



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGIA DE LA
MADERA

**“OBTENCION DE PULPA CELULOSICA A PARTIR DE LA
MADERA *Mangifera indica* L. Mango. POR EL PROCESO
ORGANOSOLV MODIFICADO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN TECNOLOGIA DE LA MADERA

PRESENTA

Román Alejandro Téllez García

ASESOR

M.C. Armando Muñoz Ramírez

MORELIA, MICH., AGOSTO 2008



INDICE

“OBTENCION DE PULPA CELULOSICA A PARTIR DE LA MADERA *Mangifera indica* L. Mango. POR EL PROCESO ORGANOSOLV MODIFICADO”

	Págs.
I INTRODUCCION	1
II OBJETIVOS	4
III ANTECEDENTES	5
IV DATOS GENERALES DE LA ESPECIE	9
IV.1 Descripción del área de colecta	9
IV.2 Clasificación de la especie	9
IV.3 Descripción botánica	10
V PROCESOS DE PULPEO	12
V.1 Proceso organosolv modificado	14
V.2 Ventajas y limitaciones del proceso organosolv	15
VI METODOLOGIA	18
VI.1 Preparación de la materia prima	18
VI.2 Cocción	20
VI.2.1 Equipo de cocción	20
VI.2.2 Relación de baño	20
VI.2.3 Condiciones de operación	21
VI.3 Preparación del licor de cocción	21
VI.4 Variables de la cocción	21
VI.5 Elección del modelo	22
VI.6 Valoración de la pulpa organosolv	25
VI.6.1 Rendimiento	25
VI.6.2 Determinación del No. de Kappa	25
VI.6.3 Viscosidad	25
VI.7 Pruebas físicas del papel	26

VI.7.1 Formación de hojas	26
VI.7.2 Gramaje	26
VI.7.3 Tensión	26
VI.7.4 Rasgado	26
VI.7.5 Explosión	27
VI.8 Análisis de los licores de cocción	28
VI.8.1 Determinación de pH	28
VI.8.2 Determinación de álcali total	28
VI.8.3 Determinación de sólidos totales	28
VII RESULTADOS	29
VII.1 Evaluación de las respuestas obtenidas de acuerdo a las condiciones del diseño experimental utilizado.	29
VII.2 Determinación de los coeficientes beta y graficas de los parámetros de evaluación.	30
VII.2.1 Determinación de los coeficientes beta para el porcentaje de rendimiento.	30
VII.2.2 Determinación de los coeficientes beta para el No. de kappa.	32
VII.2.3 Determinación de los coeficientes beta para viscosidad.	34
VII.3 Análisis de regresión múltiple.	36
VII.4 Resultados del licor residual.	38
VII.5 Resultados de las pruebas físicas de las hojas formadas.	39
VIII ANALISIS Y DISCUSION	40
IX CONCLUSIONES	44
X RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46
APENDICES	54
ANEXOS	76

INDICE DE FIGURAS

	Pags.
Fig. 1 Localidad donde se colecto el árbol de <i>Mangifera indica</i> L.	9
Fig. 2 Árbol, flor y fruto de <i>Mangifera indica</i> L.	10
Fig. 3 Diagrama general para el pulpeo de dos etapas y su evaluación.	19
Fig. 4 Digestor.	20
Fig. 5 Grafica tridimensional de superficie de respuesta para el Rendimiento con relación a la temperatura y el reactivo.	31
Fig. 5a Grafica de contornos para el Rendimiento con relación a la temperatura y el reactivo.	31
Fig. 6 Grafica tridimensional de superficie de respuesta para el No. de Kappa con relación a la temperatura y el reactivo.	33
Fig. 6a Grafica de contornos para el No. de Kappa con relación a la temperatura y el reactivo.	33
Fig. 7 Grafica tridimensional de superficie de respuesta para Viscosidad con relación a la temperatura y el reactivo.	35
Fig. 7a Grafica de contornos para Viscosidad con relación a la temperatura y el reactivo.	35

INDICE DE CUADROS

1.- Solventes y catalizadores más usados en los procesos organosolv.	13
2.- Valores reales para los niveles del diseño experimental.	23
3.- Valores reales de cocción del proceso organosolv (Segunda etapa de cocción).	24

4.- Resultados de los ensayos.	29
5.- Coeficientes β para el porcentaje de Rendimiento.	30
6.- Coeficientes β para el No. de Kappa.	32
7.- Coeficientes β para la Viscosidad.	34
8.- Análisis de regresión múltiple para Rendimiento.	36
9.- Análisis de regresión múltiple para No. de Kappa.	36
10.- Análisis de regresión múltiple para Viscosidad.	37
11.- Análisis del licor negro.	38
12.- Resultados de las pruebas físicas.	39

ANEXO

1.- Hoja de datos de seguridad del Metanol	76
2.- Propiedades de pulpa organosolv (Metanol).	79
3.- Resultados de algunas especies de madera usando procesos catalizados.	80
4.- Comparación de pulpas obtenidas por diferentes procesos	81

I.- INTRODUCCION

La mayoría de las pulpas químicas en el mundo son ahora producidas por el proceso kraft y solamente una pequeña parte por los procesos al sulfito y a la sosa. Las principales razones de que el proceso kraft domine son, su versatilidad de poder trabajar con diferentes materias primas, la calidad superior de la pulpa obtenida y una mas eficiente recuperación de los reactivos químicos que son usados en la cocción (Sanjuán y Martínez s/f).

A pesar de las ventajas que presenta el proceso kraft, existen también algunas desventajas. alguna de ellas es el problema de la emisión de sustancias con olor desagradable (mercaptanos), otra desventaja esta relacionada con la pulpa misma, presenta propiedades físicas superiores, la pulpa kraft requiere de una muy buena secuencia de blanqueo, para obtener los grados de blancura y viscosidad deseados para ciertos tipos de papel; esto ha tenido como resultado un serio problema de contaminación del agua por la emisión de sustancias coloreadas y tóxicas, (actualmente se tienen sistemas cerrados en los lavadores), (Sanjuán y Chávez, 1989).

Por eso, en el ramo industrial de la celulosa y papel desde hace tiempo se viene buscando otras alternativas para la obtención de pulpa celulósica; dentro de tales alternativas se plantean ideas desde la variación de la materia prima celulósica (diferentes tipos y mezclas de maderas, papel reciclado, bagazo de caña, maguey, etc.), así como la variación de los reactivos químicos que efectúan la deslignificación (Sanjuán y Martínez, 1990).

Las ideas principales en la búsqueda de alternativas para la obtención de pulpa celulósica, más económica, abatir los costos del proceso, y desde el punto de vista ecológico (que para muchos es el más importante), la disminución de sustancias contaminantes que emanan de las plantas de producción de pulpa celulósica; todo lo anterior tratando a su vez, de obtener mayores rendimientos y mejores calidades en las pulpas (Sanjuán *et al*, 1987).

Así, desde hace tiempo los investigadores de varios países, se han dado a la tarea de estudiar el efecto en la deslignificación usando varios compuestos orgánicos (solventes) sobre diferentes tipos de materias primas dentro de los rangos de temperaturas, tiempos, presiones, e hidromódulos tradicionales; dándoles a tales procesos el nombre de proceso Organosolv (Sanjuán *et al.*, 1986).

Como en todos los procesos de pulpeo, la disolución de la lignina es lo más importante, se ha reportado en varias ocasiones resultados de investigaciones sobre la deslignificación mediante diferentes solventes orgánicos, indicando que esta tiene lugar en dos pasos, de los cuales el primero ocurre muy rápidamente mientras que el segundo es más lento, por eso es importante llegar a la temperatura máxima del proceso en un tiempo relativamente corto para lograr una mayor selectividad en la disolución de la lignina (Ávila, 1993).

Por otra parte algunas investigaciones en este ramo han sido alentadoras u orientadas, de tal forma se puede decir que los alcoholes alifáticos de bajo peso molecular, presentan las condiciones más favorables de empleo en este tipo de procesos, ya que en primer lugar son compuestos relativamente fáciles de recuperar y en segundo lugar, existe la posibilidad de que utilizando su poder de extracción, se puedan aprovechar productos secundarios como son el caso de la lignina y los carbohidratos, que se obtienen gracias a la capacidad de extracción de estos solventes. También se ha encontrado que la adición de alcoholes y aminas durante la producción de pulpa celulósica alcalina, incrementa la selectividad de deslignificación de los procesos tradicionales (proceso a la sosa, proceso kraft), (Marton y Granzow, 1982).

Sin embargo, hasta el momento se han obtenido sólo algunos resultados satisfactorios entre los cuales destacan principalmente la disminución de la contaminación y la gran posibilidad de recuperación de etanol (Kleinert, 1971).

Básicamente la limitante para la aceptación total de los procesos de obtención de pulpa celulósica por medio de solventes orgánicos, es que las pulpas que se obtienen por

medio de estos procesos no son todavía satisfactorias, referidas éstas a una pulpa kraft. Aunque en la actualidad no se tiene conocimiento de la existencia u operación de un proceso organosolv industrial, o de alguna planta industrial que trabaje basándose en un proceso en el cual se adicione solamente alcohol y agua, si es conocido el esfuerzo realizado por la industria en el hecho de querer aprovechar el proceso organosolv para darle una aplicación comercial aunque tengan que hacer para ello modificaciones o innovaciones sobre el proceso tradicional, ejemplo de ello es el proceso que se denomina “Proceso Organocell”, que se puede denominar como un proceso organosolv modificado (Martínez y Sanjuán, 1990).

En el presente trabajo de investigación se pretende contribuir al estudio integral de la madera de *Mangifera indica* L. (Mango), aportando información sobre el proceso de pulpeo Organosolv Modificado en dos etapas, con el fin de conocer las propiedades y características de esta pulpa, con el propósito de ofrecer otras materias primas lignocelulósicas a las industrias papeleras, como lo es en este caso el mango, que después de que termine su tiempo de producción de su fruto, sea posteriormente la industria del papel una opción para aprovecharla. Esta madera, en la actualidad se encuentra subutilizada en Michoacán, donde es empleada en la fabricación de cajas para empaque, leña y a menor escala en algunas piezas de poca importancia económica.

II.- OBJETIVOS

1. Optimizar el proceso en la obtención de pulpa celulósica por el proceso organosolv a partir de la *Mangifera indica* L. (Mango).
2. Analizar el impacto que pueden tener los licores residuales en la contaminación ambiental por este proceso.
3. Caracterización de la celulosa obtenida.

III.- ANTECEDENTES

El origen del proceso Organosolv data de 1931, año en que Klason descubrió que el etanol en presencia de una pequeña cantidad de ácido clorhídrico, disolvía gran parte de la lignina de la madera (Sanjuán, 1997).

Kleinert *et al* (1931) encontraron que es posible deslignificar madera u otra materia prima vegetal en un sistema binario etanol-agua (Meier, 1983)

Arnonovsky y Gortner (1936), citado por Jairo y Salman (1985) probaron un número de mezclas de alcohol-agua como reactivos de cocción para madera de álamo encontrando que el alcohol n-butílico y n-amílico producía una pulpa con mas bajo contenido de lignina y mas alto rendimiento que con el alcohol metílico y etílico, no obstante, durante mucho tiempo no se presto atención a este tipo de proceso.

Katzen y Brusch (1980) reportan el desarrollo de un proceso factible y económicamente conveniente, en el cual se resuelven los problemas de extracción de lignina y su recuperación, además de la recuperación del etanol y otros subproductos.

Lonnberg y Sjöholm (1987) realizaron un estudio comparando 3 sistemas de cocción organosolv involucrando metanol y etanol como agentes de cocción. El rendimiento total evaluado como contenido de lignina en ciertas fibras fue alto para el sistema alcalino y más alto para el sistema que contenía metanol como componente alcohólico. Sin embargo, la cocción alcalina fue ligeramente mas baja en rendimiento que el proceso Kraft. Por otro lado, el proceso a base de etanol proporciono el rendimiento aceptado más alto. Prácticamente la deslignificación fue obtenida con alcohol solamente, con los parámetros de temperatura de 195°C y una presión de alta.

El pulpeo organosolv se ha estudiado también bajo condiciones alcalinas. Nakano & Darma y Marton & Granzow reportaron un pulpeo exitoso con alcohol en soluciones acuosas de hidróxido de sodio (Jairo y Salman, 1985). Sarkanen patentó el uso de sulfuro de amonio

como catalizador en soluciones acuosas de metanol. La mayor desventaja del pulpeo alcalino organosolv es que se requiere de un sistema de destilación para el álcali.

Janson y Vuorisalo (1986) realizaron un pulpeo con adición simultánea de alcohol y antraquinona al licor de cocción. La ventaja más obvia que se obtuvo fue que el álcali durante la cocción proporcionó una disminución en el grado de deslignificación, siendo este de 10 a 25%, cuando el etanol estuvo presente en la cocción de sodio-antraquinona.

Gasche (1985), citado por Sanjuán (1988) dio a conocer un proceso de cocción con madera, en una etapa, utilizando hidróxido de sodio, metanol y antraquinona como reactivos de cocción, donde pudo lograr una suficiente deslignificación de maderas blandas con buen rendimiento y buenas propiedades físico-mecánicas.

Vargas (1988), evaluó las propiedades físicas de celulosa de eucalipto, obtenida por el proceso kraft-etanol, observando que el índice de rasgado es mayor en la pulpa sin alcohol pero con la refinación tiende a disminuir.

Sanjuán y Chávez (1989) aplicaron el proceso organosolv en dos etapas para *Eucalipto globulus*, utilizando en la primera etapa únicamente una mezcla de etanol-agua y en la segunda etapa adicionaron tan solo sosa, estudiando el comportamiento en los parámetros de porcentaje de reactivo, tiempo y temperatura, obteniendo No. de Kappa en rango de 15-45 y rendimientos de 38-45%.

Martínez y Sanjuán (1990) reportan las ventajas de un proceso organosolv utilizando astilla de pino en una primera etapa solamente con etanol-agua y en la segunda etapa tan solo adicionaron sosa, obteniendo pulpas cuyas pruebas físico-mecánicas fueron muy semejantes a las obtenidas con pulpas de un proceso kraft industrial también de pino.

Medina (1991) estudia los extractos en el licor residual del proceso de pulpeo organosolv utilizando *Eucalipto globulus*, descubriendo que al incrementar el tiempo de 60 a 90

minutos no hay diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento y que el factor mas importante en el proceso lo presenta el porcentaje de reactivo que fue el hidróxido de sodio.

Nava (1993), obtuvo pulpa de *Casuarina equisetifolia* L. por el proceso organosolv modificado en una etapa. Los resultados óptimos se presentaron cuando se trabajó a una temperatura de 170°C.

Avila (1993) obtuvo una pulpa celulósica a partir de *Muhlebergia robusta* con proceso organosolv catalizado en una etapa, reportando que los resultados más adecuados los obtuvo trabajando a una temperatura máxima de 155°C y 60 minutos de cocción.

López (1999) realizó estudios sobre la optimización de las condiciones de obtención de pulpa organosolv de la madera de *Pinus martinezzi larsen*, reportando que se pueden obtener pulpas por medio del proceso organosolv modificado que pueden competir en el mercado, con las pulpas obtenidas en el proceso kraft.

