece en forma silvestre en terrenos baldíos y a lo largo de las carreteras.</p>	

VI.2. Medición dendrométrica para la obtención de volumen

A continuación se muestran los datos de volumen total del árbol en estudio, el cual tenía una edad aproximada de 3 años. El volumen total obtenido fue de 0.07933 m³, la medición fue de toda la especie no maderable.

Tabla 10. Volumen del vegetal

Volumen	0.07933588 m³
----------------	---------------------------------

V.3. Proceso de cocción a la sosa.

Los resultados de cocción de las astillas de higuierilla, utilizando el proceso a la sosa se presentan en la Tabla 15:

Tabla 11. Evaluación de la pulpa de Higuierilla de acuerdo al proceso de cocción

Tratamiento	Reactivo NaOH (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rendimiento (%)	N° de Kappa	Viscosidad
T1	25	160°	120	50.8%	32.88	43.5
T2	25	175°	150	37.7%	95.11	23.6
T3	30	160°	120	46.8%	49.90	41.1
T4	30	175°	150	41.5%	75.02	10.75

En Tabla 15, se observa los factores que se utilizaron en el proceso de cocción a la sosa, fueron porcentaje reactivo (NaOH), temperatura y tiempo. Para los 4 tratamientos se manejaron la siguientes valores: T1 y T2 (25% NaOH) en T3 y T4 (30% NaOH), la temperatura T1 y T3 (160°C), T2 y T4 (175°C), con tiempos en T1 y T3 (120 min.), T2 y T4 (150 min) comparándolos con Morales (2009) uso reactivos de (16% y 18% de NaOH), temperaturas máxima (170°C) y tiempos superiores de (100 y 140 min), Fernández (2008) utilizó (16 y 20% NaOH) con tiempos de (170 °C) y tiempos de (90 min.), por lo tanto se podemos decir que las condiciones obtenidas en la investigación son mayores por una mínima diferencia lo que indica que a menor porcentaje de reactivo la deslignificación es menor.

En el porcentaje de rendimiento, el valor es más alto, para T1 con (50.8%) y el valor bajo es T2 (37.7%) comparándolos con Morales (2009) el T6 (59.10%) es el resultado más alto y T8 (52.29%) el más bajo que obtuvo, sus condiciones son superiores a los obtenidos, lo que indica que el consumo de sosa es variable y se representa en las propiedades físico-mecánicas.

VI.3.1. Propiedades físico-mecánicas de los tratamientos.

En este caso se prosiguió a evaluar por medio de curvas de refinación con diferentes intervalos de tiempo, las propiedades físico-mecánicas de los cuales los parámetro en tiempo fueron: 0, 6, 12, 26 minutos (T1 y T2) y con 0, 6, 14, 26 minutos (T3 y T4).

El resultado de las evaluaciones que se tomaron en cuenta fueron: Resistencia a la Explosión, al Rasgado, a la Tensión, además de Índice de Doblez, de Explosión, de Rasgado y de Tensión. Los resultados obtenidos se aprecian en las siguientes figuras.

VI.3.2. Resultado de los tratamientos y selección

En la Tabla 16 se expresan los resultados obtenidos de las pruebas físico-mecánicas de los 4 tratamientos señalando los mejores resultados, esta tabla indica las cifras obtenidas de la cada hoja, los valores expuestos sirvieron también para poder determinar el blanqueo de la pulpa a escoger de uno de ellos y poder realizar estas mismas pruebas.

Tabla 12. Resultado de las pruebas Físico-mecánicas de los 4 Tratamientos sin blanquear

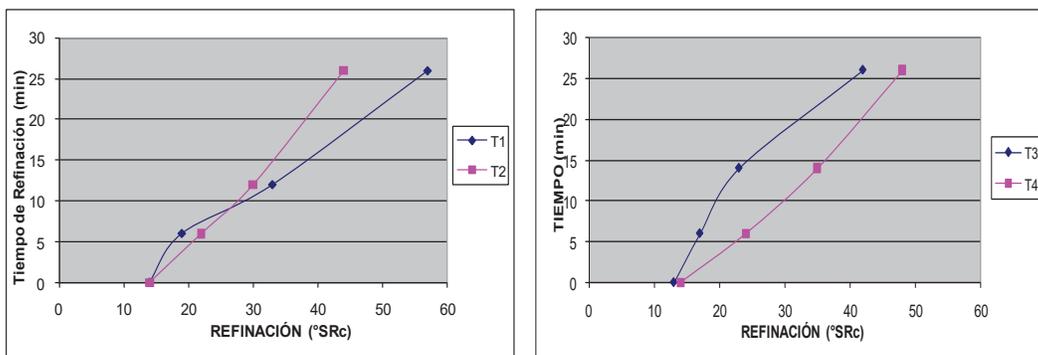
Tratamiento	Calibre (mm)	Porosidad (seg/100 cc)	Doblez (No.)	Explosión (kPa)	Rasgado (g.fza)	Tensión (Kgf)	I.D (N/g/m ²)	I.E. (kPa.m ² /g)	I.R (Nm ² /Kg)	I.T Nm/g
T1,0	0.114	1.125	9	88.125	10	2.35	13.945	1.365	1.239	23.809
T1,6	0.096	6	39.25	190.625	11.5	4.5	60.742	2.950	1.423	45.531
T1,12	0.097	11.625	119.125	241.25	11.5	5.1	178.211	3.609	1.376	46.220
T1,26	0.076	51	477.75	303.125	12	6.4	764.789	4.852	1.536	66.983
T2,0	0.100	5.625	12.125	130	9	3.4	19.287	2.067	1.145	35.359
T2,6	0.082	16.625	236.5	301.875	12.5	4.05	385.968	4.926	1.632	43.213
T2,12	0.058	18.5	379.875	255	10	4.7	836.017	5.611	1.760	67.626
T2,26	0.056	25.25	383.25	275.625	8.5	4.7	870.899	6.263	1.545	69.827
T3,0	0.122	1.125	10.25	82.5	12.5	2.25	15.407	1.240	1.503	22.112
T3,6	0.093	5.75	71.125	219.375	11.5	3.8	118.225	3.646	1.529	41.296
T3,14	0.083	11.625	272	295	11.5	5.6	427.257	4.633	1.445	57.511
T3,26	0.065	26	525.625	336.25	12	5.8	848.999	5.431	1.550	61.249
T4,0	0.1	4.625	10.625	100.625	9.5	2.4	17.897	1.695	1.280	26.431
T4,6	0.083	25.5	435.875	305.625	19	5.6	713.200	5.000	2.487	59.907
T4,14	0.076	32.125	395.125	311.25	16.5	5.9	626.141	4.932	2.091	61.127
T4,26	0.121	48	408	366.875	13	6.7	657.319	5.910	1.675	70.572

