

# Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

OPTIMIZACION DE PULPA PARA PAPEL A PARTIR DE LA  
FIBRA DEL AGAVE TEQUILANA POR EL METODO  
PEROXI-ALCALINO.

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

ALVARO NAVARRO BRAVO

Asesor: I.Q. Tito Enrique Herrera Larrasilla

GUADALAJARA, JALISCO. 1987



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C O N T E N I D O

	PAGINA
INTRODUCCION.....	1
- JUSTIFICACION DEL TEMA.....	2
- OBJETIVO.....	5
CAPITULO I	
"METODOS DE OBTENCION DE PULPA PARA PAPEL".....	7
- VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	17
CAPITULO II	
"ANTECEDENTES SOBRE AGAVE TEQUILANA"	
2.1 DESCRIPCION BOTANICA.....	20
2.2 USOS.....	21
2.3 TRABAJOS PREVIOS.....	24
CAPITULO III	
"PARTE EXPERIMENTAL"	
3.1 DESARROLLO DEL PROCESO PEROXI-ALCALINO..	26
3.2 SELECCION DE LA VARIABLE RESPUESTA.....	28
3.3 DETERMINACION DE RENDIMIENTO.....	28
3.4 DETERMINACION DEL NUMERO DE KAPPA.....	29
3.5 PRUEBAS PRELIMINARES.....	29

## CAPITULO IV

"RESULTADOS E INTERPRETACIONES".....	31
RESUMEN.....	37
DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....	39
APENDICE.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	50

## INTRODUCCION

## I N T R O D U C C I O N

Cuando realizamos un proceso en la industria, con el único propósito de obtener un producto, resulta por lo general ineficiente y sólo a base de una labor intensa de análisis y pruebas se logra llegar a condiciones en las que se obtienen: tanto calidad, como rendimiento aceptable, y sin la seguridad de haber llegado a condiciones óptimas.

En el año de 1957 G.E.P. Boc PH.D. publicó en la revista *Applied Statistics*, Vol. VI, # 2, un trabajo bajo el título "Evolutionary Operation: Un método para incrementar la productividad industrial" en el cual propone -- hacer cambios programados en las variables que controlan un proceso y a través de un análisis estadístico de los resultados obtenidos, reprogramar las condiciones de operación de dichas variables, orientando al proceso hacia valores más eficientes de una variable respuesta que intentan optimizarse.

En la presente investigación se aplicará este método en una versión simplificada, conocida como: Simplex---EVOP. Persigue este método el mismo objetivo que el E.V.O.P. original, siendo su aplicación mucho menos sofis-

ticada y por lo tanto más adaptable a nuestra realidad industrial.

- JUSTIFICACION:

El papel ha adquirido una importancia tal en la vida moderna, que no se concibe actividad humana sin su --- uso. No es posible imaginar una escuela, un hospital, un restaurante o cualquier forma de recreación donde no se - utilicen derivados celulósicos.

Hasta tal punto ha llegado la importancia de este producto, que su consumo per cápita es uno de los más fieles indicadores del desarrollo económico y social.

El aumento del consumo ha traído una presión sobre las fuentes de materia prima. La desaparición de zonas - forestales en el mundo a razón de 150,000 Km<sup>2</sup> por año, ha levantado un clamor por la defensa de áreas de reserva -- que ha limitado la oferta de materia prima maderera y ha -- conducido a la producción de pulpas no madereras prove -- nientes de pajas, bagazos, kenaf, bambú, etc.

Por medio de varios procesos de obtención de pul-- pas celulósicas, la madera y otras plantas fibrosas se -- convierten en fibras para la fabricación de papel. Depende

diendo de la maquinaria y acción utilizadas, se puede decir que los materiales vegetales se muelen, cuecen, digieren, desfibran, deslignifican, o se refinan para convertirse en pulpas celulósicas.

En la fabricación de pulpa se emplean varias operaciones unitarias tales como absorción de gas, evaporación, extracción y filtración, que son comunes no solamente a la de los procesos de obtención de pulpa sino también a muchos procesos industriales.