Contreras (2002) determinó las condiciones optimas de cocción de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* mediante el proceso organosolv modificado en una etapa, reportando que es posible obtener pulpas con amplio nivel de deslignificación y buenos porcentajes de rendimiento.

En cuanto al uso de la *Mangifera indica* L. con un adecuado tratamiento preventivo, puede usarse en marcos para madera, implementos agrícolas, lanchas y tacones de zapatos y proporciona además carbón de buena calidad (Morton, 1987 citado por Galán, 1999).

En Puerto Rico la madera se ha usado de manera limitada como leña y tajaderas. En el sur de Asia se utiliza para pilotes sumergidos, botes, muebles, carpintería, pisos, construcciones, cajas, arados y triples. La madera es fuerte y pesada, en muchos lugares de Panamá, se emplean pedazos del tronco para cortar carne en las carnicerías (Parrotta, 1993).

En América Central la madera se emplea para embalajes y carpintería local (Sánchez de Lorenzo, 2003).

En México, se utiliza regionalmente para la elaboración de mascarar, (Ortega. *et al. s/f*). También para fabricar muebles, triplay, pisos, artículos torneados, culatas para armas, decoración de interiores, carrocerías, cajas para té y construcciones rurales (Niembro, 1990). En Cuba, se emplea en la fabricación de yugos y tablas para cajas, (Fors, 1965).

IV.- DATOS GENERALES DE LA ESPECIE

Descripción del área de colecta (INEGI, 2008).

La especie utilizada en el presente trabajo se colectó en el municipio de Apatzingán ubicado al occidente del país en la región de tierra caliente del estado de Michoacán. El estado de Apatzingán limita al Norte con el municipio de Tancítaro; al Este con los municipios de Parácuaro y la Huacana; al Sur con Tumbiscatio y al Oeste con los municipios de Aguililla y Buenavista, representa el 1.35% del total del estado y el 0.000041% de la superficie del país, se encuentra a una altura de 250 metros sobre el nivel del mar.

Área de colecta



Fig. 1. Localidad donde se colectó el árbol de *Mangifera indica* L.

Clasificación de la especie (Richter y Dallwitz, 2000)

Nombre científico: *Mangifera indica* L.

Nombres comunes: mango, mango criollo (nombre mas usado en la zona de recolección en México); machang, sepam, tigre Word, figures asam, asam (Malacia); mangga, mango (India)); en lenguas indígenas náhuatl: moncocuabtl (Ortega *et al* s/f).

Distribución

Nativo de los trópicos asiáticos, actualmente naturalizado en las regiones tropicales del mundo entero, desarrollándose mejor en altitudes que van de los 0 a los 1200 msnm. Existen plantaciones comerciales por la importancia del fruto (Báez 2006).

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA (Infoagro, 2008).



Fig. 2. Árbol, Flor y fruto de *Mangifera Indica* L.

-Tronco. El mango típico constituye un árbol de tamaño mediano, de 10-30 m de altura. El tronco es más o menos recto, cilíndrico y de 75-100 cm de diámetro; su fuste es recto y cilíndrico, su ramificación es ascendente formando una copa densa y redondeada.

-Copa. La corona es densa y ampliamente oval o globular. Las ramitas son gruesas y robustas, frecuentemente con grupos alternos de entrenudos largos y cortos que corresponden al principio y a las partes posteriores de cada renuevo o crecimientos sucesivos; son redondeadas, lisas, de color verde amarillento y opaco cuando jóvenes; las cicatrices de la hoja son apenas prominentes.

-Corteza. La corteza es de color castaño grisáceo tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos que a veces contienen gotitas de resina.

-Hojas. Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramitas, de pecíolo largo o corto, oblongo lanceolado, coriáceo, liso en ambas superficies, de color verde oscuro brillante por el haz y verde- amarillento por el envés de 10-40 cm de largo y 2-10 cm de ancho.

-Fruto. Se trata de una gran drupa carnosa que puede contener uno o más embriones, es variable en dimensiones, generalmente es ovoide – oblonga, de 4-25 cm de largo y 2-10 cm de grueso, con un peso que varía de los 150 gr a 1 kg. De color verde, verde amarillento o naranja en la maduras con algunas tonalidades rojas o violetas. La pulpa es de color amarillo o naranja, jugoso y fibroso.

-Madera. La diferencia entre albura y duramen no siempre es definida, el color varía entre amarillo dorado, castaño pálido a castaño rojizo, no presenta olor ni sabor característico, presenta textura media, brillo alto y vetado pronunciado (Báez 2006).

V.- PROCESOS DE PULPEO

Pulpeo es el término usado para describir la transformación de materias primas a fibras para la elaboración de papel, proceso que puede llevarse a cabo por medios mecánicos o químicos, o por combinación de ellos (químicos – mecánicos); dando lugar a los procesos de pulpeo denominados como: pulpeo puramente químico (Kraft, a la sosa, al sulfito y Organosolv) pulpeo termomecánico, semiquímico y pulpeo mecánico. (Cruz, 1993).

El proceso organosolv es en gran parte un procedimiento de pulpeo que utiliza solventes orgánicos para remover la lignina tales como metanol, etanol, ácido acético, acetona, etc. (Biermann, 1996).

En teoría, en el proceso de pulpeo pueden usarse un gran número de solventes, por lo que se ha propuesto una gran cantidad de ellos para este fin. En los métodos organosolv se prefieren solventes con puntos de ebullición más bajos que el agua, como los alcoholes menores, porque pueden recuperarse del licor gastado por destilación simple. Sin embargo, sólo unos cuantos solventes orgánicos han demostrado ser realmente buenos (Cuadro No. 1). (Sanjuán, 1997).

Las altas presiones en los digestores, así como los prolongados ciclos de cocción hacen indispensable el uso de determinados catalizadores o combinaciones que permitan hacer mas atractivos los procesos de pulpeo organosolv (Sanjuán *et al.*, 1986).

Por lo regular los procesos organosolv se clasifican de acuerdo con los catalizadores empleados, por lo que resaltan tres categorías (Sanjuán, 1997):

- 1) Sistemas a los que no se añade catalizador. Los ácidos liberados del mismo proceso de pulpeo principalmente ácido acético actúan como catalizadores en la hidrólisis, produciendo un pH final de 3.0 a 3.5. Estos sistemas requieren temperaturas superiores a 180°C.

- 2) Sistemas catalizados por ácidos. Se ha probado una gran variedad de catalizadores en las deslignificaciones organosolv. Entre estos se encuentran ácidos minerales y orgánicos, dióxido de azufre, sales ácidas y sulfato de aluminio. La variación normal en el pH producido por los catalizadores es de 2.7 a 3.5. La acción de los catalizadores como los ácidos se lleva a través de la hidrólisis gradual del catión del ácido (Avila, 1993). El empleo de catalizadores en el pulpeo nos permite reducir la temperatura hasta 150°C.
- 3) Sistemas catalizados por bases. Puede alcanzarse una deslignificación excepcionalmente selectiva en los sistemas organosolv por el uso de reactantes básicos como amoníaco, sulfuro de amonio, hidróxido de sodio o varias aminas. Sin embargo, se requieren varias cantidades de estos reactantes, con lo que se incrementa el costo de recuperación de reactivos.

En el siguiente cuadro se enlistan los solventes y catalizadores mas usados en estos procesos, los cuales aún no se aplican a nivel industrial, pero es indudable que desempeñaran un papel muy importante en el futuro.

Cuadro No.1. Solventes y catalizadores más usados en los procesos organosolv

(Sanjuán, 1997)

Solvente*	Catalizadores
Metanol	A. Catalizadores ácidos
Etanol	Incatalizador**
n-Butanol	Ácido clorhídrico
Etilén glicol	Ácido sulfúrico
Etilén glicol metil éter	Dióxido de azufre
Trietilén glicol	Ácido Oxálico
Dioxano	Ácido Salicílico
Acetona	Cloruro de Aluminio
Ácido fórmico	Fluoruro de bario
Ácido acético	Cloruro de magnesio
Etil acetato	B. Otros catalizadores
Fenol	Hidróxido de sodio
Hexametilén diamina	Amoníaco
Sulfóxido de dimetilo	Sulfuro de amonio

*Normalmente en combinación con agua.

**Catalizados por la liberación de ácido acético

V.1 Proceso organosolv modificado

Entre los procesos no convencionales que actualmente se investigan sobresalen los que se basan en solventes orgánicos, en el cuadro 1 del Anexo se tienen las propiedades físicas del metanol como uno de los solventes usados en el proceso organosolv.

El proceso Organosolv es un proceso de pulpeo que utiliza como reactivo hidróxido de sodio en una solución de metanol-agua; dicho proceso se puede llevar a cabo en dos etapas (etapa de extracción y etapa de pulpeo) o en una sola etapa.

La ventaja mas obvia para la realización de la cocción con hidróxido de sodio en alcohol es que la deslignificación se realiza mas rápidamente y el rendimiento es mas alto (Nava, 1993).

La extracción de la lignina con solventes orgánicos como el etanol se lleva a cabo esencialmente con una separación de los carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) y de la lignina. La reacción es una separación de los carbohidratos. La porción resultante de la lignina tiene un peso molecular bastante bajo, por lo tanto, con una mezcla de álcali y alcoholes se consigue la remoción de gran parte de la lignina y de los polisacáridos que contiene la madera. Los alcoholes de cadena corta son de especial interés porque su recuperación es fácil. La ventaja potencial del uso de etanol para obtener pulpa es la de combinar este compuesto con los procesos alcalinos (Vargas, 1988).

El grado y selectividad de la deslignificación alcalina en alcoholes acuosos y aminas aumenta con el incremento de la concentración del álcali y componente orgánico. En adiciones elevadas del solvente, el hidróxido de sodio absorbido por la madera causa la concentración efectiva del álcali en las astillas incrementando el grado de pulpeo y acelerando a la vez la depolimerización de la celulosa, disminuyendo la viscosidad de la pulpa.

La solubilidad, adsorción y actividad catalítica del hidróxido de sodio, están influenciados por el tipo y concentración del solvente, el cual determina la proporción total del pulpeo en estas mezclas (Green y Sanyer, 1982).

En los cuadros 2 y 3 del Anexo, se tabulan algunas de las condiciones de operación en el proceso Organosolv catalizado, así como las propiedades en las pulpas obtenidas por este medio.

Los productos finales de diferentes tipos de proceso organosolv son de diferente características. De la materia prima original se obtienen las siguientes tres fracciones más importantes (Sanjuán, 1988):

- 1) Pulpa celulósica, conteniendo el compuesto de celulosa, diversas cantidades de hemicelulosa y lignina residual.
- 2) Lignina sólida, obtenida al recuperar el solvente orgánico del extracto, o al destilar la lejía residual del proceso organosolv.
- 3) Obtención de una solución rica en azúcares, estos azúcares son obtenidos por la hidrólisis de las hemicelulosas en primer termino y de la celulosa como segunda fuente. Estos azúcares, se pueden fermentar para producir proteínas o etanol, así como concentrarse a melazas y venderse como alimento para el ganado.

V.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROCESO ORGANOSOLV (Ávila, 1993; Cruz 1993)

VENTAJAS:

--Posibilidad de utilización de todo tipo de materias primas fibrosas (maderas duras, maderas suaves, plantas anuales).

--Gran simplificación en el proceso de recuperación de reactivos en licores negros, sea para la obtención de subproductos con valor comercial (azúcares hidrolizados, lignina y otros extraíbles, o con fines energéticos).

--Bajo índice de contaminación ambiental, al evitar los compuestos de azufre que se convierten parcialmente en compuestos como son mercaptanos o el ácido sulfhídrico que son fétido y tóxicos bajo ciertas concentraciones en el ambiente.

--Disminución de los costos de inversión y operación, reduciendo la capacidad mínima rentable de una planta.

--Sencillez en el sistema de recuperación del solvente.

--Mayor selectividad de deslignificación, por lo tanto mayores rendimientos en el proceso de pulpeo.

--Obtención de pulpas con bajo contenido de lignina, que pueden ser blanqueadas sin el uso de compuestos clorados.

LIMITACIONES:

--Bajas propiedades de resistencia en las pulpas papeleras, ya que el medio alcohólico no favorece el hinchamiento de las fibras lignocelulósicas, esto repercute en el grado de deslignificación del material (disminuyéndolo), así como en su fibrilación y por ende, en sus propiedades de resistencia, por lo que se debe hacer una acción de molienda adecuada para cada pulpa, de acuerdo con sus características.

--Volatilidad de los reactivos de pulpeo, es decir medios deslignificantes de bajo punto de ebullición, por ejemplo: Etanol (76°C). Por esto el pulpeo Organosolv debe realizarse bajo un estricto control de operación, ya que existen fuertes riesgos de explosión e incendio en

caso de fugas de los digestores, lo cual en el pulpeo convencional no tiene consecuencias desastrosas.

--Sus condiciones de operación (altas temperaturas y presiones, tiempos largos) que pueden ser reducidas con el uso de catalizadores, los cuales permiten disminuir la temperatura y la presión, así como los tiempos de cocción, disminuyendo los consumos de energía.

--Las pulpas químicas convencionales pueden lavarse muy bien con agua, lo cual no es posible para las pulpas Organosolv, dado que la disolución con agua del licor de pulpeo tiende a precipitar las ligninas disueltas sobre las fibras de la pulpa.

VI.- METODOLOGIA

La metodología se desarrollo en base al trabajo realizado por López (1999).

De acuerdo a los antecedentes se llevó a cabo el proceso Organosolv en dos etapas, para lo cual se trabajó de acuerdo a lo siguiente:

- Para una primera etapa se somete la astilla a un cocimiento con metanol-agua.
- Para la segunda etapa se le adiciona hidróxido de sodio, variando el porcentaje de éste, la temperatura y el tiempo de acuerdo al diseño experimental propuesto.

VI.1 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La madera de *Mangifera indica* L. que se utiliza para la experimentación procede de un árbol de la zona de Apatzingán, Michoacán. Tal árbol después de ser derribado y posteriormente trozado, se descorteza y se astilla manualmente en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Posteriormente las astillas se clasificaron por tamaño y grosor. Para el presente estudio se utilizaron solamente las astillas seleccionadas de acuerdo a la norma T 16 ts - 61. Lo anterior con el objeto de tener el tamaño adecuado de modo que los reactivos químicos penetren al interior de la astilla y cumplan con el objetivo de solubilizar la lignina, rechazando las astillas demasiado grandes pues en estas no penetran los reactivos químicos hasta el centro, obteniéndose cocimientos no uniformes y por lo tanto mayor porcentaje de rechazos; también se rechazaron las astillas muy delgadas pues en estas se presenta sobrecocimiento afectando el porcentaje de rendimiento, No de kappa, viscosidad, etc.

A la astilla clasificada para la primera etapa, se le determinó el porcentaje de humedad de acuerdo a la norma T – 264 om 88, para calcular el peso de astilla de madera base seca que se alimentó al digestor.

A continuación se presenta un diagrama general para el pulpeo de dos etapas y su evaluación.