Obsérvese que a los datos señalados con amarillo son las cifras más altas de los índice explosión, índice rasgado y índice tensión obtenidos, lo que indica que a tiempos de 26 minutos de refinación se obtendrán buenos resultados.

VI.4. Resultado de las pruebas Físico-mecánicas

Las pruebas de la pulpa se evalúan por medio de curvas de refinación y los tiempos aplicados fueron diferentes como: T1 y T2 (0',6',12',26') y T3 y T4 (0', 6', 14', 26').

Como se puede observar en las Figuras __ siguientes se representa el grado de refinación ($^{\circ}$ SR) contra el tiempo, en la cual, de los 4 tratamientos sin blanquear a un tiempo de 26 minutos, presenta mayores grados de refinación, aunque la variación que se presenta en cada uno de ellos no es del todo uniforme. Haciendo la comparación entre el % reactivo (NaOH) se observa que los tratamientos T1 y T2 con menor reactivo pueden alcanzar valores altos en el grado de refinación, pero no asegura que tendrá mejores propiedades físico-mecánicas.



Izq. Tratamiento con 25% de reactivo

Der. Tratamiento con 30% de reactivo

Figura 17. Curva de Refinación para los 4 tratamientos de la Higuierilla.

En las Figuras 16, La porosidad es un factor importante porque nos indica la permeabilidad que tiene del papel al aire a través de su estructura fibrilar, esto significa que es el grado de abertura o poros por los cuales circula el aire. Los datos obtenidos fueron más altos en T1 y T4.

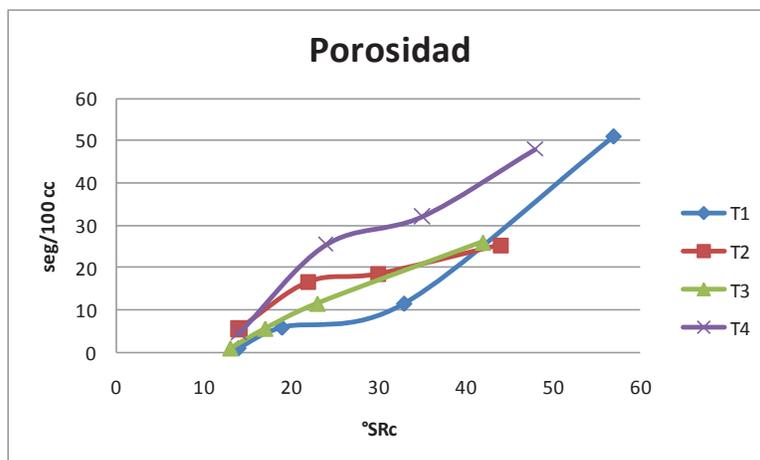
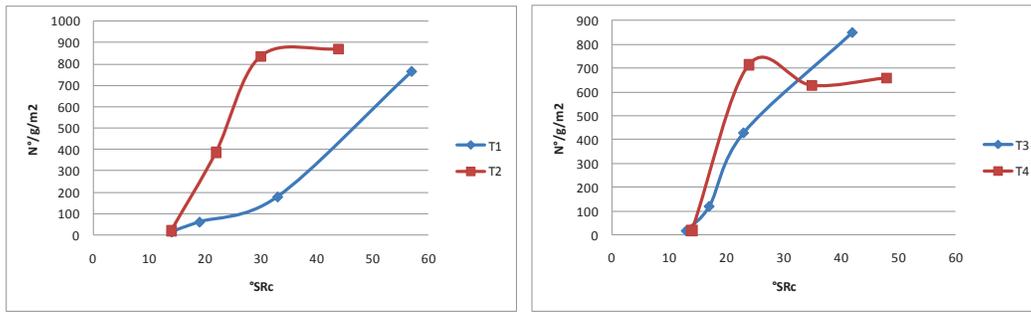


Figura 18. Porosidad de los 4 tratamientos de la Higuierilla.