El color de la pulpa es un atributo físico de gran importancia comercial. La facilidad y economía con las cuales se puede alterar (durante el blanqueo), dependen, en gran parte, del tipo y grado de acción química suministrada en la obtención de la pulpa. La celulosa, en sí, es blanca; pero las pulpas comerciales sin blanquear, las cuales, en su mayor parte están constituidas por celulosa, son de color oscuro.

Bajo las condiciones iniciales de utilización limitada de especies, las pulpas se clasificaban simplemente en mecánica, al sulfito, a la sosa y kraft (al sulfato). Las mismas identificaciones han persistido a través de años, de muchos adelantos y cambios en la industria, aunque sus significados son mucho menos adecuados; diversas pulpas kraft se están produciendo extensamente a partir-



de pino, maderas duras, bambú, bagazo y muchas otras especies vegetales. A partir de una especie dada, se pueden producir diferentes tipos de pulpas de maderas duras usando variaciones de un sistema químico snecillo, tal como el del sulfito-bisulfito.

En el campo de la obtención de pulpas, a menudo se hace referencia a la calidad de la pulpa, la que generalmente se fija por medio de la resistencia y del color. Sin embargo las crecientes variedades de productos de papel y cartoncillo cumplen muchas funciones que no pueden ser satisfechas solamente a base de resistencia y de color. En consecuencia, cada vez se está dedicando más estudio a las propiedades fundamentales de las pulpas y a los medios de evaluarlas.

La presión sobre el control de la contaminación se ha hecho muy fuerte, no sólo en los países de mayor desarrollo relativo, sino que ha comenzado a tener vigencia en aquellos de menor desarrollo también. Esto ha conducido a la implantación de normas y regulaciones que obligan a incrementar inversiones en las instalaciones para control de los efluentes o a la introducción de procesos menos contaminantes.

El método a utilizar "peroxi-alcalino", que por sus características de acuerdo al trabajo de investiga--

ción desarrollado por el Dr. AKIO MITA en el National - Chemical Laboratory for Industry of Japan, sobre obtención de pulpas no madereras, es menos contaminante que los actualmente empleados en la industria del papel y - además promete ser más económico debido a la recuperación de reactivos, fácil manejo de la fibra (ahorro de energía y maquinaria). Cabe hacer notar, que en esta - investigación se emplea una presión baja en comparación con las presiones empleadas por el Dr. Akio Mita en su investigación y que el tipo de fibra es distinta.

Por otra parte, se escogió la planta de agave -- tequilana debido a que se cultiva en México y en buena cantidad en Jalisco, además de acuerdo a estudios hechos sobre la estructura morfológica y su composición química, en cuanto al material fibroso; estudios que se realizaron en Japón en el Reserarch Institute for polymers and textiles in 1980, se vio la posibilidad de utilizarla para la obtención de pulpas para papel.

- OBJETIVO:

Darle un mayor aprovechamiento a la fibra de la - cabeza del agave tequilana y a la vez, contribuir a la - conservación de bosques mediante la disminución de la tala indiscriminada de árboles para la fabricación de pul-

pas para papel. Otro objetivo es la contribución a la -  
no contaminación ambiental y el de lograr una economía -  
para la industria actual.

## C A P I T U L O   I

### METODOS DE OBTENCION DE PULPA PARA PAPEL

## METODOS DE OBTENCION DE PULPA PARA PAPEL

Existen dos procesos principalmente para la obtención de pulpa para papel: el proceso mecánico y el proceso químico, éste último comprende varios procesos; a continuación haremos mención de ellos.

### Pulpa Mecánica:

En el proceso de pulpa mecánica, no interviene ningún tratamiento químico de ésta. Este proceso utiliza -- prácticamente toda la fibra de la madera que existe en el tronco, en la que se incluye tanto a la celulosa como a la lignina, mientras que los diferentes procesos químicos disuelven la lignina en distinto grado, de modo que el rendimiento de las pulpas químicas es aproximadamente la mitad del de pulpa mecánica.

Las principales maderas son: a beto y pino balsámico, que son especies de coníferas de madera blanda. Tienen la ventaja de que pueden llegar a la fábrica flotando sobre los ríos.