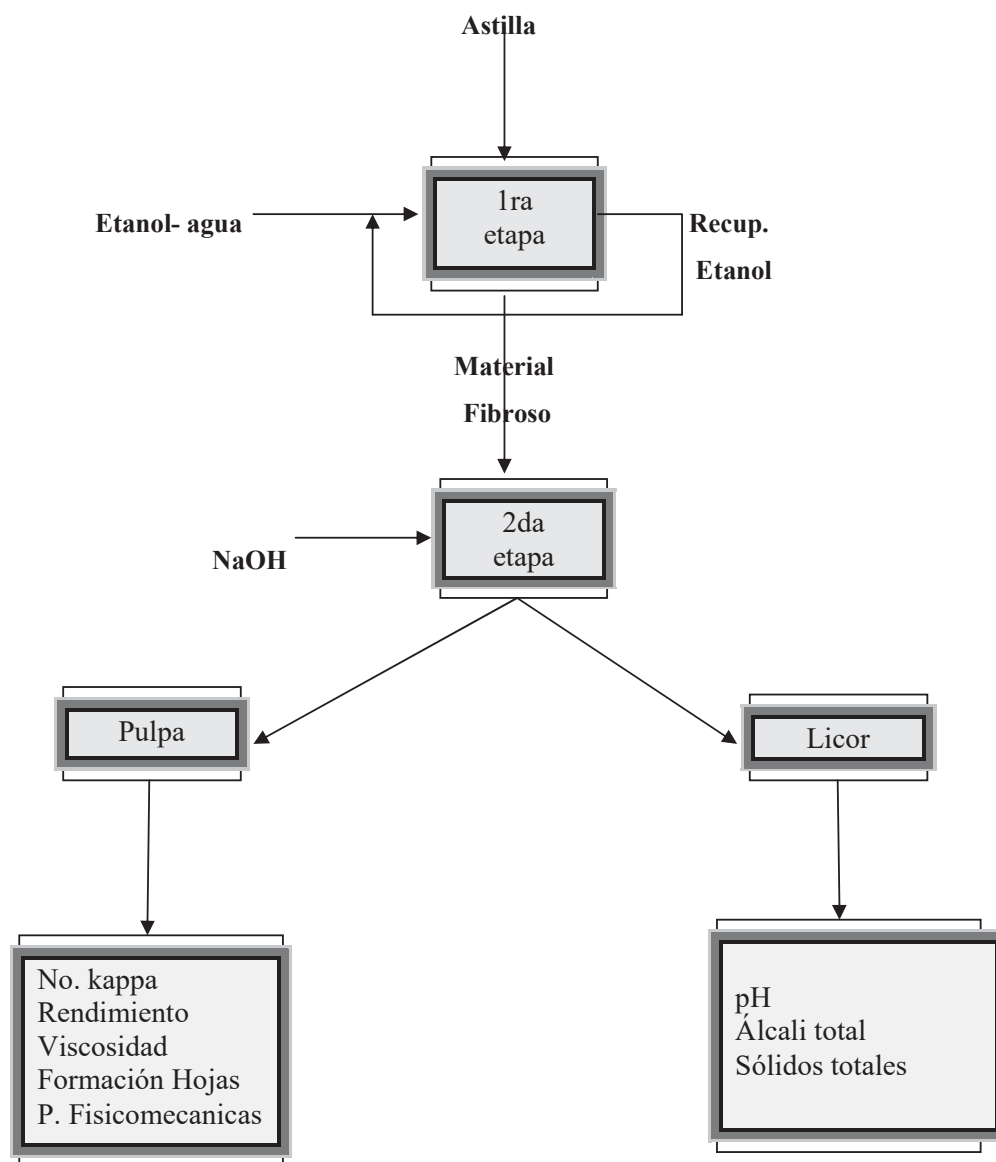


Fig. 3. Diagrama general para el pulpeo de dos etapas y su evaluación

VI.2 COCCION

El pulpeo se realizó en dos etapas, empleando para la primera etapa únicamente una mezcla de alcohol-agua y para la segunda etapa NaOH.

Las cocciones se realizaron en los digestores que se encuentran en el laboratorio de la Facultad de ingeniería en Tecnología de la Madera.

VI.2.1 EQUIPO DE COCCION

El digestor utilizado tiene las siguientes características:

- Volumen 7.5 lts.
- Presión de diseño 30 Kg/cm^2
- Presión de operación de 10 a 17 Kg/cm^2
- Temperatura de diseño 250°C
- Temperatura de operación 160 a 185°C
- Sistema de calentamiento: fuego directo con quemador de gas.
- Control de presión
- Control de temperatura
- Forma de purgador



Fig. 4 Digestor

VI.2.2 RELACION DE BAÑO

Es la cantidad de líquido que se adiciona al digestor con respecto al peso de la madera base seca, para impregnar totalmente la astilla, con el objeto de tener una distribución uniforme del licor en el digestor. La cantidad de líquido que se adiciona al digestor es lo que se le conoce como licor de cocción, el cual esta dado por el peso del licor de cocción, peso del agua en la madera y peso del agua o licor negro para completar la relación de baño. La relación de baño generalmente oscila de 3 a 4 partes de líquido con

respecto de la madera base seca. En este trabajo se utiliza una relación de baño de 5:1 (López, 1999).

VI.2.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las astillas de madera se cuecen durante un tiempo determinado bajo condiciones adecuadas de presión y temperatura, así como de la concentración de licor. El tiempo y la temperatura están muy relacionados.

La temperatura es la que propicia la reacción entre el licor y la lignina. El tiempo de digestión esta en función directa de la temperatura máxima de cocción, así como de la concentración de reactivos.

VI.3 PREPARACION DEL LICOR DE COCCION

El licor se prepara de la siguiente manera:

50% de metanol

50% de agua

11- 18.5% de NaOH/ m.b.s.

m.b.s (madera base seca)

Es necesario conocer la concentración de los reactivos de cocción, que es la cantidad en gramos de los reactivos sobre el volumen de agua en que se diluyen. La pureza del NaOH utilizado para estas cocciones es de 96.47% en peso.

VI.4 VARIABLES DE LA COCCION

Para este trabajo se tendrán como variables de cocción:

- Porcentaje de reactivo
- Tiempo y
- Temperatura

El pulpeo se llevó a cabo de acuerdo a las combinaciones de las variables de operación resultantes del diseño experimental de Box – Wilson, conocido también como “Central compuesto rotacional” con tres variables independientes, cinco niveles y tres respuestas (Cochran y Cox, 1990).

VI.5 ELECCION DEL MODELO

En este trabajo se aplicará el diseño experimental de BOX-WILSON, conocido también como CENTRAL COMPUESTO ROTACIONAL por presentar las siguientes ventajas:

- Menor cantidad de experimentos
- Amplio rango de estudio
- Facilidades para el cálculo de los coeficientes del modelo matemático y la interacción entre las variables de estudio.

En el APENDICE A se describe ampliamente el diseño central compuesto rotacional de Box Wilson de segundo orden.

Las condiciones que se variaron en el trabajo son:

Porcentaje de NaOH	(X ₁)
Tiempo	(X ₂)
Temperatura de cocción	(X ₃)

En la aplicación del diseño experimental se tiene como valor máximo (M₁) en cada una de las variables por consiguiente tenemos que:

M ₁	para NaOH	23.41% /m.b.s.
M ₁	para tiempo	130.23 min.
M ₁	para temperatura	183.41°C

Y como valores mínimos (M₂) en estas mismas variables se tiene:

M ₂	para NaOH	6.59 % /m.b.s.
M ₂	para tiempo	79.80 min.
M ₂	para temperatura	166.55 °C

De acuerdo con el diseño experimental (APENDICE A) se tiene que:

$$\alpha = 2^{k/4}$$

Donde K = 3 (numero de variables)

∴ α (Niveles del diseño experimental)

Que al sustituir el valor de k en la ecuación anterior y realizando la operación correspondiente, se obtiene que:

$$\alpha = 1.682$$

Se establecen cinco niveles para cada variable, siendo dos de estos los extremos M₁ y M₂, quedando para las condiciones establecidas como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Valores reales para los niveles del diseño experimental.

Variable	(α) Niveles				
	-1.682	-1.0	0	1.0	1.682
% React. (X1)	6.59	11.59	15	18.41	23.41
Tiempo (X2)	79.8	94.770	105	115.23	130.23
Temp.°C (X3)	166.55	171.59	175	178.41	183.41

En el cuadro 3, se muestran los valores de los factores del Diseño Central Compuesto Rotacional constituido por un total de veinte ensayos de acuerdo a la codificación establecida (APENDICE A).

Cuadro 3. Valores reales de las variables de cocción del Proceso Organosolv
(Segunda etapa de cocción)

No de ensayo	X ₁ (%)	X ₂ (min.)	X ₃ (°C)
1	11.59	94.77	171.59
2	18.41	94.77	171.59
3	11.59	115.23	171.59
4	18.41	115.23	171.59
5	11.59	94.77	178.41
6	18.41	94.77	178.41
7	11.59	115.23	178.41
8	18.41	115.23	178.41
9	6.59	105.00	175.00
10	23.41	105.00	175.00
11	15.00	79.80	175.00
12	15.00	130.23	175.00
13	15.00	105.00	166.55
14	15.00	105.00	183.41
15	15.00	105.00	175.00
16	15.00	105.00	175.00
17	15.00	105.00	175.00
18	15.00	105.00	175.00
19	15.00	105.00	175.00
20	15.00	105.00	175.00

Para el análisis estadístico del diseño experimental se utilizó el Software STATISTICA versión 7 para Windows.

VI.6 VALORACION DE LA PULPA ORGANOSOLV

Se describe ampliamente cada una de las valoraciones que se le hicieron a la pulpa organosolv, así como el método y material utilizado (APENDICE B).

VI.6.1 Rendimiento

La determinación del rendimiento se realiza obteniendo el peso seco de la pulpa total producida y se divide entre el peso seco de la astilla alimentada al digestor, de acuerdo a la norma T – 240 – om – 88 (TAPPI 2000).

VI.6.2 Determinación del No. de Kappa

El número de Kappa indica el grado de deslignificación de la pulpa y puede ser utilizada para todos los tipos y grados de pulpas de procesos químicos y semiquímicos, se determino de acuerdo a la norma T – 236 – m – 60 (TAPPI 2000).

VI.6.3 Viscosidad

La solución para viscosidad de una pulpa, mide el grado de polimerización promedio de la celulosa. Tal como prueba, nos da una indicación relativa de la degradación que resulta de los procesos de pulpeo y blanqueo (disminución en el peso molecular).

La viscosidad se determinó en un viscosímetro capilar Cannon Fenske, basada en la norma T 230 – os – 58 (TAPPI 2000).

VI.7 PRUEBAS FISICAS DEL PAPEL

Las pruebas físicas se realizaron en el corporativo Kimberly división Scribe en la ciudad de Morelia, Michoacán. Se seleccionaron 10 muestras de las cocciones obtenidas basándonos en el No. de kappa y el porcentaje de rendimiento.

VI.7.1 Formación de hojas

Con la pulpa obtenida se formaron las hojas de acuerdo a la norma T – 205 – om – 81 (TAPPI 2000).

VI.7.1 Gramaje

Esta determinación (peso por unidad de área) se realizó después de que las hojas de prueba se secaron hasta peso constante, de acuerdo a la norma T – 205 (TAPPI 2000).

VI.7.3 Tensión

La resistencia a la tensión es la máxima resistencia a la ruptura o rompimiento bajo condiciones preestablecidas. Se define también como la fuerza por unidad de ancho de la muestra y se determinó de acuerdo a la norma T – 404 – os – 76 (TAPPI 2000).

VI.7.4 Rasgado

Es la determinación de la fuerza o trabajo promedio para rasgar una hoja de papel, se diferencia por lo tanto, de la carga de ruptura porque en esta es una fuerza lo que se mide, mientras que en el rasgado es un trabajo, se determino de acuerdo a la norma T – 414 – st – 65 (TAPPI 2000).

VI.7.5 Explosión

Es la presión uniformemente repartida sobre una parte circular sobre su superficie de un diámetro determinado, llega un momento que por efecto de la presión el papel se revienta. La presión a que se produce el reventamiento, es el valor de explosión (estallido) y se determina mediante la norma T – 403 – ts – 63 (TAPPI 2000).

VI.8 ANALISIS DE LOS LICORES DE COCCION

VI.8.1 Determinación de pH

La determinación del pH nos indica el álcali residual que no reacciona durante la cocción. El pH nos indica el potencial de hidrogeno que es la neutralización de un ácido con un álcali, para esta determinación el pH debe ser de 8.3 por que la madera es ligeramente ácida, aproximadamente de 1.3.

VI.8.2 Determinación de álcali residual

La determinación del álcali residual nos permite conocer exactamente cual fue el consumo real durante el proceso de digestión de este mismo.

Esta determinación se realizó de acuerdo a la norma T – 264 (TAPPI 2000).

VI.8.3 Determinación de sólidos totales

Este parámetro nos representa tanto las sales de sodio como la lignina modificada, azúcares disueltos, ácidos resínicos saponificados, ceras, etc., es decir, el contenido de materia orgánica, ya que el poder calorífico del licor esta en función de ellas.

Se realizó de acuerdo a la norma T – 625 (TAPPI 2000).

VII.-RESULTADOS

VII.1 EVALUACION DE LAS RESPUESTAS OBTENIDAS DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO.

En el siguiente cuadro se muestran los parámetros de evaluación (respuestas) de la pulpa Organosolv de *Mangifera indica* L., de acuerdo a las condiciones de operación que para cada ensayo se obtuvieron de la aplicación del diseño experimental central compuesto rotacional.

Cuadro No. 4.- Resultados de los ensayos

No. de muestra	CONDICIONES			RESPUESTAS		
	% de NaOH	Tiempo (min.)	Temp. (° C)	% Rend.	No. Kappa	Viscosidad Cps
1	11.59	94.77	171.59	49.4343	55.485136	4.8657
2	18.41	94.77	171.59	51.0339	36.2882	9.94013
3	11.59	115.23	171.59	39.9477	63.40355	8.59652
4	18.41	115.23	171.59	53.4504	40.8941	12.773957
5	11.59	94.77	178.41	51.6322	63.249153	11.519503
6	18.41	94.77	178.41	46.2675	50.3406	11.943254
7	11.59	115.23	178.41	55.7252	64.902983	15.47113
8	18.41	115.23	178.41	44.1097	32.7587	7.34422
9	6.59	105.00	175.00	49.6189	67.828243	4.8838697
10	23.41	105.00	175.00	48.476	14.9103	7.5138
11	15.00	79.80	175.00	44.6925	56.8204	7.4412555
12	15.00	130.23	175.00	53.492	50.9780	12.7839
13	15.00	105.00	166.55	48.7304	65.76214	7.5532319
14	15.00	105.00	183.41	51.3356	62.8540	11.45333
15	15.00	105.00	175.00	51.8596	63.03993	11.570238
16	15.00	105.00	175.00	51.1439	52.3950	11.41056
17	15.00	105.00	175.00	48.5153	60.1292	7.525735
18	15.00	105.00	175.00	50.7712	69.535273	11.328724
19	15.00	105.00	175.00	46.7771	60.2842	12.07948
20	15.00	105.00	175.00	50.9636	61.1107	11.370334

VII.2 DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES BETA Y GRAFICAS DE LOS PARAMETROS DE EVALUACION

En los siguientes apartados se dan a conocer los valores de los coeficientes beta, los cuales van subindexados, desde $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_9$. Estas evaluaciones se lograron mediante el procedimiento sugerido por Box y Wilson (1951), así como Box y Hunter, (1955).