En las siguientes figuras se muestra el índice de Dobleces de los 4 tratamientos:



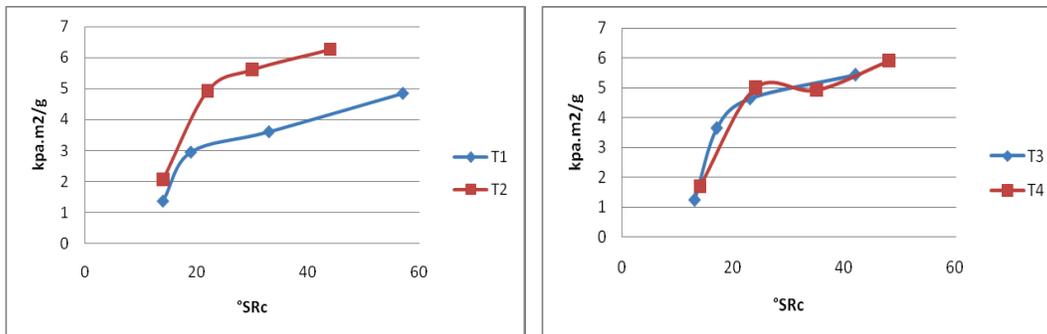
Izq. Tratamiento con 25% de reactivo

Der. Tratamiento con 30% de reactivo

Figura 19. Índice de Dobleces de los cuatro tratamientos

La prueba del doblez se mide el número de dobleces requeridos para debilitar y romper una tira de papel bajo ciertas condiciones de tensión, al observarse que en las figuras, el índice de doblez, las líneas en el T1 y T4 son las más altas en el grados de refinación pero el T2 ($870 \text{ N}^\circ/\text{g}/\text{m}^2$) y T3 ($849 \text{ N}^\circ/\text{g}/\text{m}^2$) a tiempos de 26 minutos de refinación las prueba obtuvieron valores más altos, lo que nos indica cuanto puede soportar el papel, no puede ser relacionada con ninguno de usos reales por lo que el interés es conocer la flexibilidad del papel.

En la Figura 20 se muestra la grafica del ° SR con la del índice de explosión:



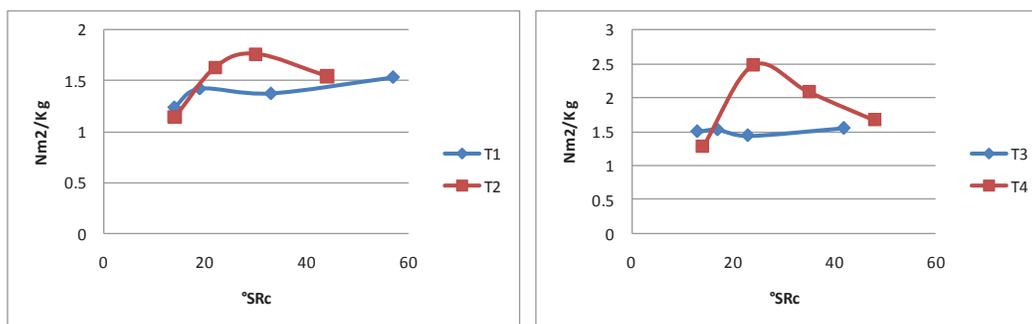
Izq. Tratamiento con 25% de reactivo

Der. Tratamiento con 30% de reactivo

Figura 20. Índice de explosión de los cuatro tratamientos

La prueba de explosión tiene como función principal estimar la resistencia del papel al estallido, al observar la Figura 21, de los diferentes tratamientos el T4 ($5.90 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$) presento valores altos, comparándolos con Morales (2009) los tratamientos T4 ($4.65 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$), T7 ($4.1 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$) y T8 ($4.35 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$) y los reportados por Fernández (2008) de la higuera TH1 ($7.3 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$) y TH2 ($9.9 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$). Podemos decir que los valores obtenidos están arriba por una mínima diferencia con los resultados de Morales (2009) y bajos en comparación con los de Fernández (2008). Esto es debido a que Morales (2002) hizo sus cocciones con diferentes condiciones, el medio ambiente también afecta notablemente esta característica.

En la siguiente figura se indican los puntos del ° SR con el índice de rasgado:



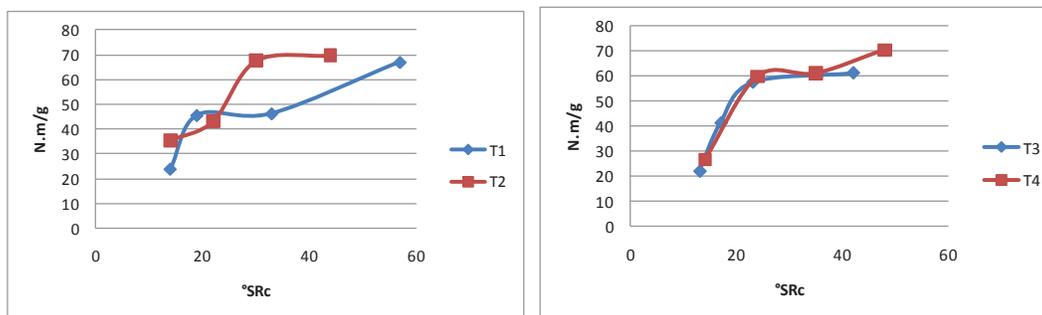
Izq. Tratamiento con 25% de reactivo

Der. Tratamiento con 30% de reactivo

Figura 21. Índice de rasgado de los cuatro tratamientos

Como se ilustra en la figura 22 para el índice de rasgado los valores más altos fueron el T4 (2.5 Nm²/Kg) y T1 (1.7 Nm²/Kg), para esta prueba se registraron 2 valores altos, comparándolos con Morales (2009) el T6 (6.62 Nm²/Kg), T1 (6.65 Nm²/Kg), T4 (6.65 Nm²/Kg) y T8 (6.97 Nm²/Kg), lo cual indica que los valores que se obtuvieron son bajos en comparación de los de Morales (2009). Por lo tanto.

Con respecto a los que reportan Morales (2009) estos son menores que en los resultados obtenidos.



Izq. Tratamiento con 25% de reactivo

Der. Tratamiento con 30% de reactivo

Figura 22. Índice de tensión de los cuatro tratamientos y blanqueo

Como se puede observar en la Figura 23, para el índice de tensión los tratamientos que proporcionan los mejores resultados son T2 (70 N.m/g) y T4 (70 N.m/g), comparándolos con Morales (2009) sus valores fueron menores, como T4 (55 y 65 N.m/g), T7 (50 y 54 N.m/g) y T8 (50 y 55 N.m/g), el índice de tensión de esta propiedad están bajos, por lo tanto, los resultados que se muestran son mejores que los realizados por Morales (2009). Esto es debido a la fuerza que se ejerció para romper la longitud de la muestra de papel por eso esta resistencia especifica es dividida por su peso base es relacionado por su espesor.

Para el termino del análisis de este trabajo los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron los valores con una mínima diferencia en las propiedades físico-

mecánicas, por tanto en los resultados reportados como los tiempos de refinación y grado de refinación son diferentes en los tres tratamientos con tiempos de 26 min., lo cual los tres valores reportados no varían mucho.

Como se menciona anteriormente de los 4 tratamientos uno fue el seleccionado para la realización del proceso de blanqueo en este caso fue el T1.

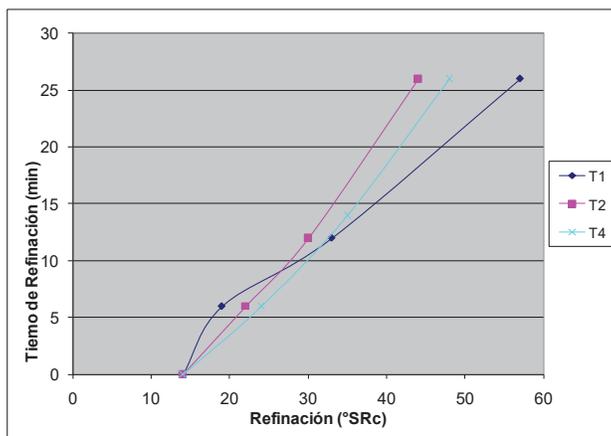


Figura 23. Curvas de Refinación 3 de los 4 tratamientos con mejores resultados.

VI.4.1 Resultados de las propiedades físico-mecánicas en la pulpa blanqueada

A continuación se presentan los resultados de las propiedades físico-mecánicas de las hojas estándar hechas con la pulpa blanqueada Tabla 13. Los datos reportados en la tabla indican los resultados obtenidos de las hojas blanqueadas con las pruebas físico-mecánicas, sin embargo el T1 al minuto 26 reporta un alto valor en la prueba de doblez.

Tabla 13. Características físico-mecánicas en hojas de pulpa blanqueada.

Tratamiento	Peso Base (g/m ²)	Calibre (mm)	Porosidad (seg/100 cc)	Dobleza (No.)	Explosión (kPa)	Rasgado (g.fza)	Tensión (Kgf)	I.D (N/g/m ²)	I.E. (kPa.m ² /g)	I.R (Nm ² /Kg)	I.T Nm/g
T1,0	66.765	0.111	4.5	4.75	85.625	9.5	2.266	7.114	1.282	1.138	1.138
T1,6	65.332	0.105	16	69	243.75	16	6.875	105.612	3.730	1.959	1.959
T1,12	65.492	0.085	29	429.25	315	15	6	655.422	4.809	1.832	1.832
T1,26	63.741	0.08	48.25	706	314.375	14.5	5.958	1107.600	4.932	1.819	1.819

Para estas propiedades de blanqueabilidad se observa la calidad en el papel bond como se reporta en las graficas.

En la Figura 24 lado izquierdo el comportamiento de los grados de refinación de las pulpas blanqueadas comparándolas con las pulpas sin blanquear no varían mucho, el cual no afecta el comportamiento de los resultados.