El primer paso una vez que los troncos han llegado a la fábrica es limpiarlos y descortezarlos, el tamaño de

pende del molino empleado para la molturación, efectuando se ésta en agua para eliminar el calor de fricción alcanzado con la piedra del molino y mantener una temperatura adecuada, la molturación (molienda) se lleva a cabo en ángulo agudo a la longitud de los troncos, con objeto de tener fibras más largas por desgarramiento y mejor que cortando en ángulo recto. Hay diversos tipos de molinos empleados en la molturación. A continuación, la mezcla de agua y pulpa procedente de los molinos se vierte en un foso situado debajo de los mismos y pasa a los depuradores gruesos o de astillas en donde se separan pedazos de madera relativamente grandes y astillas. Luego, la suspensión diluida se bombea a los depuradores finos, y la pulpa --- aceptada, a los espesadores en donde, respectivamente, se prepara para su uso en la fabricación de papel o para su empaque en forma de hojas o paquetes húmedos.

#### Pulpa Química:

Para fabricar pulpas altamente purificadas y de --- gran blancura es necesario extraer toda la lignina con un mínimo de pérdidas o degradación de carbohidratos de las paredes celulares. Esto se lleva a cabo en dos etapas: - consiste en preparar la pulpa liberando las fibras individuales para después blanquearlas al grado deseado. Pulpa sin blanquear se utiliza para bolsas, papel de envoltura,

y cajas corrugadas, es de color amarillo o marrón oscuro.

La lignina está formada por unidades de fenilpropano unidas entre sí mediante diversos enlaces tipo éter y carbono-carbono.

El objetivo de las pulpas químicas consiste en solubilizar y separar la lignina de la madera dejando fibras industriales constituidas por carbohidratos esencialmente puros.

Los procesos actualmente empleados en la obtención de pulpas para papel son tres:

- A la sosa.
- Al sulfato.
- Al sulfito.

Los procesos a la sosa y al sulfato los describiremos juntos, teniendo en cuenta que actualmente sólo existen unas cuantas fábricas de pulpa a la sosa; básicamente, todas las fábricas que comenzaron produciendo pulpa a la sosa, se han convertido en fábricas de pulpa al sulfato. Esto porque en el proceso de fabricación de pulpa a la sosa, se usa un licor de cocción que consiste principalmente en sosa cáustica, mientras que el proceso al sulfato difiere del de la sosa porque en su licor de cocción uti

liza sulfato de sodio junto con hidróxido de sodio. A la presencia de sulfuro se debe la mayor parte de la resistencia de la pulpa y la cocción más rápida del proceso al sulfato, en comparación con la pulpa a la sosa.

A causa de esto, prácticamente todas las fábricas a la sosa han incorporado el empleo de cuando menos una pequeña cantidad de sulfuro en su licor de cocción, así que, a la fecha, no hay diferencias esenciales entre los procesos a la sosa y al sulfato.

#### Proceso al Sulfato:

Una vez que los troncos de madera han llegado a la fábrica, éstos se descortezan en los descortezadores y se convierten en astillas por medio de varias cuchillas.

Estas astillas se lavan, por medio de transportadores, desde los silos de almacenamiento hasta los digestores, a los cuales se alimenta la cantidad máxima de ellas, por la parte superior del digestor. Al mismo tiempo se agrega licor de cocción. La relación de astillas y licor se controla cuidadosamente, así como la concentración de licor, el contenido de humedad y otras variables.

Las astillas de madera se cuecen, durante el tiempo prescrito, bajo las condiciones apropiadas de presión y -



temperatura. El tiempo usual de cocción es de unas 2 a 4 hr., a una presión aproximada de 100 a 110 Lb/plg<sup>2</sup> (7.0 a 7.7Kg/cm<sup>2</sup>). Al cocerse la madera, destilan el aguarrás - y otros constituyentes volátiles, los cuales se condensan para venderse como subproductos.

Al final de la cocción, la pulpa y el licor se "soplan" dentro del tanque de descarga. El vapor a presión - en el digestor es el propulsor de esta descarga, y hace - que el digestor quede limpio, listo para otra cocción. El vapor de la descarga se utiliza en calentar agua para uso de la fábrica.

En el tanque de descarga quedan la pulpa y el licor negro que contienen los reactivos de cocción gastados, -- así como la lignina y otros sólidos extraídos de la madera. La pulpa y el licor negro se diluyen con licor negro diluido y se *bombean*, pasando por los separadores de nudos, a los lavadores de pulpa sucia, en donde el licor, - que contiene el residuo soluble de la cocción, se separa - de la pulpa por lavado.