VII.2.1 Determinación de los coeficientes beta para el porcentaje de rendimiento

En el cuadro No. 5 se presentan los valores de los coeficientes β , del diseño central compuesto resultante de las condiciones de digestión [reactivo (%), tiempo (min.), y temperatura (°C)] contra el parámetro de evaluación del **rendimiento** (%), para el proceso organosolv modificado de dos etapas en *Mangifera indica*.

Cuadro No. 5.- Coeficientes (β) para el porcentaje de rendimiento

Valores de los coeficientes β	Valor correspondiente
β_0	-768.35547386243
β_1	60.592589226406
β_2	- .010222986114652
β_3	4.0093081178559
β_4	.0037526787304354
β_5	- .34488114997274
β_6	0
β_7	0
β_8	0
β_9	0

La ecuación del Diseño Central Compuesto Rotacional de Box –Wilson de segundo orden, aplicable a todos los parámetros de evaluación la encontramos en, (Apéndice A).

Por lo que, la ecuación propuesta para el diseño experimental con sus respectivos valores de los coeficientes queda:

$$Z = -768.35547386243 + 60.592589226406 X - .010222986114652 X^2 + 4.0093081178559 Y + .0037526787304354 Y^2 - .34488114997274 X Y + 0.0000$$

Grafica Rendimiento con relación a la temperatura y el reactivo

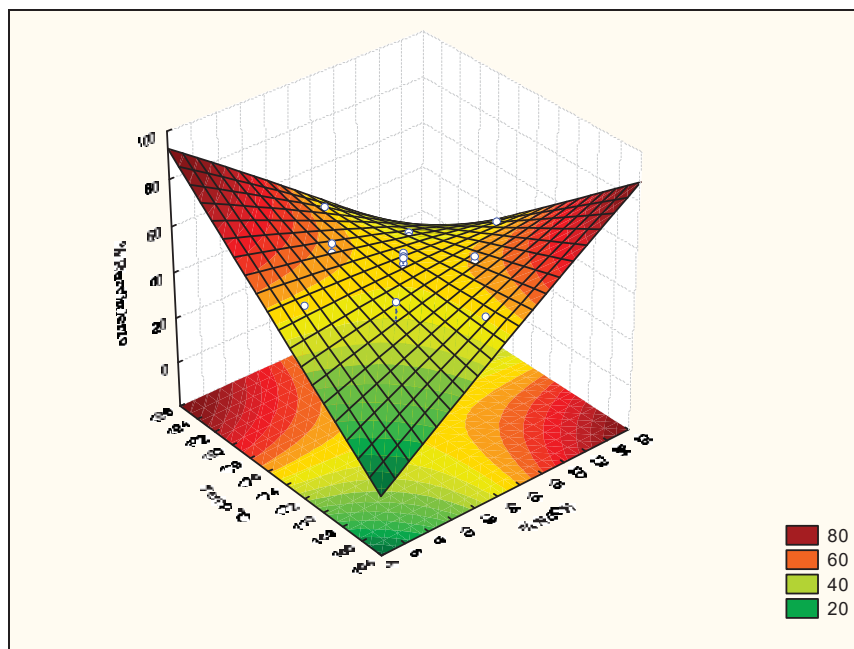


Fig. 5 Gráfica tridimensional de superficie de respuesta para el rendimiento con relación a la temperatura y el reactivo.

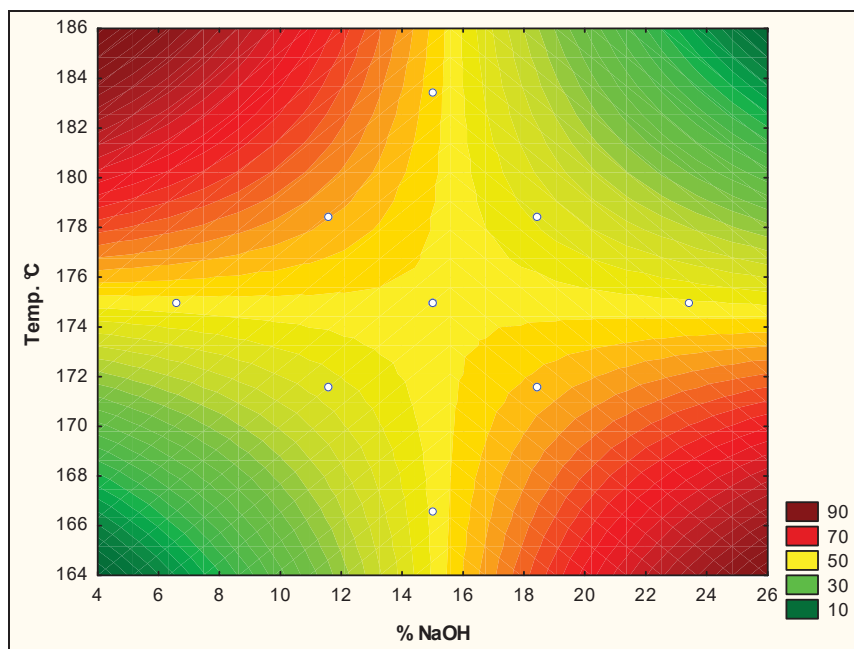


Fig 5a Gráfica de contornos para el rendimiento con relación a la temperatura y el reactivo

VII.2.2 Determinación de los coeficientes beta para No. de Kappa

En el cuadro No. 6 se presentan los valores de los coeficientes β , del Diseño Central Compuesto resultante de las condiciones de operación [reactivo (%), tiempo (min.), temperatura (°C)], contra el parámetro de evaluación del **No. de Kappa**, para el proceso organosolv modificado de dos etapas en *Mangifera indica*.

Cuadro No.- 6 Coeficientes (β) para el No. de Kappa

Valores de los Coeficientes β	Valor Correspondiente
β_0	2077.9867194562
β_1	10.764196740264
β_2	- .25428296353158
β_3	- 23.867603129632
β_4	.070069606558974
β_5	- .035973740335915
β_6	0
β_7	0
β_8	0
β_9	0

Quedando la ecuación propuesta para el diseño experimental con sus respectivos valores de los coeficientes de la siguiente forma:

$$Z = 2077.9867194562 + 10.764196740264 X - .25428296353158 X^2 - 23.867603129632 Y + .070069606558974 Y^2 - .035973740335915 X Y + 0.0000$$

Grafica No. de Kappa con relación a la temperatura y el reactivo

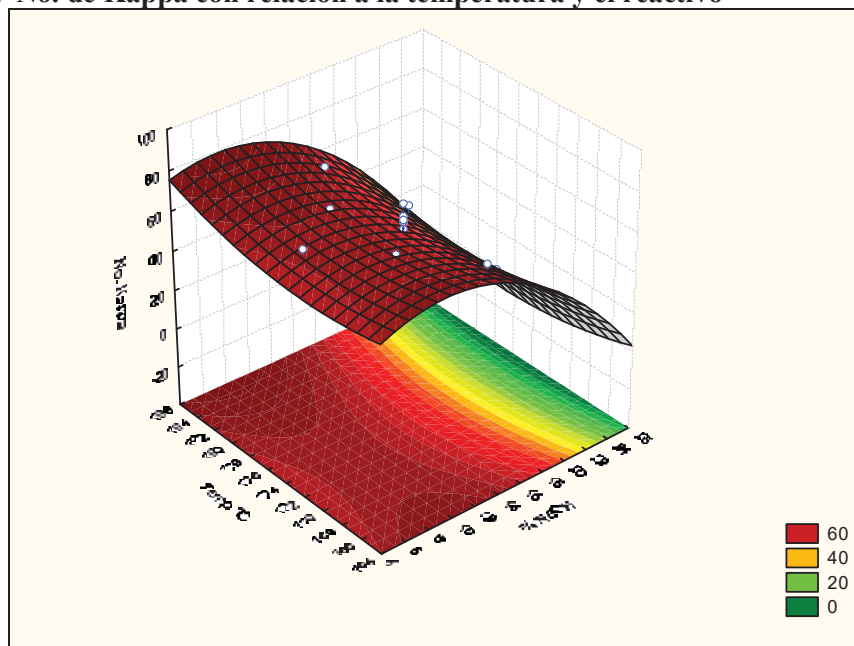


Fig. 6 Gráfica tridimensional de Superficie de respuesta para N. de Kappa con relación a la temperatura y el reactivo

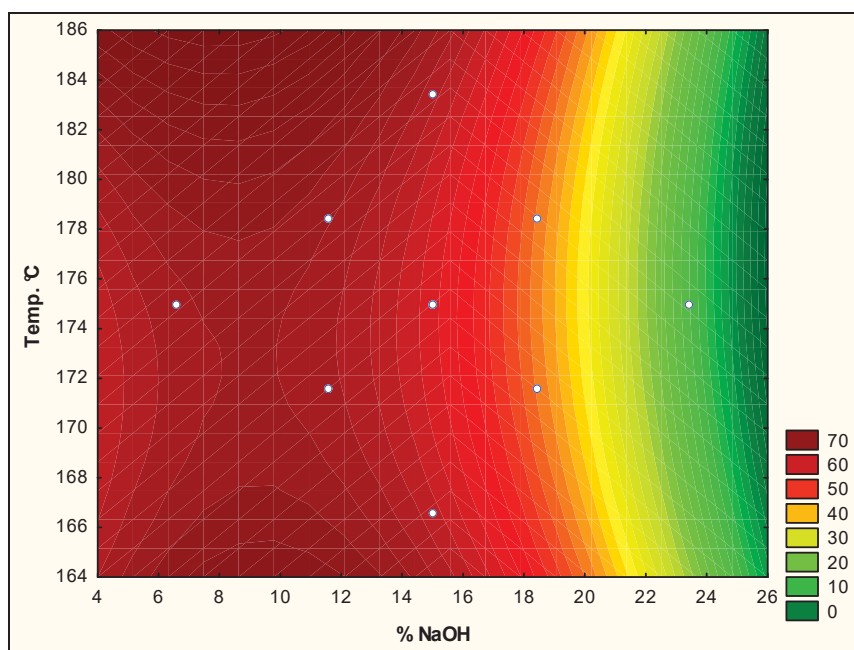


Fig. 6a Gráfica de contornos para N. de Kappa con relación a la temperatura y el reactivo

VII.2.3 Determinación de los coeficientes beta para viscosidad

En el cuadro No. 7 se presentan los valores de los coeficientes β del Diseño Central Compuesto resultante de las condiciones de operación [reactivo (%), tiempo (min.), temperatura ($^{\circ}\text{C}$)], contra el parámetro de evaluación **Viscosidad** (Cps), para el proceso organosolv modificado de dos etapas *Mangifera indica*.

Cuadro No.- 7 Coeficientes (β) para la Viscosidad

Valores de los Coeficientes β	Valor Correspondiente
β_0	-5861.8184579895
β_1	38.641730844966
β_2	-.22095896411657
β_3	63.606391051034
β_4	- .17311653866422
β_5	- .18226350392581
β_6	0
β_7	0
β_8	0
β_9	0

Por lo que, la ecuación propuesta para el diseño experimental con sus respectivos valores de los coeficientes es:

$$Z = -5861.8184579895 + 38.641730844966 X - .22095896411657 X^2 + 63.606391051034 Y - .17311653866422 Y^2 - .18226350392581 X Y + 0.0000$$

En los cuadros anteriores los valores de beta tienen una simbolización en las correspondientes ecuaciones antes dadas, la cual es:

β_0	Coeficiente promedio de la respuesta de cada variable en particular (Porcentaje de reactivo, tiempo y temperatura).
β_1, β_2 y β_3	Indican la magnitud del efecto de los factores: porcentaje de reactivo, tiempo y temperatura respectivamente con relación al porcentaje de rendimiento, No. de kappa y viscosidad.
β_4, β_5 y β_6	Estos, son los términos cuadráticos de los factores β_1, β_2 y β_3 .
β_7, β_8 y β_9	Representa el efecto de la interacción entre los factores $\beta_1\beta_2, \beta_1\beta_3$ y $\beta_2\beta_3$

Grafica Viscosidad con relación a la temperatura y el reactivo

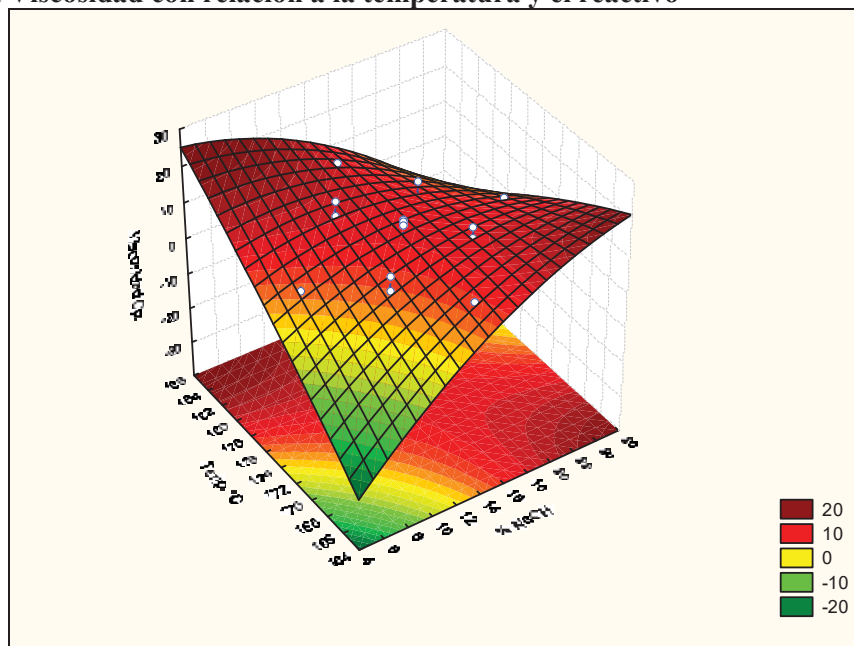


Fig. 7 Gráfica tridimensional de Superficie de respuesta para viscosidad con relación a la temperatura y el reactivo.

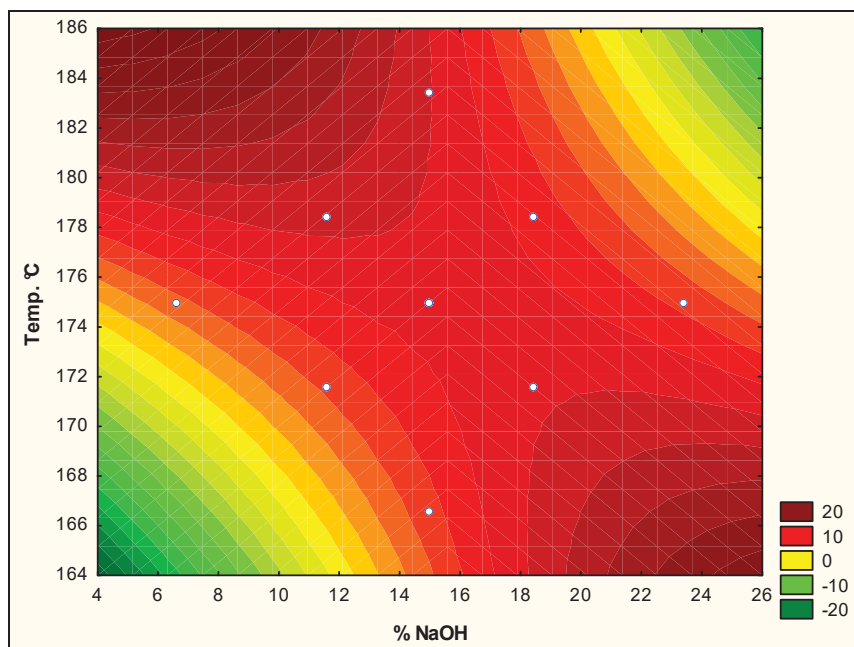


Fig. 7a Gráfica de contornos para viscosidad con relación a la temperatura y el reactivo

VII.3 ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE

Análisis de regresión múltiple para las respuestas del diseño experimental (rendimiento, No. de kappa y viscosidad).