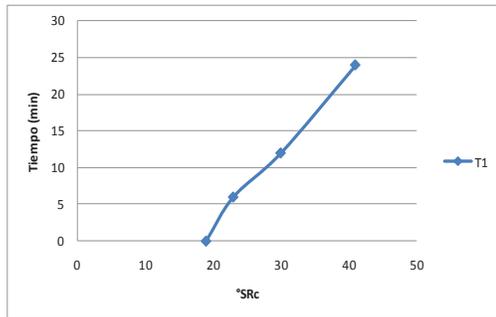


Figura 24. Izq. °SR contra el Tiempo blanqueo

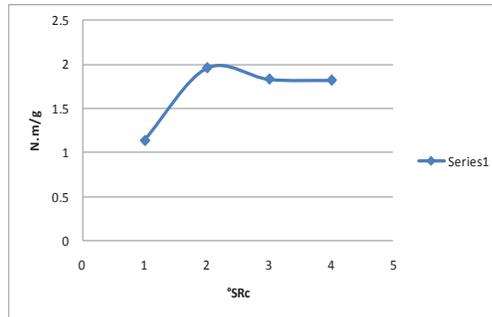


Figura 25. Der. Índice de Tensión blanqueo

En la Figura 25 lado derecho, se presenta los puntos que se obtuvieron en las propiedades Físico-mecánicas en las hojas blanqueadas, el cual tiene un máximo de 26 °SR, el comportamiento de este índice transcurre en la determinación del largo de ruptura es bajo, comparándolos con Vera (2002) se puede observar que las etapas que obtuvo son valores altos, ya que tanto el pulpeo como la deslignificación con oxígeno existen diferencias notables en la composición química de las pulpas, lo cual influye en la resistencia a la tensión.

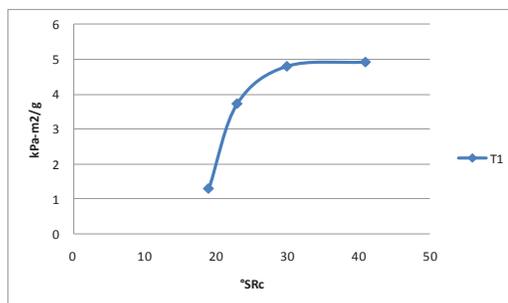


Figura 26. Izq. Índice de Explosión blanqueo

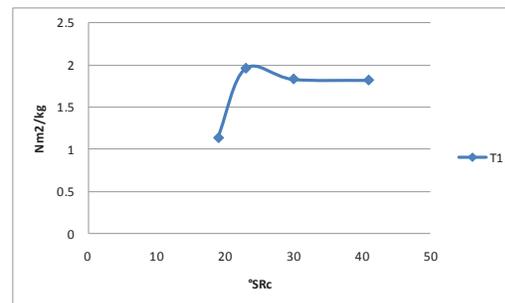


Figura 27. Der. Índice de Rasgado blanqueo

En la Figura 26 lado izquierdo, el comportamiento del índice de explosión a medida que transcurre la línea hay un resultado favorable en el proceso comparándolo con Vera (2002) sus resultados son inferiores por una mínima diferencia en los resultados que obtuvo, por lo tanto indica, que las propiedades se ven beneficiadas por la ruptura de las cadenas de celulosa.

Como se observa en la Figura 27 lado derecho, sobre el índice de tensión el comportamiento que se presenta tiende a decaer un poco comparándolos con los que obtuvo Vera (2002) se observa que las propiedades tienden a ser más altas por los leves efectos en la composición química de las pulpas, lo cual se determina que los factores que influyen, son los procesos a los que fueron sometidos las dos pulpas.

VI.5. Blancura y opacidad de las hojas de papel estándar

Una vez realizado las hojas blanqueadas, se analizó la prueba de blancura como su opacidad basándonos en la norma T 525 su-7, y haciendo una comparación con los resultados obtenidos por Vera (2002), podemos decir que los valores son parecidos teniendo un rango de 70-90% de blancura.

Tabla 14. Resultados del Blanqueo de celulosa con 0', 6', 12', 26'

Tratamientos	Blancura	Opacidad
T1	82.68	89.85
T2	80.52	85.71
T3	79.21	82.44
T4	78.87	79.47
Hoja Estándar	86.86	99.06

VI.6. Viscosidad

En la siguiente tabla 15 se muestran los resultados de viscosidad obtenidos para cada tratamiento de la pulpa de Higuerilla (sin blanquear como blanqueado) con la norma T 230 os-76, donde se observa que los valores obtenidos en dos tratamientos son altos en comparación con los que obtuvo Morales (2009) en tres de sus tratamientos T(11.89 cp), T7 (11.15) y T8(10.63 cp), por lo tanto con mayor grado de viscosidad, se considera que no pueden ser apta para generar un buen papel. En el caso del T1 Blanqueado se muestra que la pulpa es casi similar a los resultados obtenidos por el estudio (Morales, 2009).

Tabla 15. Viscosidad de la pulpa sin blanquear y blanqueada

Tratamiento	Viscosidad (cp)
T1	43.49
T2	23.62
T3	41.14
T4	23.77
T1 Blanqueado	10.75

VI.7. Análisis químicos de las muestras

En la Tabla 16 siguiente están los resultados obtenidos del análisis químico.