La pulpa lavada se depura entonces y se envía a la planta de blanqueo o a la fábrica de papel. Parte del li cor negro de los lavadores se usa como diluyente para el licor de cocción y para la suspensión de pulpa sucia. El resto se manda a la unidad de recuperación de la fábrica-

de pulpa, en donde se regeneran los productos químicos -- usados en la digestión.

#### Proceso al Sulfito:

La lignina reacciona con el ión bisulfito en condiciones ácidas formando lignosulfatos solubles en agua. Se obtienen pulpas de color claro que se blanquean con facilidad. Para efectuar la eliminación de la lignina, es necesario que el reactivo llegue a los sitios de reacción.

Al principio se usaba álcali principal, pero como no se cuenta con un sistema de recuperación, la mayoría de los procesos a base de calcio, han suspendido sus operaciones o han cambiado a sodio magnesio o amoníaco, para los cuales sí existen sistemas de recuperación.

Elaboración: una vez descortezada y astillada la madera, ésta es colocada en un digestor que, por lo general, está hecho de acero dulce y revestido con mosaicos de cerámica resistentes a la corrosión, después de cerrar el digestor, se bombea dentro de él la solución deslignificadora o ácido de cocción. Se estima por lo general, que se agregan unos 2.250 Kg. de licor por cada 0.5 Kg. de madera seca a la estufa.

En el sistema ácido en caliente (el más usado), ya-

que hay ácido en frío, el licor se agrega a una temperatura de unos 80°C y 60 Lb/plg<sup>2</sup> (4.2 Kg/cm<sup>2</sup>) de presión manométrica. Este sistema de ácido en caliente tiene la ventaja de que con su empleo se pueden ahorrar unas 2 hr de tiempo de cocción y unos 910 kg. de vapor por tonelada de pulpa. El sistema ácido caliente permite proporcionar un ácido de cocción que contiene bióxido de azufre a una mayor concentración que el sistema ácido en frío y esta mayor concentración, aunada a la ventaja de una temperatura más alta, reduce al tiempo requerido para que el licor penetre en las astillas y para que el digestor llegue a la temperatura de cocción, lo cual, a su vez, disminuye el tiempo de cocción y aumenta la productividad.

En muchas instalaciones modernas, se practica dentro del digestor la circulación forzada del licor, extrayendo continuamente por el fondo del recipiente parte de la solución y regresándolo a la parte superior o viceversa. En estas condiciones, el calentamiento indirecto del licor se lleva a cabo fácilmente pasando el licor en movimiento, a través de un cambiador de calor e introduciendo el calor suministrado indirectamente por la condensación del vapor. Por medio de este procedimiento se mantienen condiciones más uniformes de temperaturas y concentración de reactivos en todo el gran volumen de astillas en el digestor con el resultado de que se puede producir una pul-

pa relativamente uniforme.

Del digestor se debe extraer algo del líquido, como alivio lateral, para bajar el nivel del líquido y permitir el alivio de gas del digestor sin obstruir las coladeras de la parte superior, que sirven para evitar el arrastre de asillas o pulpa fuera del digestor.

En el sistema empleado para la introducción de calor, la temperatura media del digestor se controla cuidadosamente con un control automático. Después viene la descarga del digestor a un tanque grande. Cerca del fondo del digestor, suelen encontrarse unas espreas de limpieza que permiten la introducción de agua o licor gastado, con objeto de lograr una descarga limpia.

Finalmente la corriente de astillas y licor que salen del digestor hacia el tanque de descarga, se dirigen por lo general, contra un blanco constituido por una placa de acero inoxidable, y el impacto de las astillas suaves contra este blanco, rompe la estructura de la astilla, que se reduce principalmente a fibras individuales de pulpa que entonces se juntan en el fondo del tanque de descarga.

El líquido sulfítico gastado, se drena por el fondo del tanque de descarga y puede descargarse al drenaje o -

juntarse para su proceso de recuperación.

La pulpa acuosa que queda en el fondo del tanque de descarga, se lava entonces con agua hasta que esté casi libre de licor gastado. Luego se suspende la pulpa en agua y se pasa por separadores de nudos, depuradores planos, y areneros o limpiadores centrífugos, para finalmente obtener la pulpa deseada.