A continuación se presentan los resultados del análisis de regresión múltiple para 20 ensayos, (APENCIDE C).

Cuadro No. 8 Análisis de regresión múltiple para Rendimiento

Multiple Regression Results Rendimiento		
Dependent: Var7	Multiple R = .15729573	F = .2156419
	R ² = .02474195	df = 2,17
No. of cases: 20	adjusted R ² = -.08999429	p = .808195
Standard error of estimate: 3.834455150		
Intercept: 24.282268571	Std.Error: 43.92747	t(17) = .55278 p = .5876
Var1 beta= -.07	Var3 beta= .143	

Cuadro No. 9 Análisis de regresión múltiple para No. de Kappa

Multiple Regression Results No. de Kappa		
Dependent: Var7	Multiple R = .80214566	F = 15.33875
	R ² = .64343766	df = 2,17
No. of cases: 20	adjusted R ² = .60148915	p = .000156
Standard error of estimate: 8.741253953		
Intercept: 82.052774498	Std.Error: 100.1397	t(17) = .81938 p = .4239
Var1 beta= -.80	Var3 beta= .029	

Cuadro No. 10 Análisis de regresión múltiple para Viscosidad

Multiple Regression Results Viscosidad		
Dependent: Var7	Multiple R = .38415508	F = 1.471553
	R ² = .14757513	df = 2,17
No. of cases: 20	adjusted R ² = .04728985	p = .257381
Standard error of estimate: 2.764167468		
Intercept: -41.89987278 Std.Error: 31.66627 t(17) = -1.323 p = .2033		
Var1 beta=.145 Var3 beta=.356		

VII.4 RESULTADOS DEL LICOR RESIDUAL

En el siguiente cuadro se presentan los resultados del análisis del licor residual que se obtuvo después de la etapa de cocción.

Cuadro No. 11.- Análisis del licor negro

No de muestra	LICOR NEGRO		
	pH del licor residual	Alcali residual g/lit	% de sólidos totales
1	8.27	-----	6.06702
2	9.53	0.3	9.05592
3	8.00	-----	6.37788
4	9.39	0.2	13.86694
5	8.10	-----	5.58079
6	8.34	-----	10.90274
7	7.59	-----	6.23608
8	10.15	1	9.8556
9	5.83	-----	3.52431
10	10.86	2.23	10.72942
11	8.95	0.05	10.22458
12	8.36	-----	8.50725
13	9.51	0.13	7.048
14	9.66	0.28	9.81123
15	9.05	0.1	6.75528
16	9.56	0.23	7.83086
17	8.94	0.05	7.3336
18	9.23	0.1	0.66588
19	9.70	0.33	7.89049
20	9.6	0.21	7.6772

-----, Indica que no se le agregó HCl ya que el licor tenía un pH de 8 a 8.3 y no era necesario titular con HCl.

VII.5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FÍSICAS DE LAS HOJAS FORMADAS

En el siguiente cuadro, se muestran los resultados de las pruebas físicas que se realizaron para las pulpas que presentaron No de Kappa óptimo y algunas con No de Kappa alto para comparar resultados. La cantidad de pulpa que se obtuvo en cada experimento no fue suficiente para obtener una curva de batido, por lo tanto no se reporta información con respecto al comportamiento de las pulpas en la refinación.

Cuadro No.- 12 Resultados de las pruebas físicas

No. M.	Gram. (g/m ²)	Tensión (Kg/15mm)	F. Tensión (m)	Explosión (Kg/cm ²)	Indice Explos.	Resist. Rasgado (g)	Fza. Prom. rasgado	Indice de rasgado
1								
2	61.28	1.10	1173.57	0.625	10	7.8	31.2	12.73
3								
4								
5	62.45	.45	482.10	0.43	7	10.2	40.8	16.33
6								
7	62.83	.75	807.03	0.56	9	8.7	34.8	13.84
8								
9	62.93	.45	479.98	0.25	4	9.3	37.2	14.78
10								
11								
12	60.87	1.25	1333.61	0.87	14	6.7	26.8	11
13	61.86	.60	641.15	0.375	6	8.5	34	13.74
14	61.06	.95	1011.42	0.56	9	7.5	30	12.28
15	62.94	2.45	2609.54	0.94	15	10.8	43.2	17.16
16								
17								
18	63.02	1.05	1120.20	0.75	12	8.2	32.8	13.01
19	62.75	1.25	1337.12	0.81	13	7.6	30.4	12.11
20								

VIII ANALISIS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas aparecen en el cuadro No 4 , junto con las condiciones de operación empleadas en el pulpeo Organosolv para *Mangifera Indica* L.

Se puede decir, que las condiciones de operación óptimas de pulpa Organosolv para alta resistencia de acuerdo al No. de kappa, serían; 11.59% de NaOH, 115.23 minutos y 178.41°C, aunque las pulpas del punto central del diseño experimental, también presentan No. de kappa dentro del rango de pulpas de alta resistencia.

También es importante decir que, para la elaboración de papeles para escritura e impresión se requiere de pulpa de baja cantidad de lignina, baja cantidad de hemicelulosa y alta resistencia (Casey, 1990); para este uso no se obtuvieron valores cercanos (No. de kappa 20-23) en este trabajo.

Mediante este proceso y dentro de los rangos que comprenden este estudio es posible obtener pulpas con un rendimiento de 39.94 y 55.72%, No de Kappa entre 14.91 y 69.53 unidades y viscosidad entre 4.86 y 15.47 Cps.

Los coeficientes β evaluados se muestran en los cuadros No. 5, 6 y 7 respectivamente, en donde se indico el efecto de las variables; reactivo, tiempo y temperatura con relación a las respuestas; rendimiento, No de Kappa y viscosidad.

El análisis de regresión explica en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o mas variables independientes (Gutiérrez y De la Vara, 2003), los coeficientes para las ecuaciones de regresión obtenidas de las respuestas del diseño se expresan en los Cuadros No. 8, 9 y 10, los análisis de regresión de acuerdo al coeficiente de determinación múltiple R^2 (Walpole y Myers, 1992) se expresan en los cuadros anteriormente dichos, del que se tiene el 15% de la variación en Rendimiento, 64.34% de la variación en No. de Kappa y 38.41% para Viscosidad.

En cuanto al rendimiento, la temperatura es un factor determinante, esto se observa en el rendimiento mas alto en el ensayo No. 7 **55.72 %**,(temperatura 178.41°C, tiempo 115.23 min y reactivo 11.59%), comparándolo con el rendimiento del ensayo No. 3 **39.95%** (temperatura 171.59°C, tiempo 115.23 min y reactivo 11.59%).

Para el No de Kappa, el porcentaje de reactivo fue lo que mas influyó, esto se ve claramente en los puntos factoriales del diseño experimental en donde se varió dicha condición manteniendo tiempo y temperatura iguales para dos ensayos. A mayor número de Kappa nos indica mas cantidad de lignina residual presente en la fibra. En este caso se obtuvo No de Kappa bastante elevados por lo que la pulpa no es apta para un blanqueo ya que el costo de reactivos sería muy elevado.

En lo referente a la viscosidad se tiene que se obtuvieron valores entre 4.86 y 15.47 Cps, a mayor viscosidad nos indica que tenemos que la longitud de fibra es mas largo, de lo contrario a menos viscosidad la longitud de fibra es mas corta.

Shurt y Lewis citados por Casey (1990), suministraron información acerca de la relación que existe entre el grado de polimerización de la pulpa, medida por la prueba de viscosidad del cuprieten-diamina, reportando que pulpas con muy baja viscosidad (4 cps, GP aproximado de 600) se cortan y rompen fácilmente debido a su baja resistencia a la tensión y en consecuencia no hay la oportunidad suficiente para desarrollar bastante fibrilado con el cual producir un papel fuerte. Por ello, son deseables para producir papeles que requieren un grado elevado de suavidad y calibre; por ejemplo para libros.

La viscosidad óptima se obtuvo con las condiciones de operación del ensayo No. 7, (temperatura 178.41°C, tiempo 115 minutos y reactivo 11.59%) con 15.47 cps, lo cual nos indica que esta pulpa puede ser empleada en la mezcla de papeles de resistencia.

En el cuadro No. 11 se muestran los resultados del análisis del licor residual que se obtuvo después de la etapa de cocción, se observa que el porcentaje de sólidos en el licor para la temperatura de cocción del primer nivel (166.55°C) presenta una diferencia de 3

unidades con relación al nivel más alto (183.41°C), se observa que a menor carga de reactivo químico el contenido de sólidos en el licor de cocción es menor por el contrario a mayor carga de reactivo el porcentaje de sólidos es mayor, en cuanto al álcali residual en el experimento No. 10, se observa el valor mas alto 2.23, lo cual nos indica que a mayor carga de reactivo mayor es el consumo de este mismo.

Por otra parte el porcentaje de rechazos va desde un 0.078 hasta un 14.40 %, esto se debe a que se escogió al azar la madera que se iba a astillar, y esta llevaba una cantidad considerable de nudos.

Se hizo la formación de la hoja se determino gramaje, tensión, rasgado y explosión, obteniéndose valores aceptables en cada prueba. En cuanto a las pruebas físico-mecánicas se seleccionaron diez muestras de las cocciones obtenidas basándonos en el No. de Kappa y el porcentaje de rendimiento, estas se presentan en el cuadro No. 12.

En promedio:

El gramaje promedio de las hojas formadas fue de $60 \pm 3 \text{ g/m}^2$.

Para el caso de la Resistencia al Rasgado se obtuvieron valores entre 6.7 a 10.8 (g).

Índice de rasgado 11 – 17.16.

En cuanto a la Explosión los valores fueron de 0.25 a 0.94 (Kg/cm^2)

Índice de Explosión 4 – 15.

En relación a la Tensión, los valores fluctuaron de .45 a 2.45 (Kg/15mm).

De acuerdo a los valores obtenidos y al compararlos con los del Cuadro No. 4 del Anexo, se encuentran que las pulpas Organosolv presentan valores un poco arriba que los de los procesos convencionales.

La ventaja del diseño experimental aplicado en este trabajo, es la de permitir realizar una serie de combinaciones necesarias y tener una respuesta para los parámetros de evaluación; por lo que las condiciones óptimas de operación se obtendrán de acuerdo al uso que se requiera de la pulpa.

Cabe hacer mención que hubo algunas deficiencias en cuanto a el equipo con el que se realizaron las cocciones, ya que las temperaturas no se lograron mantener constantes durante el proceso por el calentamiento directo y las cocciones no fueron homogéneas como se hubiera deseado.

IX CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos en el presente trabajo, es posible establecer las siguientes conclusiones, estas demuestran la razón del presente trabajo:

1. Es posible obtener pulpas con amplio nivel de deslignificación y buenos porcentajes de rendimiento mediante la aplicación de este proceso.
2. Las condiciones óptimas de operación están en función del uso al que se destine la pulpa Organosolv, aprovechando el diseño experimental se elegirán las condiciones de operación que se deseen, pudiendo obtener una respuesta aproximada.
3. La pulpa de *Mangifera indica* L. es idónea en la fabricación de papeles de alta resistencia (liners), sobre todo para cajas de empaque. No es necesario blanquearla.
4. Se pueden obtener pulpas por medio del proceso Organosolv modificado que puedan competir en el mercado, con las pulpas obtenidas mediante el proceso Kraft, pues las propiedades físicas son muy similares.
5. El agregar metanol en la primera etapa beneficia la extracción de compuestos tánicos, sin la presencia de compuestos inorgánicos; el uso de este alcohol influyó en una rápida y homogénea impregnación.

X RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas físico-mecánicas con hojas formadas de pulpa refinada de madera de *Mangifera indica* L. obtenidas a partir de este proceso, ya que en este trabajo los ensayos efectuados fueron hechos con pulpas sin refinar.
- Tomando en cuenta que este proceso disminuye ampliamente la contaminación ambiental se puede recomendar como un proceso alternativo en la industria de la celulosa y papel.
- Realizar pulpeos de la especie *Mangifera indica* L. por otros procesos químicos, con el fin de hacer comparaciones entre los resultados que presenta cada proceso, para llegar a una conclusión final.
- Realizar secuencia de blanqueo en la especie *Mangifera indica* L.
- Hacer un análisis de los subproductos del licor residual del proceso Organosolv modificado, ya que una gran ventaja que presenta este proceso es la de aprovechar en mejor medida los carbohidratos del licor residual y convertir la lignina de alto grado de pureza, en productos de mayor valor agregado y con ello, hacer rentable este proceso en comparación con los procesos convencionales.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Ávila Zambrano, G. 1993. Obtención de pulpa celulósica a partir de *Muhlebergia robusta* con proceso Organosolv (sulfito) catalizado. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. México.
- Báez Teresa, M. I. 2006. Características anatómicas y de maquinado, de la madera de *Mangifera indica L.* (Mango Criollo). Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Biermann, J.C. 1996. Handbook of Pulping and Papermaking. Second edition. Department of Forest Products and Center for Advanced Materials Research. Oregon State University, USA.
- Box. G. E. P. and Hunter S. S. 1995. Multi- factor experimental designs for exploring response surfaces. pp. 239.
- Box. G. E. P. and Wilson K. B. 1951. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) Vol. XIII, No. 1.
- Cochran, W.G., Cox, G.M. 1990. Diseños experimentales. Editorial Trillas. Segunda Edición. pp. 661.
- Contreras Hernández E. 2002. Determinación de las condiciones óptimas de cocción de la madera de *Acrocarpus Fraxinifolius* mediante el proceso organosolv modificado (en una sola etapa). Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

- Cruz, A.J. 1993. Estudio de la pulpa y el extracto en el Licor Residual del *Phithecellobium dulce* (guamuchil) utilizando un proceso de pulpeo de dos etapas (Organosolv-Sosa). Tesis profesional. Lic. Facultad de Ciencias Químicas. U. de G. México.
- Escoto, G.T. 1989. Apuntes sobre los procesos de obtención de celulosa y la fabricación de papel. Editorial Universidad de Guadalajara. Instituto de Madera Celulosa y Papel. Jalisco, México.
- Fors, J. A. 1965. Maderas Cubanas. Tercera edición. INRA. La Habana, Cuba. pp. 163.
- Galán Saúco, V. 1999. El cultivo del mango. Ed. Mundi-prensa. México. pp. 298.
- Green, O. and Sanyer, N. 1982. Alkaline pulping in aqueous alcohols and amines. TAPPI. Vol. 65 (5).
- INEGI, 2008. [Internet]. Disponible en:
<http://mapserver.inegi.org.mx/map/visorto/viewer.htm?s=geo&c=1086>
[Consulta; Julio 29, 2008]
- Infoagro.com, 2008. [Internet]. Disponible en:
http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm
[Consulta; Julio 29, 2008]
- Jairo, H.L. and Salman, A. 1985. Organosolv Pulping a Versatile Approach to Wood Refining. TAPPI Journal.
- Janson, Jan. y Vuorisalo, Rainer. 1986. Alcohol – Hidroxide – Antraquinone – pulping. Papper och tra 9.