Haciendo una comparación con los resultados obtenidos de la Higuerilla y realizados por Fonseca 2006 en su investigación del tallo de higuerilla, se observa que los extraíbles en agua (3.51%), la lignina (20.55%), la holocelulosa (86.51%) y la α -celulosa (57.36%), varían por una mínima diferencia, lo cual se

establece y/o se considera que esta dentro de los valores en la composición química de la madera y productos no maderables, en cambio los extraíbles etanol-tolueno, etanol-benceno (3.85%) y cenizas (1.39%) son menores a los reportados de la investigación, como se muestra.

Tabla 16. Análisis químico de la Higuierilla (%).

Análisis Químico	Tallo Higuierilla
E. etanol-tolueno, etanol-benceno	8.15
Extraíbles en agua	4.76
Lignina	18.50
Holocelulosa	85.84
α -celulosa	66.37
Cenizas	3.99

VI.8. Descripción organoléptica de la madera.

En la Tabla 17 se muestra la descripción realizada con un tablilla de higuierilla para saber los aspectos organolépticos, comparándolos con Soler (2001) son similares por lo cual se establece que tiene las mismas características.

Tabla 17. Resultados de la descripción macroscópica.

Color del duramen	Café amarillento
Color de la albura	Claro amarillento
Olor	No se percibe
Sabor	No se percibe
Textura	Mediana
Veteado y diseño	Liso (no presenta veteado)
Brillo	Opaca
Tipo de hilo	Inclinado
Anillos de crecimiento	No bien definidos
Peso y dureza	Ligera y blanda



Figura 28. Rodajas de Higuierilla

VI.9. Descripción microscópica de la madera

Los resultados correspondientes a la descripción microscópica son los siguientes y se resumen en la Fig. 25.



Foto. Corte Transversal de Higuierilla (50 X)

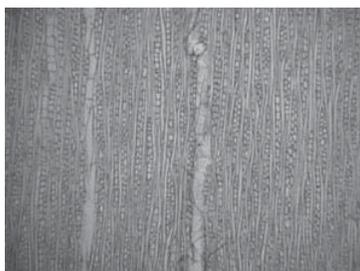


Foto. Higuierilla corte Tangencial (50X)

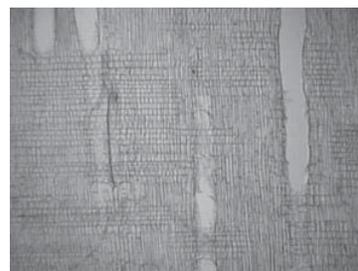


Foto. Higuierilla corte radial (50X)

Figura 29. Cortes típicos obtenidos en la madera de Higuierilla.

Haciendo una comparación con Ilic 1991 (Figura 3) anteriormente mencionado del marco teórico, se muestran los tres cortes típicos, y en la (Figura 25) se muestran los realizados con muestra de la Higuierilla donde a simple vista se estima la presencia de anillos de crecimiento son ausentes, hay poco parénquima leñoso, presencia de parénquima paratraqueal disociado, acompañamiento de vasos múltiples radiales de 4 a más, con menor diámetro, la porosidad es de distribución difusa, escasa fibra con paredes delgadas, los poros son de forma ovalada, múltiples radiales, solitarias individuales, agrupamientos en forma radial, punteaduras intervasculares alternas, por lo cual podemos decir que hemos identificado y corroborado la similitud de la especie con el autor.

VI.10. Análisis Morfológico y micrográfico

La Tabla 24 se muestra un análisis morfológico caracterizándolo sin numeración, comparando los resultados descritos y los mencionados como Medina (1996) el cual lo determinó en un microscopio (Wild Herbrugg M12-83632) Figura 4 y Fonseca (2006) se establece que la morfología celular referente a la longitud promedio de la fibra y el espesor de la pared es una materia prima de fibra corta y el machacado de las fibras deben tener una buena calidad característica y física para el estudio del papel.

Tabla 18. Características morfológicas y clasificación de los elementos constitutivos de la Higuera.

	Máx	Mín	CV (%)	DE	MA	Clasificación
Abundancia de poros/mm ²						<i>Poco numerosos</i>
Diámetro de vasos (μm)						<i>Medianos</i>
Longitud de elemento de vaso (μm)						<i>Cortos</i>
Longitud de fibras (μm)						<i>Medianas</i>
Grosor de pared de fibras (μm)						<i>Mediana</i>
Diámetro de fibras (μm)						<i>Finas</i>
Abundancia de radios/mm						<i>Poco numerosos</i>
Altura de radios (μm)						<i>Bajos</i>
Ancho de los radios (μm)						<i>Medianos</i>

Máx = valor máximo, Mín = valor mínimo, CV (%) = coeficiente de variación, DE = desviación estándar, MA = Media aritmética

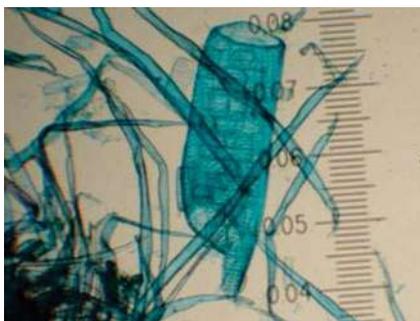


Figura 30. Los Fibras de Higuera (*Ricinus communis* L.)