#### Otros tipos de Pulpas:

Se pueden usar varias combinaciones de tratamientos químicos y mecánicos para producir pulpas con propiedades específicas.

Los procesos semiquímicos y quimimecánicos de obtención de pulpa, se pueden situar entre los métodos clásicos de fabricación de pulpa mecánica y de pulpa química, los cuales emplean, fundamentalmente, ya sea energía mecánica o química, (más calor), respectivamente, para la separa -- ción de las fibras. Estos procedimientos intermedios, en términos generales, se definen como procesos en dos eta -- pas, que implican (1) un tratamiento químico moderado de la materia prima fibrosa para separar, parcialmente o, en cierto modo, degradar o afectar las uniones entre fibras, seguido por (2) un tratamiento mecánico, denominado desfi -- bración, que produce la separación de las fibras en una -- pulgada apta para la fabricación de papel. Durante la eta

pa química también puede haber cierto grado de desfibra--  
ción.

Por existir una separación parcial o alteración de -  
los materiales que causan la unión entre fibras, estos pro-  
cesos en dos etapas producen rendimientos de pulpa que tam-  
bién se encuentran comprendidos entre los de la pulpa mecá-  
nica y los de las pulpas completamente químicas, o sea, --  
en términos aproximados, entre 55 y 95%.

De acuerdo a las prácticas realizadas últimamente, -  
los procesos quimimecánicos difieren de los semiquímicos -  
en que en los quimimecánicos no se producen cambios mayo--  
res en la lignina de las uniones entre fibras.

#### Proceso Peroxi-Alcalino.

Este proceso emplea como reactivos: peróxido de hi-  
drógeno e hidróxido de sodio; de ahí su nombre "peroxi-al-  
calino". Este proceso puede ser utilizado para fibras ma-  
dereras y no madereras, en la obtención de pulpa para pa-  
pel.

Como anteriormente se dijo, fue desarrollado este --  
proceso recientemente por el Dr. Akio Mita y aplicado con-  
éxito en diferentes tipos de fibra.

Actualmente este proceso no tiene uso industrial, pe-  
ro de acuerdo a las investigaciones realizadas hasta aho -

ra, los resultados son muy buenos y prometedores.

## 1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

### Pulpa Mecánica

#### + Ventajas:

- Bajo costo en cuanto a la materia prima, dado -- que se utiliza prácticamente toda la fibra maderera.
- Las fibras rotas y desgarradas de la pulpa mecánica pueden absorber rápidamente la tinta en las prensas de impresión de alta velocidad; de periódicos, revistas y publicaciones similares.
- Cuando se refina apropiadamente, se emplea con éxito en papeles "tissue", para toallas y similares.
- Es muy absorbente.

#### + Desventajas:

- Es muy suave, voluminoso.
- Opaco.
- Sujeto a deteriorarse con el tiempo, especialmente a la luz solar.
- Débil.
- Alto costo en maquinaria.

### Pulpa Química

#### . Proceso al Sulfato

##### + Ventajas:

- Recuperación de reactivos.
- Cuando se utilizan maderas ricas en resinas, se produce aguarrás y aceite de pulpa que son productos valiosos.
- El vapor generado en el horno de recuperación, es casi suficiente para operar la planta misma.

##### + Desventajas:

- Es muy contaminante debido a la formación de sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y otros compuestos de azufre. Contribuye a la lluvia ácida, mala para la flora y la agricultura.

#### Proceso al Sulfito.

##### + Ventajas:

- Produce celulosa de alto contenido en forma alfa, para la formación del rayón.
- Recuperación de reactivos.

##### + Desventajas:

- El proceso al sulfito ácido de calcio sólo se usa con éxito para maderas que contienen resina en cantidades pequeñas.



- Los procesos de recuperación de calor tienen serios inconvenientes debido a problemas de incrustación en la evaporación y a que no se recuperan los reactivos de proceso excepto en forma de cenizas, con el problema de ser muy finas y de difícil eliminación.
- Es muy contaminante; contribuye a la lluvia ácida, mala para la flora y agricultura.