- Katzen, R. R., Frederickson and B. F: Brusch. 1980. The alcohol pulping. Recovery Process cep. pp. 62 – 67.
- Kleinert, T. N. 1971. Organosolv Pulping and Recovery Process US Pat. Nr. 3.585.104 (15.6.1971).
- Kleinert, T. N. and Tayenthal, Z. Angew. 1931. Chem. 44, Nr. 39. pp. 788-791,
- Lonnberg, B. Laxen, T. y Sjöholm R. 1987. Chemical Pulping of Softwood Chips by Alcohol. I. Cooking.
- López Urquiza, M. E. 1999. Optimización de las condiciones de obtención de pulpa organosolv a partir de *pinus martinezii* Larsen. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.
- Martínez, B. R. y Sanjuán D. R. 1990. Ventajas de un Proceso Organosolv AMATL No. 15 Vol. IV, No. 4. México octubre – diciembre. pp. 9-18.
- Marton, R. and Granzow S. 1982. Ethanol- alkali pulping. TAPPI Vol. 65 No. 6.
- Mason, R. L., Gunst, R. F. and Hess, J. L. 1989. Statical design and analysis of experiments with applications to engineering and science. Wiley. Canadá. p. 692.
- Medina Lamas, M. C. 1991. Estudio de los extractos en el licor residual del proceso de pulpeo organosolv utilizando *Eucalipto globulus*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.
- Meier, D. 1983. El proceso de Pulpeo Organosolv con Etanol-agua como base para la utilización Química de la madera, especialmente de lignina, Inst. de madera, celulosa y papel. No. 13. Agosto. México.

- Nava, A. S. 1993. Obtención de pulpa de *Casuarina equisetifolia* L. por el proceso Organosolv modificado. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. pp. 50.
- Niembro Rocas A. 1990. Árboles y arbustos útiles de México naturales e introducidos. Limusa. México. pp. 206.
- Ortega Escalona, F., Guerrero F., Carmona T. y Córdoba C. (s/f). Anatomía de la madera de veintiocho especies de Cosautlán de Carvajal, Veracruz. La madera y sus usos. Angiospermas arbóreas de México. Instituto sobre los Recursos Bióticos LACITEMA. Universidad Nacional Autónoma Metropolitana (Unidad Azcapotzalco). Departamento de materiales. México. pp. 206.
- Parrotta, J. A. 1993. *Mangifera indica* L. Mango. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service Southern Forest Experiment Station. U.S.A. pp. 6.
- Richter H. G and Dallwitz M. J. (2000 onwards) Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, and Spanish.
<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/spanish/anamaind.htm>
<http://www.biodiversity.uno.edu/delta/wood/Spanish/index.htm>
[Consultada: Diciembre 2007].
- Sánchez de Lorenzo Cáceres, J. M. 2003. Árboles ornamentales. [Internet]. Disponible en:
<http://www.arbolesornamentales.com/>. España

- Sanjuán, R. Grellman, K. Patt, R. 1986. Efecto del etanol en pulpeo sulfito – antraquinona con bagazo de caña. Instituto de Madera, celulosa y papel. Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.
- Sanjuán, D. R.; Vargas R. J; Patt R. 1987. Pulpeo etanol-sosa con astillas de tronco de palma de coco (*Cocos nucifera SP.*), trabajo presentado en la XVII Reunión Anual de ATCO, México.
- Sanjuán, D. R. 1988. Investigaciones en Procesos de Pulpeo con aplicación de etanol utilizando bagazo de caña. Tesis Doctorado. Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.
- Sanjuán, D. R. y Chávez, A. 1989. Pulpeo Organosolv con *Eucalipto globulus*. AMATL. México.
- Sanjuán, D. R. 1993. Guía practica para la especialidad en celulosa y papel. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.
- Sanjuán, D. R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Departamento de Madera, celulosa y papel. Universidad de Guadalajara. Jalisco, México. Primera edición. p. 293.
- Sanjuán D. R. y Martínez B. R (s/f). Estudio de un proceso Organosolv (Etanol-agua-sosa). Instituto de madera, celulosa y papel. Universidad de Guadalajara, Jalisco. México.
- TAPPI Test Methods (2000) TAPPI Press. Atlanta.
- Vargas, A. J. 1988. Evaluación de las propiedades físicas de Celulosa de Eucalipto obtenidas en el proceso kraft – etanol. AMATL. Guadalajara, México.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Casey, J.P. 1990. Pulpa y papel. Química y Tecnología Química. Editorial Limusa. Tomo II. p. 180.
- Correa Méndez, F. 2003. Determinación de las características físicas y mecánicas de la madera de *Mangifera indica L.* Mango. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Escoto García, T. 2003. Manual maestro para la evaluación de pulpas (Curva de refinación). Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.
- Gutiérrez P. H.; De la Vara S. R. 2003. Análisis y Diseño de Experimentos. McGraw-Hill. México.
- Herrera Ferreyra, M. A. 2003. Sistema de Citación Bibliográfica: Serie Docente No. 5. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. pp. 23.
- Jiménez Aguilar, F. 2004. Pulpeo Kraft en madera de *Mangifera indica L.* (mango). Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Kollman, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigaciones, experiencias y servicio de la madera. Madrid, España.
- Libby, C. E. 1982. Ciencia y Tecnología sobre la pulpa y el papel. IX Ed. Vol. I Pulpa. CECSA. México. pp. 534.

- López Urquiza, M.E. 2001. Procedimientos prácticos para la especialidad de pulpa y papel. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo editorial Iberoamérica. México. p. 589.
- Muñiz Ramírez, A. 1994. Manual De Practicas de Química de las Materias Primas IV. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. pp. 27.
- Pyzdek T; W, Berger R. 1996. Manual de Control de la Calidad en la Ingeniería 2. McGraw-Hill.
- Sanjuán Dueñas, R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Depto. de Madera Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. México. Primera edición. pp. 293.
- Sanjuán Dueñas R. 1988. Normas TAPPI para Celulosa y Papel. Guía practica para la especialidad en celulosa y papel. Tomo I. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. México. pp. 144-152.
- Snedecor, G. W., Cochran, W. G., 1975. Métodos estadísticos. Ed. CECSA. 3° impresión. pp. 703.
- Hoja de datos de seguridad del metanol, [Internet]. Disponible en:
<http://www.itson.mx/laboratorios/METANOL.pdf>
[Consulta; Julio, 2008]
- Toledo B. N y Soler R. G. 2005. Probabilidad y Estadística I para Ciencias Biológicas Usando la Computadora. Universidad Michoacana de San Nicolás de

Hidalgo. Secretaria de Difusión Cultural y Extensión Universitaria. Morelia, Mich.
México.

APENDICE

APENDICE A

DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTACIONAL DE BOX- WILSON DE SEGUNDO ORDEN (COCHRAN Y COX. 1990)

Por simplicidad, el desarrollo de este diseño experimental se planea en forma codificada para las variables de estudio.

- Igual que en otros diseños, se define el numero de variables independientes involucradas en la investigación, designándose con los términos $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ según la cantidad de ellas (a cada variable le corresponde una X determinada).
- Se definen los rangos de cada una de las variables y se designan los valores extremos del rango en la siguiente forma:

Valor Máximo del rango = M_1

Valor Mínimo del rango = M_2

- Se designa un valor " α " para cada una de las variables, el valor de alfa resulta de la expresión $\alpha = 2^{k/4}$ donde " k " es el numero total de variables, por lo tanto es una constante.
- Con cada uno de los rangos de las variables se establecen cinco niveles, es decir cada variable tendrá cinco valores distintos dentro del rango, dos de estos son los extremos y los otros tres son variables intermedios, enseguida se muestra la forma de obtener los cinco niveles:

CODIGO	VALOR DE NIVELES
$-\alpha$	M_2
-1	$M_2 + [(M_1 - M_2)] / 2\alpha$
0	$(M_1 + M_2) / 2$
+1	$M_1 - [(M_1 - M_2)] / 2\alpha$
$+\alpha$	M_1

$$\alpha = 1.682 \text{ para tres variables (k=3)}$$

El diseño experimental se divide en tres partes: una parte factorial, una axial o estrella y una con puntos centrales.

1. La parte factorial será de 2 niveles y 3 variables, generando $2^3 = 8$ combinaciones o experimentos.
2. Los puntos axiales o estrella serán seis y se añaden en el diseño para estimar más eficientemente los coeficientes del modelo matemático propuesto.
3. Los puntos centrales son 6 en forma repetida y su finalidad es estimar el error experimental.
4. La combinación general de los 20 experimentos del diseño queda establecido tomando en cuenta la tabla siguiente:

	No. de Exper.	VARIABLES			RESPUESTA
		X1	X2	X3	Y _{calc.}
PUNTOS FACTORIALES	1	-1	-1	-1	Y ₁
	2	1	-1	-1	Y ₂
	3	-1	1	-1	Y ₃
	4	1	1	-1	Y ₄
	5	-1	-1	1	Y ₅
	6	1	-1	1	Y ₆
	7	-1	1	1	Y ₇
	8	1	1	1	Y ₈
PUNTOS AXIALES	9	-α	0	0	Y ₉
	10	α	0	0	Y ₁₀
	11	0	-α	0	Y ₁₁
	12	0	α	0	Y ₁₂
	13	0	0	-α	Y ₁₃
	14	0	0	α	Y ₁₄
PUNTOS CENTRALES	15	0	0	0	Y ₁₅
	16	0	0	0	Y ₁₆
	17	0	0	0	Y ₁₇
	18	0	0	0	Y ₁₈
	19	0	0	0	Y ₁₉
	20	0	0	0	Y ₂₀

El diseño experimental con tres variables, es un polinomio del siguiente tipo:

$$Z_{\text{calc.}} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \beta_6 X_3^2 + \beta_7 X_1 X_2 + \beta_8 X_1 X_3 + \beta_9 X_2 X_3$$

Los términos “β” son los coeficientes del polinomio

los términos “X” son las variables, y

la “Z” representa la respuesta teórica.

ANALISIS DE REGRESION, Mason, *et al.* (1989)

A la conclusión de cada experimento, se registra la respuesta o resultado del mismo.

Las respuestas son denominadas respuestas reales las cuales son analizadas mediante un análisis de regresión, el cual incluye cuatro etapas:

- 1.- Selección del modelo matemático.
- 2.- Cálculo de los coeficientes del modelo.
- 3.- Pruebas estadísticas del modelo para representar la situación física.
- 4.- Evaluación del modelo para determinar el sentido de los mejoramientos u optimización.

CALCULO DE LOS COEFICIENTES DEL MODELO

El procedimiento para el calculo de los coeficientes ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$), se realiza según lo describe Cochran y Cox, (1990).

PRUEBA ESTADISTICA DEL MODELO PARA REPRESENTAR LA SITUACION FISICA

En esta etapa, se parte del modelo matemático con sus coeficientes ya calculados, pretendiendo determinar si se puede predecir o no la respuesta y hasta que punto a partir del conocimiento de las variables. Para esto, se realiza un análisis de regresión polinomial, Walpol – Myers, (1992), bajo los siguientes puntos:

El coeficiente de regresión R^2 es un parámetro auxiliar en la determinación de la falta de ajuste.

$$R^2 = \frac{Y_{\text{exp.}} - Y_{\text{calc.}}}{Y_{\text{exp.}} - Y_{\text{exp.}}}$$

Si los puntos muestra se ajustan a la curva de regresión, R^2 tendera a 1, de lo contrario tendera a cero.

APENDICE B

Se describen los procedimientos que se siguieron para cada una de las respuestas obtenidas, como son: valoración de la pulpa organosolv, pruebas físicas del papel y análisis de los licores de cocción (TAPPI 2000), los cálculos de cómo se obtuvieron así como un ejemplo de cada uno de ellos.

VALORACION DE LA PULPA ORGANOSOLV

Determinación de Rendimiento

Procedimiento:

- 1.- En la balanza granataria pesar toda la pulpa obtenida, peso **A**.
- 2.- Pesar unos 2 g de la pulpa en la balanza analítica y colocarlos en una cápsula de porcelana, peso **a**.
- 3.- Llevar esta muestra al horno de secado durante 3 horas a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Enfriar en un desecador y pesar, peso **b**.
- 4.- Determinar porcentaje de humedad. Tome este valor como representativo para toda la pulpa.
- 5.- Determinar el peso seco de toda la pulpa, valor **B**.
- 6.- Determinar el rendimiento, **R**.

Cálculos

- 1.- Calcular el porcentaje de humedad de la muestra como sigue:

$$\% H = \frac{a - b}{A} \times 100$$

- 2.- Calcular el peso seco de toda la pulpa obtenida:

$$B = (1 - \%H/100) \times A$$

3.- Calcular el rendimiento:

$R = (B/Ms) * 100$, donde:

Ms= peso seco de la astilla

Ejemplo (Muestra No. 1):

1.- Calcular % de Humedad

$$\% H = 2.0007 - 0.4752 / 2.0007 = 76.24831 \%$$

2.- Calcular el peso seco de toda la pulpa obtenida

$$B = (1 - 76.24831/100) * 392.2 = 93.154128 \text{ gr}$$

3.- Calcular Rendimiento

$$R = (93.154128/188.44) * 100 = \mathbf{49.4343}$$

Determinación de Número de Kappa

Procedimiento:

- 1.- Pesar 1 ± 0.001 g de pulpa, meterla al horno de secado hasta sequedad total a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Enfriar en desecador y pesar. Con estos datos puede calcular el porcentaje de consistencia y/o el porcentaje de humedad de la pulpa.
- 2.- Pesar aproximadamente 3 g de pulpa “húmeda” y enseguida corregir por la consistencia o humedad obtenida en el punto 1.
- 3.- Desfibrar estos 3 g de pulpa en el vaso de precipitado de 1000 ml conteniendo 400 ml de agua destilada, agitar 3 minutos.
- 4.- Agregar al mismo tiempo 50 ml de permanganato de potasio y 50 ml de ácido sulfúrico.
- 5.- Agitar constantemente por 10 minutos.
- 6.- Después de los 10 minutos adicionar 10 ml de yoduro de potasio y unas gotas de almidón.

7.-Inmediatamente titular con tiosulfato de sodio hasta el vire de azul a incoloro, registrar los ml de tiosulfato consumidos como **T**.

8.- Realice una corrida en blanco, efectuando el mismo análisis, pero sin pulpa, y anotar los ml de tiosulfato como **B**.