En cuanto a los componentes micrográficos se puede mencionar la descripción siguiente:

Tabla 19. Micrografía Medina (1996)

Micrografía	
Longitud de fibra (μm)	1.577 micras
Ancho de fibra (μm)	2.736 micras
Ancho interno (μm)	1.856 micras
Ancho de pared (μm)	0.880 micras

VII. CONCLUSIONES

Se concluye en esta investigación de tesis, que al obtener pulpa de higuierilla mediante un proceso químico a la sosa, con las condiciones de % reactivo (NaOH), temperatura, tiempo de cocción y haciendo una secuencia de blanqueo con los componentes químicos [OD(OP)D], la etapa que determina el comportamiento del papel, es el pulpeo, y se encontró que las mejores propiedades físico-mecánicas señaladas en los índices fueron las obtenidas en los 4 tratamiento al minuto 26.

Para los tratamientos T1 y T2 las condiciones de % reactivo de NaOH fueron del (25%), en T3 y T4 (30%); la temperatura de cocción de los tratamientos fueron intercalados T1 y T3 (160°) para T2 y T4 (175°C), mismo es en el caso para el tiempo de cocción de los tratamientos T1 y T2 con (120 minutos), en T3 y T4 (150 minutos). Los tiempos de refinación fueron mejores en los minutos 12 y 26 para los 4 tratamientos, lo que indica que cuando el grado de refinación es alto en la pulpa, los cambios químicos pueden llegar alterar poco las propiedades físico-mecánicas en el papel y cuando el grado de refinación es bajo en la pulpa, no presentan un efecto marcado en las pruebas físico-mecánicas.

De acuerdo resultados obtenidos en otra de las pruebas físico-mecánicas se observo que el tratamiento T2 tuvo un gramaje de 62 g/m² y para T4 un gramaje de (63 g/m²) representando los mejores valores estructurales del papel, y en cuanto a la resistencia a la tensión fueron T4 (6.7 N), para la resistencia al rasgado en T4 (19 mN).

El tratamiento T2 presento mejores valores de (6.263 kPa) en el índice de explosión y para el tratamiento T4 presento buenos valores en el índice de tensión (70.572 N.m/g), en de índice de explosión (5.910 kPa.m²/g) e índice de rasgado (2.487 mN.m²/g).

En lo que se refiere al tratamiento elegido como óptimo blanqueado, y su tiempo de refinación el gramaje es de (66 g/m²), se observó que en las pruebas físico-mecánicas estructurales, el T1 con tiempo de refinación de 26 minutos obtuvo buenos resultados en la resistencia a la tensión (6.8 N) e índice de tensión (1.9 N.m/g), mismo este T1 con un tiempo de 26 minutos de refinación el índice de explosión (4.93 kPa.m²/g) presenta sus mejores valores.

En conclusión, este trabajo cumplió sus expectativas favorablemente, por haber seguido un proceso sugerido de la hipótesis, desde la localización de la Higuierilla (*Ricinus communis* L.) hasta la realización de las diferentes pruebas que se determinaron para su transformación del papel bond blanqueado.

Es importante resaltar que la pulpa de Higuierilla es una especie viable para utilizarse en la producción papel bond como corrugado (médium), ya que

cumple con ciertas normas ya utilizadas e investigadas para obtener una buena calidad en el papel.

VIII. RECOMENDACIONES

Finalizado este trabajo investigación, se recomienda que la pulpa de higuera es factible en la elaboración de papel bond, ya que no presenta complicaciones en su elaboración y cumple favorablemente las condiciones de calidad para este tipo de papel.

En cuanto al proceso a la sosa utilizado para plantas no maderables se recomienda este proceso ya que las astillas se impregnan con facilidad y tienen un contenido considerable de lignina, la cantidad de reactivo que se necesita es menor que en otros procesos. Para obtener celulosa del tallo de la higuera es recomendable manejar temperaturas de 175°C así como un tiempo de cocción de 2 hrs. Recomiendo la cantidad de reactivo utilizada porque dieron resultados favorables y por lo que respecta al tiempo de refinación de 26 minutos dieron buenos resultados en las pruebas físico-mecánicas.

Proponer otra secuencia de blanqueo en la celulosa de higuera para ver otro comportamiento en el estudio papel, y analizar los factores de las fibras a medida que transcurre el proceso de obtención de blanqueo de pulpas.

Comparar este estudio con procesos industriales, y saber si puede ser considerada industrialmente, basándonos en las pruebas ya mencionadas en las etapas que se utilizaron a nivel laboratorio.

Haciendo un énfasis en lo que respecta a la poca información la Higuera (*Ricinus communis* L.) sobre el manejo para papel bond en su uso general, se recomienda hacer más estudios que puedan aportar más información para poderla sustentar, ya que por las escasas averiguaciones de los resultados obtenidos se sujetaron a los textos que había, este trabajo es la continuidad de trabajos previos realizados para hacer uso de la posibilidad que tiene esta especie para que sea un buen sustituto en un futuro en la industria de madera celulosa y papel.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agarwal (1992) “*Non-wood fibrous plants for pulp and paper manufacture (Adhatoda básica, Ipomea carnea and Ricinos communis) a chemical and anatomical studies*”, Birla Institute Technology. Sci., Pilani, India. Chemical Acta Turcica. Págs 253-258.