Cálculos:

1.- Determinar el porcentaje de consistencia:

$$\%C = g \text{ secos} * 100 \quad (\text{peso } 1)$$

2.- O bien, el porcentaje de humedad:

3.- Determinar el peso seco de los 3 g de pulpa:

$$W_s = (1 - \%H/100) * W_h$$

4.- Determinar el número de Kappa:

$$\text{No Kappa} = \frac{B - T}{\%C * 3} * 100; \text{ o bien: } \text{No Kappa} = \frac{B - T}{W_s}$$

Ejemplo (Muestra No. 1):

1.- Porcentaje de Humedad

$$\% H = 76.24831 \%$$

2.-Peso seco de los 3 g de pulpa

$$W_s = (1 - 76.24831/100) * 3.0048 = 0.7137$$

3.- No. de Kappa

$$\text{No. Kappa} = 49.7 - 10.1 / 0.7137 = 55.485136$$

Determinación de Viscosidad

Procedimiento:

- 1.- Pesar aproximadamente 5 g de la celulosa húmeda, desfibrar en 300 ml de agua, y filtre en Buchner al vacío.
- 2.- Colocar la muestra a la estufa y seque completamente a $105 \pm 3^\circ\text{C}$.
- 3.- Colocar en la pecera el viscosímetro adecuado, previamente enjuagado con acetona y perfectamente seco.
- 4.- Pesar con exactitud 0.2672 g de muestra seca y colóquelos en el frasco de plástico de 100 ml.
- 5.- Adicionar con bureta, 25 ml de agua destilada y unas perlas de vidrio, y agitar manualmente durante 1 minuto, luego adicionar 25 ml de Cuprietilendiamina y tapar el frasco.
- 6.- Colocar el frasco en el agitador magnético, ajustar la velocidad en el número 8 y el tiempo de agitación en 10 minutos.
- 7.- Encienda el agitador para disolver la celulosa.
- 8.- Quitar la tapa y dejar en reposo durante 3 minutos para eliminar el aire.
- 9.- Pipetear exactamente 7 ml de la disolución pulpa – cuprietilendiamina y adicionarlos al viscosímetro. Esperar 5 minutos para que la temperatura se estabilice.
- 10.- Succionar la solución con una perilla hacia la pierna de, medición del viscosímetro hasta arriba de la segunda marca.
- 11.- Con cronometro, determinar el eflujo en que pasa la solución desde la marca superior a la inferior. Repetir y promediar el tiempo de eflujo “en segundos”.

Cálculos:

$$V = C \times t \times D$$

Donde: V= Viscosidad de la celulosa en cps

C= Constante de calibración del viscosímetro

t= Promedio del tiempo de eflujo, en segundos

D= Densidad de la suspensión de la pulpa = 1.052

Calculo de la constante del viscosímetro

- 1.- Tener a la mano el aceite estándar de calibración con densidad y viscosidad conocida.
- 2.- Medir con pipeta 7 ml de aceite y colocarlos en el viscosímetro.
- 3.- Medir el tiempo de eflujo por duplicado, con cronometro, de la misma forma que para la pulpa.
- 4.- Calcular la constante.

$$C = \frac{V}{t D}$$

Donde: C= Constante de calibración del viscosímetro

V= Viscosidad en cps del aceite a 25°C.

t= Tiempo de eflujo del aceite.

D= Densidad del aceite a 25°C.

Ejemplo (Experimento No 1):

Calculo de la constante del viscosímetro

Para calcular la constante del viscosímetro, se uso agua destilada a 25°C ya que no se contaba con el aceite de calibración.

$$C = 0.8909 \text{ Cp} / 72 \text{ seg.} (0.997071 \text{ g/cm}^3) = 0.000124 \text{ cm}^2/\text{seg}^2$$

Calculo de la Viscosidad

$$V = (0.000124 \text{ cm}^2/\text{seg}^2) (373 \text{ seg.}) (1.052 \text{ g/cm}^3) = 0.0486571 \text{ g/cm. seg.} = \mathbf{4.8657 \text{ Cp.}}$$

1 Cp ____ 0.01 g/cm . seg.

4.8657 Cp ____ 0.0486571 g/cm . seg.

PRUEBAS FISICAS DEL PAPEL

Formación de hojas

Procedimiento:

A) Preparación de la Muestra.

- 1) A la celulosa muestreada se le determina el porcentaje de consistencia.
- 2) Sobre la base de la consistencia obtenida, calcular los gramos húmedos que se requieren para elaborar 5 hojas de 60 g/m^2 cada una.
- 3) Los gramos húmedos de pulpa calculados, se colocan en el desfibrador conteniendo 2 litros de agua destilada y desfibrar hasta completar 2777 r.p.m.
- 4) Después de que la muestra ha sido desfibrada, pasarla a una cubeta y aforar a 5 litros con agua. Homogeneizar perfectamente y tomar 1.0 lt. para formar cada hoja.
- 5) Limpiar perfectamente la base de formación del formador de hojas y adicione al cilindro un 40.0% de su capacidad de agua (aproximadamente 5 lts.).
- 6) Adicional el litro de muestra al formador de hojas, agitar perfectamente durante 6 ± 1 segundos y aplicar el vacío lentamente al formador hasta que toda el agua haya sido drenada y la hoja formada.
- 7) Después de que la hoja esta formada, colocar encima una hoja de papel secante y un disco metálico de acero inoxidable. Presionar para que la hoja se pegue en el papel secante.
- 8) Quitar la hoja del formador, colocar un disco encima de la hoja formada e identifiquela con el número de digestión que proviene.
- 9) Repetir el mismo procedimiento para cada hoja hasta completar la formación de todas las hojas.

Cálculos:

$$\text{Porcentaje de consistencia} = \frac{W_{\text{seco}} (100)}{W_{\text{húmedo}}}$$

B) PRENSADO DE LAS HOJAS

Posteriormente ya que todas las hojas han sido elaboradas, deberemos darle un prensado y secado, para esto, se utilizara la prensa automática de la siguiente manera:

- 10) Colocar primeramente en la parte inferior de la zona de prensado dos hojas de papel secante, además de una hoja de papel secante intermedia entre cada disco para aumentar el secado.
- 11) Coloque la tapa de la prensa encima de los discos ya colocados y atornille perfectamente, poniendo el botón accionador de presión en el numero 1, el cual, durara, 5 minutos con una presión de 50 lb/plg² (3.5 kg./cm²).
- 12) Al terminar el tiempo, quite la tapa y coloque al revés todos los discos; ponga de nuevo la tapa y cambie el botón accionador al numero 2 el cual durara 2 minutos a la presión de 50 lb/plg² (3.5 kg./cm²).

C) SECADO DE LAS HOJAS

- 13) Luego de que las hojas han sido prensadas, deberemos quitar las hojas de la prensa, separando únicamente el papel secante, y las hojas formadas quedaran en los discos metálicos. Estos se colocan en un portadiscos debiendo quedar bien ajustados para evitar que las hojas se arruguen con el secado.
- 14) Meter el portadiscos al secador de hojas durante 3 horas a una temperatura de 70-80°C aproximadamente.
- 15) Finalizando esto, se separan las hojas del portadiscos y se revisa que la formación haya sido homogénea. Si no es así, se elimina la hoja.

- 16) Posteriormente se pesa cada hoja en la balanza analítica debiendo tener un gramaje de 60 g/m^2 (peso seco de cada hoja 2.154g) y pudiendo estar en un rango de $\pm 5.0 \%$, es decir, de 57 a 63 g/m^2 (2.0463 a 2.2617 g). Si no cumple esta condición, se eliminara la hoja.
- 17) Después de pesadas las hojas, se colocan, en bolsas de plástico y se cierran herméticamente para mantener la humedad en la hoja y no afecte esto al hacer las pruebas fisicomecánicas.

Ejemplo (Muestra No. 2):

Porcentaje de Consistencia = 15 %

Gramaje

Procedimiento:

Se toma una hoja del secador y se dobla a la mitad. Se coloca en el interior de la balanza analítica para obtener su peso seco.

Pruebas a realizar: 1 Medición por cada hoja.

Cálculos:

Diámetro de la hoja formada: 214 mm

Radio de la hoja formada $r = 107 \text{ mm} = 0.107 \text{ m}$

Área de la hoja formada = $(\pi) (r^2)$

Área de la hoja formada = 0.0359 m^2

$$\text{GRAMAJE O PESO BASE} = \frac{\text{W Hoja de Prueba Formada}}{\text{A Hoja de Prueba Formada}}$$

Donde:

W = Peso de la muestra en g.

A = Área de la muestra en m².

Por lo tanto:

$$\text{GRAMAJE} = \frac{\text{W Hoja de prueba Formada}}{0.0359 \text{ m}^2}$$

Ejemplo (Muestra No. 2):

$$\text{Gramaje} = 2.20 \text{ g.} / .0359 \text{ m}^2 = \mathbf{61.28 \text{ g/ m}^2}$$

Tensión

Procedimiento:

- 1) El aparato debe estar en posición de cero y puesto el seguro que lo inmoviliza.
- 2) Colocar 5 tiras de papel cortadas en la guillotina para esta prueba, entre la mordaza superior y solo una de estas entre la mordaza inferior. Asegurarse que las tiras estén libres de humedad, daños cortes, dobleces o arrugas y evitar tocar con los dedos el área de prueba entre mordazas.
- 3) Quitar el seguro del péndulo y poner en funcionamiento el aparato.
- 4) Anotar la lectura en la escala que corresponda a la pesa que tiene el péndulo
- 5) Regresar el aparato a cero y proceder nuevamente igual con las otras tiras.

Nota: Desechar lecturas de probetas individuales si la tira se zafó o se rompió de las orillas de la mordaza.

Si el valor de las lecturas más altas y más bajas difiere del promedio de todas las lecturas mas de 5.0%, se harán mas pruebas hasta tener concordancia dentro de éste limite.

Pruebas a realizar = 2 mediciones por hoja

Cálculos:

Tensión = Promedio de Tensión de las hojas evaluadas.

$$\text{FACTOR DE TENSION O LONGITUD DE RUPTURA} = \frac{(r) (1000)}{(l) (f)}$$

Donde: r = Carga de ruptura, en gramos.

l = Ancho de la tira ensayada, en mm.

f = Gramaje del papel, en g/ m².

Unidades: Resistencia a la tensión: se expresa en kilogramos sobre 15 mm. de ancho de la muestra (Kg/ 15 mm.).

Factor de Tensión o Longitud de Ruptura: se expresa en metros (m.).

Ejemplo (Muestra No. 2):

Tensión = 1.10 kg / 15 mm.

Factor de tensión = (1.078 g) (1000) / (0.015 m.) (61.28 g/m²) = 1173.57 m.

Rasgado

Procedimiento:

- 1) El aparato debe estar inmóvil de manera que su base detenga el cuadrante.
- 2) Colocar en la mordaza de 1 a 16 tiras de papel a analizar previamente dimensionadas, con el extremo inferior cuidadosamente asentado en la base, considerando que se obtenga una lectura entre el 25 y 75, o sea a media escala.
- 3) Se fijan las muestras en la mordaza a la misma presión en los dos lados y se les hace un corte accionando el mango de la navaja.
- 4) La aguja debe colocarse en cero y posteriormente presionar la muelle para liberar el péndulo, cuya oscilación completa el rasgado de la muestra manteniéndolo abajo hasta que el rasgado se complete.
- 5) Detener el péndulo al retornar la oscilación sin distorsionar la posición de la aguja.
- 6) Registre las lecturas de la escala a la más próxima media división que indicó la aguja, y el número de hojas usadas en la prueba, anotando en la hoja de reporte.

Pruebas a realizar: 5 pruebas de rasgado en cinco muestras juntas donde cada muestra corresponde a una sola hoja.

Cálculos:

La lectura obtenida se multiplica por un factor que depende del número de hojas que se colocaron en la mordaza.

No. de hojas	Lectura	Multiplicada por:
1	X	16.0
2	X	8.0
3	X	4.0
5	X	3.2
8	X	2.0
16	X	1.0

RASGADO = (Lectura obtenida) (3.2)

Expresado de otra manera:

FUERZA PROMEDIO DE RASGADO = $\frac{(16) (\text{Lectura Promedio de Escala})}{\text{Numero de Hojas}}$

Donde: 16 = Factor del equipo.

INDICE DE RASGADO = $\frac{(D) (100)}{f}$

Donde:

D = Resistencia al rasgado (g)

f = Gramaje del papel (g/m^2)

Unidades: La resistencia al rasgado se expresa en gramos (g).

Ejemplo (Muestra No. 2):

Rasgado = 7.8 g.

Fuerza promedio de rasgado = $(16) (7.8 \text{ g}) / 4 = 31.2$

Índice de rasgado = $(7.8 \text{ g}) (100) / (61.28 \text{ g/m}^2) = 12.73$

Explosión

Procedimiento:

- 1) Levantar la prensa tipo leva del aparato.
- 2) Colocar y sujetar una muestra firmemente en su posición y encender el equipo.

- 3) Aplicar la presión hidrostática como se especifica, haciendo accionar la palanca del equipo hasta llegar a la ruptura de la muestra. Esto se observa mas fácilmente cuando el manómetro ya no avanza hacia adelante.
- 4) Detener inmediatamente el suministro de presión accionando la palanca hacia el lado opuesto y anotar el valor máximo registrado por el manómetro.
- 5) Levantar la prensa y checar cuidadosamente si hubo movimientos de la muestra en el marco de fijación. Si a habido resbalamiento, descartar la prueba e incrementar la presión de fijación para las subsecuentes pruebas.
- 6) Después de cada prueba regresar la aguja indicadora del manómetro lentamente a su posición original (número cero).

Pruebas a realizar: 2 mediciones por hoja.

Cálculos:

RESISTENCIA A LA EXPLOSION = Promedio de las lecturas

$$\text{INDICE DE EXPLOSION} = \frac{\text{Resistencia a la explosión (g / cm}^2\text{)}}{\text{Gramaje (g / m}^2\text{)}}$$

Unidades: La resistencia a la explosión se expresa en kilogramos sobre centímetro cuadrado (kg / cm² o también en g / cm²).

Ejemplo (Muestra No. 2):

$$\text{Resistencia a la explosión} = 0.625 \text{ kg / cm}^2$$

$$\text{Índice de explosión} = 625 \text{ g/cm}^2 / 0.006128 \text{ g/cm}^2 = 10$$

Determinación de pH

Reactivos:

- Acido clorhídrico 0.322 N.

Procedimiento:

- 1.- Medir 250 ml de agua destilada y llevarlos al vaso de precipitado.
- 2.- Añadir 10 ml de L.N.D. (Licor Negro Diluido)
- 3.- Manejar con cuidado el potenciómetro.
- 4.- Repetir este ultimo experimento tres veces

La respuesta nos la da directamente el potenciómetro, ya que el resultado aparece en la pantalla del potenciómetro.

Esta determinación se determino en un potenciómetro digital (pH Meters HORIBA, Ltd. M Series, M-12).

Ejemplo (Experimento No. 1):

pH = 8.27

pH = 8.28

pH = 8.26

pH = 8.27

Determinación de álcali residual

Procedimiento:

- 1.- Medir 250 ml de agua destilada y llevarlos al vaso de precipitado.
- 2.- Añadir 10 ml de L.N.D. (Licor Negro Diluido)

3.- Agitar y titular con ácido hasta pH = 8.3

Manejar con cuidado el potenciómetro, repetir este ultimo experimento 3 veces.

Cálculos:

A. Residual= mls de HCl consumidos

Análisis	mls HCl

A. Residual =

Ejemplo (Experimento No. 1):

Análisis	mls HCl	pH
1	0	8.24
2	0	8.30
3	0	8.30
promedio	0	8.28

Álcali Residual = **0 mls de HCl**

Nota: No se agrego HCl, ya que no era necesario porque el pH tenía que ser de 8.3.