Anzaldo H. J., Zapata A.I. (1992) Control de proceso de pulpa a la sosa con bagazo de caña mediante análisis espectroscópicas (FTIR). Tesis Licenciatura Ingeniería Química. Guadalajara Jalisco. México

Asenjo P. L., Barbadillo P. (1992) Diccionario terminológico iberoamericano de celulosa, papel y cartón y sus derivados. Instituto Papelero Español. Págs. 57

Cronquist A (1981) An Integrated System of classification of flowering Plants. Colombia University Press. Colombia. Pág. 58

Diéguez (2003) Dendrometría. Ediciones Mundi-Prensa. Coediciones Fundación Conde del Valle de Salazar. España Madrid. Pág. 327

Escoto (2004) Evaluación de la Calidad en Pulpa, Papel y Cartón. Departamento de Madera Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara México Pág. 262

Fernández de Córdova B. C. (2008) Optimización de Mezclas no Maderables: Higuera (*Ricinus communis* L.) y paja de Trigo (*Triticum sativum*) para Papel Ondulado (*Médium*), mediante Proceso a la Sosa. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Química. Universidad de Guadalajara. México.

Fonseca Jiménez Jadelith (2006) Aprovechamiento del *Ricinus Communis* L. por proceso a la sosa y su aplicación en la formulación de papel ondulado. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. México.

Guerra Ochoa Juan Manuel (1974) Blanqueo de Pastas Mecánicas. Tesis Licenciatura Ingeniería Química. Universidad de Guadalajara. México

ICAITI (1982) Papel Bond registro. Especificaciones. Propuesta de Norma Centroamericana. Guatemala. Pág. 8

ILIC J. (1991) Csiro Atlas of Hardwoods. Editorial Springer-Verlag. Australia. 525pss

Johnston David (1989) La Madera Clases y Características. CEAC. Barcelona (España). Pág. 160

Libby C (1977) Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I y II. Editorial C.E.C.S.A. México D.F.

Medina J. C. (1996) Castor stems (*Ricinus Communis L.*) as a source of chemical pulp for paper Inst. Agron. Campinas, Brazil. Papel June pp. 26-30.

Morales Castro S (2009) Obtención de Celulosa a partir de astillas de Higuierilla (*Ricinus communis L.*) al 100% mediante la optimización de un proceso a la sosa para la elaboración de cartón corrugado (médium). Tesis de Licenciatura de Ingeniería Química. Universidad de Guadalajara. México.

Nagaty (1982) "Alkaline pulping of ricinus communis L. and paper made therefrom". Cell. Paper LAB., Natl. Reseach Center; Cairo Egypt Cellulose chemistry and technology. Págs 523-531.

Niembro Rocas Aníbal (1990) Árboles y Arbustos de México. México D.F. Editorial Herrero S.A. 161 Pass.

Rapson Howard W. (1963) The Bleaching of Pulp. United States of America. University of Toronto, Canada. TAPPI Monograph Series No. 27. Pass 15.

Rodríguez García V (1971) Estudio Cinético de un Proceso a la Sosa con Madera de Eucalipto para Obtención de Celulosa. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Química. Universidad de Guadalajara. México.

Romahn (1994) Dendrometría. Universidad de Chapingo. Edición Fernando Ruíz Hernández. México D. F.-Texcoco. Pass 354.

Ruíz Pacheco J. (2001) Análisis Técnico del Papel de 75 g/m² usado en Costa Rica para los procesos de impresión láser Xerográfica. Publicación Universidad de Costa Rica. Costa Rica

Sánchez Lupian L. E., (2006) La Higuierilla (*Ricinus communis L.*) Una alternativa de producción para los productores y el mercado energético CEIEGDRUS/boletín estadístico del sector agropecuario Número 7, año 2 Agosto 2006.

Sanjuán-Dueñas R (1997) Obtención de Pulpas y Propiedades de las Fibras para Papel. Edit., Universidad de Guadalajara. Guadalajara Jal. (México). Págs. 293

Soares Severino L., de Souza Gondim T. M. (2006) Curso sobre el cultivo de Higuierilla. Embrapa. Brasil. 29p.

Soler Burillo Manuel (2001) Mil Maderas. Editorial UPV. Valencia. 603pss.

Vera Pozo S (2002) Estudio sobre la Estabilidad de los Carbohidratos del *Pinus Radiata* durante los procesos de Obtención y Blanqueo de Pulpas. Tesis Maestría. Universidad de Guadalajara. México.

Walsh F. Kenneth (1985) Printing Fundamentals. Edited by Alex Glassman. Copyright Technology Park/Atlanta USA. Printed in the United States of America. Pass 213

Sitios Web consultados:

www.globalagroculturalessources.com/spa/Biofuel/castor.asp

<http://infojardin.com/ricinus.htm>

<http://www.allbusiness.com/ingenier-a/>

<http://www.zonaverde.net/ricinuscommunis.htm>

<http://www.fao.org>

<http://www.inegi.com.mx/celulosico-papelero-search>

<http://www.knowpulp.com/spanish/demo/spanish/pulping/bleaching/>