Determinación de porcentaje de sólidos totales

Procedimiento:

- 1.- Pese la cápsula de porcelana, con arena de río previamente lavada y calcinada. Se registra el peso como lectura **A**.
- 2.- Agregar gota a gota, una muestra de aproximadamente 0.5 g de licor e inmediatamente pesar, lectura **B**.
- 3.- Secar la muestra en un horno de secado a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas.
- 4.- Enfriar la cápsula y su contenido en un desecador y pesar, lectura **C**.

Cálculos:

$$\% \text{ de Sólidos Totales} = \frac{C - A}{B - A} \times 100$$

Ejemplo (Experimento No. 1):

$$\text{Porcentaje de Sólidos Totales} = \frac{50.9913 - 50.9598}{51.4790 - 50.9598} \times 100 = \mathbf{6.06702 \%}$$

APENDICE C

A continuación se presenta los pasos a seguir para determinar el análisis de regresión múltiple utilizando el Software STATISTICA versión 7 para Windows.

- Entrar al programa Statistica.
- Poner los valores correspondientes en los cuadros.

- | | NaOH
Var1 | Tiemp.
Var2 | Temp.
Var3 | Var4 | Var5 | Var6 | Rend.
Var7 |
|----|--------------|----------------|---------------|-------|-------|-------|---------------|
| 1 | 11.59 | 94.77 | 171.59 | -1 | -1 | -1 | 49.4343 |
| 2 | 18.41 | 94.77 | 171.59 | 1 | -1 | -1 | 51.0339 |
| 3 | 11.59 | 115.23 | 171.59 | -1 | 1 | -1 | 39.9477 |
| 4 | 18.41 | 115.23 | 171.59 | 1 | 1 | -1 | 53.4504 |
| 5 | 11.59 | 94.77 | 178.41 | -1 | -1 | 1 | 51.6322 |
| 6 | 18.41 | 94.77 | 178.41 | 1 | -1 | 1 | 46.2675 |
| 7 | 11.59 | 115.23 | 178.41 | -1 | 1 | 1 | 55.7252 |
| 8 | 18.41 | 115.23 | 178.41 | 1 | 1 | 1 | 44.1097 |
| 9 | 6.59 | 105 | 175 | -1.68 | 0 | 0 | 49.6189 |
| 10 | 23.41 | 105 | 175 | 1.68 | 0 | 0 | 48.476 |
| 11 | 15 | 79.8 | 175 | 0 | -1.68 | 0 | 44.6925 |
| 12 | 15 | 130.23 | 175 | 0 | 1.68 | 0 | 53.492 |
| 13 | 15 | 105 | 166.55 | 0 | 0 | -1.68 | 48.7304 |
| 14 | 15 | 105 | 183.41 | 0 | 0 | 1.68 | 51.3356 |
| 15 | 15 | 105 | 175 | 0 | 0 | 0 | 51.8596 |
| 16 | 15 | 105 | 175 | 0 | 0 | 0 | 51.1439 |
| 17 | 15 | 105 | 175 | 0 | 0 | 0 | 48.5153 |
| 18 | 15 | 105 | 175 | 0 | 0 | 0 | 50.7712 |
| 19 | 15 | 105 | 175 | 0 | 0 | 0 | 46.7771 |
| 20 | 15 | 105 | 175 | 0 | 0 | 0 | 50.9636 |

- Statistics
- Multiple regresión ☐ ok
- Seleccionar variable dependiente (Var 7) y variable independiente (1, 3). ☐ ok
- Nos aparece (Cuadro)
- Summary: Regression results y obtenemos los siguientes cuadros:

Regression Summary for Dependent Variable: Var7 (Rendimiento) R= .15729573 R²= .02474195 Adjusted R²= ----- F(2,17)=.21564 p<.80819 Std.Error of estimate: 3.8345						
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(17)	p-level
Intercept			24.28227	43.92747	0.552781	0.587609
Var1	-0.065331	0.239516	-0.06830	0.25041	-0.272760	0.788323
Var3	0.143087	0.239516	0.14938	0.25005	0.597399	0.558115

Regression Summary for Dependent Variable: Var7 (No. kappa) R= .80214566 R²= .64343766 Adjusted R²= .60148915 F(2,17)=15.339 p<.00016 Std.Error of estimate: 8.7413						
N= 20	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(17)	p-level
Intercept			82.05277	100.1397	0.81938	0.423907
Var1	-0.801620	0.144825	-3.15970	0.5708	-5.53510	0.000036
Var3	0.029024	0.144825	0.11424	0.5700	0.20041	0.843542

Regression Summary for Dependent Variable: Var7 (Viscosidad) R= .38415508 R²= .14757513 Adjusted R²= .04728985 F(2,17)=1.4716 p<.25738 Std.Error of estimate: 2.7642N=20						
N= 20	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(17)	p-level
Intercept			-41.8999	31.66627	-1.32317	0.203301
Var1	0.144950	0.223926	0.1168	0.18051	0.64731	0.526076
Var3	0.355759	0.223926	0.2864	0.18025	1.58874	0.130543

ANEXO

1.- Hoja de datos de seguridad del Metanol

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS METANOL

FECHA DE ELABORACIÓN 06-mar-97	FECHA DE REVISIÓN 10-feb-98	NOMBRE DE LA EMPRESA Productos Químicos Monterrey, S.A. de C.V.
--	---------------------------------------	---

SECCIÓN I.- DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA**1.- NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR: 2.- EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE A:**

Productos Químicos Monterrey, S.A. de C.V.

OFICINAS: TELS: (8) 345-5113, 01-800-021-0900

FAX: (8)342-3606

PLANTA: TELS: (8) 336-1623, 336-3707, 336-2988

FAX: (8)336-1979

3.- DOMICILIO COMPLETO:

CALLE Mirador	No. EXT. # 201	COLONIA El Mirador	C.P. 64070
DELG / MUNICIPIO Monterrey	LOCALIDAD O POBLACIÓN Monterrey	ENTIDAD FEDERATIVA Nuevo León	

SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA**1.- NOMBRE COMERCIAL**

Metanol

2.- NOMBRE QUÍMICO

Alcohol metílico

3.- PESO MOLECULAR

32,04

4.- FAMILIA QUÍMICA

Alcoholes

5.- SINÓNIMOS

Carbinol, Alcohol Metílico.

6.- OTROS DATOS

Formula: CH3OH

SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS

1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES Metanol	2.- N° CAS 67-56-1	3.- N° UN 1230	4.- CANCERÍGENOS O TERATOGENICOS No es cancerígena
---	------------------------------	--------------------------	--

5.- LIMITE PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN

Referencia NOM-010-STPS-1994

200 ppm CPT 8Hrs de exposición

250 ppm CCT Exposición Corto tiempo

6.- IPVS ppm

LD50:5628 mg/m3

Oral Rata

7.- GRADO DE RIESGO:**7.1.- SALUD**

Moderado

7.2.- INFLAMABILIDAD

Severa

7.3.- REACTIVIDAD

Ligera

SECCIÓN IV PROPIEDADES FÍSICAS**1.- TEMPERATURA DE FUSIÓN, °C:**

-98°C

2.- TEMPERATURA DE EBULLICIÓN, °C:

65°C

3.- PRESIÓN DE VAPOR, mmHg A 20°C:

97.68 mmHg a 20°C, 41mmHg a 50°C

4.- DENSIDAD RELATIVA:

0.791 g/ml

5.- DENSIDAD DE VAPOR (AIRE=1):

1,11

6.- SOLUBILIDAD EN AGUA, g/ml:

Soluble

7.- REACTIVIDAD EN AGUA:

Ninguna

8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLO:

Líquido, Claro Incoloro, Olor al alcohol etílico

9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN (BUTIL ACETATO=1): 10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN:

4,6

11°C

11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C): 12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD, %:

470°C

100%

13.- LÍMITES DE INFLAMABILIDAD (%): en volumen

INFERIOR: 6,00%

SUPERIOR: 36,50%

INFORMACION ADICIONAL: Aplicación y Uso: Solvente, Diluyente, Químico para alimentos enlatados, o Plastificante

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN

1.- MEDIO DE EXTINCIÓN: Es altamente inflamable.

NIEBLA DE AGUA ☒ **ESPUMA** ☒ **HALON:** ☒ **CO2** ☒ **POLVO QUÍMICO SECO** ☒
 resistente al alcohol Usar en fuegos pequeños Usar en fuegos pequeños

2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO:

Mascarilla con suministro de oxígeno y ropa protectora para prevenir contacto con la piel y ojos.

3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO:

No combatir con chorro de agua directamente, no introducir agua a los contenedores.

4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES:

El vapor puede recorrer grandes distancias hacia una fuentes de ignición encenderse y regresar al material.

Se liberan vapores que forman mezclas inflamables.

5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN:

Monóxidos y Bióxidos de carbono.

SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD

1.- SUSTANCIA

2.- CONDICIONES A EVITAR

ESTABLE Si ☒ **INESTABLE** ☒

Presiones elevadas, Altas Temperaturas, Oxidantes Fuertes

3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR):

Ácidos inorgánicos, Aldehídos, Óxidos de Alqueno, Halógenos, Ácidos Anhídridos, Monómeros, Esteres Polimerizables, Agentes Oxidantes Fuertes.

4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS:

Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.

5.- POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:

6.- CONDICIONES A EVITAR:

PUEDE OCURRIR ☒ **NO PUEDE OCURRIR** ☒

No se dispone de información

SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD

VÍAS DE ENTRADA

SÍNTOMAS DEL LESIONADO

PRIMEROS

AUXILIOS

1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL

Moderadamente Tóxico. Menos de 15 ml de alcohol metílico al 40% puede ocasionar la muerte. Dosis pequeñas pueden ocasionar efectos en sistema nervioso central puede provocar ceguera.

De a beber inmediatamente agua, y enjuague la boca con agua, **Induzca al vomito si la víctima esta consciente.**

Solicitar atención medica de inmediato.

2.- CONTACTO CON LOS OJOS

El vapor causa irritación a los ojos sin embargo no lesionara el tejido de los ojos. Puede causar dolor y sensibilidad a la luz solar.

Lavar suavemente con agua corriente durante 15 minutos abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.

3.- CONTACTO CON LA PIEL

Moderadamente Tóxico. Entrara al cuerpo a través de la piel y producirá uno o mas efectos tóxicos en el cuerpo. El contacto frecuente o prolongado puede irritar la piel y ocasionar salpullido.

Lavar con agua corriente durante 15 min. al mismo tiempo quitarse la ropa contaminada y calzado. Solicite atención medica

4.- ABSORCIÓN

El alcohol metílico se puede absorber a través de la piel y ocasionar efectos en el sistema nervioso central los cuales pueden dar como resultado cambios visuales permanentes incluyendo ceguera.

Consulte a su medico de inmediato.

5.- INHALACIÓN

Las concentraciones altas de vapor son irritantes para los ojos, nariz, garganta y pulmones; puede ocasionar migraña y mareo puede ser anestésico y puede ocasionar efectos en sist. nervioso central, como cambios visuales incluyendo ceguera.

Traslade a un lugar con ventilación adecuada. Si respira con dificultad suministrar oxígeno Solicite atención medica.

6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA:

STPS (INST. No.10) SI _____ NO ☒ OTROS _____ SI _____ NO _____ ESPECIFICAR

SECCIÓN VIII.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES:

ELIMINAR todas las fuentes de ignición. No tocar el material derramado.
Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo. Utilizar agua en forma de rocío para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES.
Contener para evitar la introducción a las vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.
Solicitar asistencia para su disposición.

SECCIÓN IX.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:

1.- ESPECIFICAR TIPO:

Utilizar Guantes de Neopreno, Botas de Hule y Pechera de Vinilo.
Mascarillas con cartuchos para polvos y vapores orgánicos o bien utilizar 'Equipo de respiración autónomo.

2.- PRACTICAS DE HIGIENE:

Después de estar en contacto con este producto lavar con agua y jabón todo su equipo de seguridad.
Bañarse y lavar su uniforme para evitar que este contaminada con residuos del producto.

SECCIÓN X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN (De acuerdo con la reglamentación del transporte):

Material clasificado como: Líquido Inflamable (3.2)

Pictogramas:

UN:1230

Grupo empaque: II

NFPA: Salud (1), Inflamabilidad (3), reactividad (0), Indic. Especial (ninguna)

Referencia (NOM-002-SCT2-1994)



SECCIÓN XI.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA (De acuerdo con las reglamentaciones ecológicas)

El Metanol se caracteriza por su Mediana toxicidad crónica y aguda.

Productos de Biodegradación: Óxidos y monóxidos de carbono (CO y CO₂)

SECCIÓN XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES

1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO:

Se debe de almacenar y/o transportar por compatibilidad.
Debe estar debidamente etiquetado, la cual debe contener nombre del material, identificación de transporte(DOT) y color de almacenaje, junto con indicaciones de primeros auxilios.

2.- OTRAS:

Residuos del producto pueden permanecer en el recipiente "vacío". Para el manejo de los recipientes vacíos y residuos se deben de tomar las mismas precauciones que en el manejo del producto.
Limpiar y lavar antes de volver a usar o alterar el contenido de un envase pegándole etiqueta de envase lavado.

Cuadro No. 2

Propiedades de pulpa Organosolv (Metanol) (Jairo, 1985)

Esp. de Madera	Temp. de cocción °C	Tiempo de cocción (min)	Rendimiento (%)	No de kappa	Viscosidad (Cp)
Alamo	190	35	62	19	50
	220	55	60	15	36
		15	59	8	50
Eucalipto	200	25	67	83	45
		30	60	44	33
		45	54	35	28
Abeto negro	200	50	60	55	47
	210	20	63	60	52
	220	30	56	44	51
		13	76	83	45
		15	69	61	43
		20	65	53	43
		30	58	40	34
		50	53	25	29
Pino douglas	210	20	72	78	65
		30	63	60	55
		35	58	47	45
		40	56	38	35
		50	52	27	29

Cuadro No. 3

Resultados de algunas especies de madera usando procesos catalizados (Paszner, 1989)

Especies	Rendimiento (%)	No. de Kappa	Blancura (%)	Viscosidad (%)	Long.de Ruptura (m)	Factor de Explosión	Factor de ruptura
Alamo	62	19	57	55	11000	60	71
Eucalipto grandis	67	83	60	45	10500	91	67
Eucalipto saligna	65	84	57	37	9300	74	64
Bagazo de caña	58	12	55	35	9000	66	50
Abedul	66	25	62	39	11300	82	68
Pinus oocarpa	62	51	57	35	10800	96	73
Abeto	64	45	56	38	12000	100	78
Pino Douglas	63	53	55	45	12400	122	91
Abeto de Canadá	59	30	54	28	15500	113	87

Cuadro No. 4

Comparación de pulpas obtenidas por diferentes procesos (ESCOTO, 1989).

Tipo de proceso	% de Rendimiento	No. de Kappa	% de blancura	Índice de Explosión	Índice de Rasgado	Largo de ruptura mm
Kraft		47.2	28.9	10.9	9.22	14200
Sulfito alcalino pH 8	43.9	43.6	37.9	10.9	9.62	14300
Sulfito alcalino pH 9.5	45.5	35.8	33.0	9.31	11.0	13200