#### Proceso Peroxi-alkalino.

##### + Ventajas:

- Fácil manejo de la fibra.
- Ahorro en cuanto a maquinaria de trabajo.
- No es contaminante.
- No ocupa mucho blanqueo la pulpa después del proceso.
- Se obtiene buena calidad de pulpa para papel.
- Recuperación de reactivos.

C A P I T U L O   I I

ANTECEDENTES SOBRE AGAVE  
TEQUILANA

## 2.1 DESCRIPCION BOTANICA:

El agave denominado mezcal, es una planta xerófito, - tipo fenerógamo, clase monocotiledónica, subclase inferova ríacea, por tener seis piezas en la envoltura, seis estambres y ovario infero. Pertenece a la familia de las amarilidáceas y cuyo nombre es clasificado como agave.

Es una planta perenne, teniendo raíces de poca longitud, con raicillas que se unen a otras de mayor diámetro, - de consistencia leñosa, pero relativamente frágiles.

El tallo es generalmente de forma esférica, grueso y corto, ligeramente alargado en su parte superior donde se encuentra el embrión de un vástago florido que produce semillas.

Solamente florece una vez en su vida. Al iniciarse - el período de floración, sale del centro un eje vertical - denominado quiote, de tres o más metros, que lleva en su parte superior y dispuesto en racimos, varios grupos florales. Estas son flores de seis a diez pétalos pequeños de un color claro amarillento. De estas flores sale un fruto ovalado, de color verde, donde se encuentra la semilla.

Las hojas son sentadas y dispuestas en torno al ta -- llo, formando una roseta de forma alargada, terminando en puntas. La hoja es de forma acanalada por la parte superior.

La localización de las principales planteaciones de agave, de acuerdo a las experiencias y los rendimientos obtenidos, determina las condiciones ecológicas más adecuadas para este cultivo y cuyas características denotan cierto grado de amplitud, motivo por el cual las áreas potenciales en el estado de Jalisco son muy grandes.

En general, cualquiera que sea la variedad del agave que se trate atendiendo a su peso, está representado de la siguiente manera:

Cabeza o piña ----- 60% (peso).

Hojas y penca ----- 35% (peso).

Sistema radicular ----- 5% (peso).

## 2.2 USOS:

Dentro del territorio nacional se cuenta con plantaciones de magueyes conocidos con el nombre de "agave" existentes en más de sesenta especies, las cuales, atendiendo a su utilización, se clasifican en tres grupos:

a) Los agaves llamados Henequén (agave fourcroides) - de cuya materia prima se obtienen fibras de buena calidad.

b) Los agaves utilizados en la elaboración de agua miel o pulque (agave atrovirens).

c) Los agaves que son procesados para la obtención de aguardiente (agave tequilana weber), variedad azul.

Nos interesa en esta ocasión el agave tequilana conocido como agave azul, que tiene también otros nombres comunes y su producción es la materia prima para la elaboración -- de la bebida regional denominado: tequila.

#### Producto principal:

En las plantaciones del agave, la cosecha está constituida por la producción de cabezas que tienen un peso de veinte a cien kilogramos. Estas piñas representan el producto principal para la industria, como materia prima para la elaboración del tequila.

#### Sub-productos:

Los subproductos están representados por el material vegetativo, constituidos por hijuelos de las plantas, mismos que son utilizados para ampliar las plantaciones o son vendidos a otros agricultores con el mismo fin.

Además, de las pencas se obtiene el ixtle, el cual -- es una fibra dura utilizada en la jardinería, pero hasta -- la fecha, no ha sido industrializada suficientemente.

Otro sub-producto lo constituye el bagazo, denominado

así el producto resultante de la molienda de la piña para la elaboración de bajos de alfombras y fieltros de trabajos de tapicería.

Un uso más que tiene el bagazo es como combustible para calderas.

## 2.3 TRABAJOS PREVIOS (B-9).

Anteriormente se realizaron algunos estudios conjuntos entre la UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA y el INS TITUTO DE POLIMEROS Y TEXTILES DEL JAPON con el fin de -- darle un mejor aprovechamiento a las fibras del agave tequilana.

Los resultados que en esta sección se presentan, demuestran la factibilidad del uso de estas fibras en la fa bricación de pulpa para papel.

---

TABLA 2.3.1 ANALISIS QUIMICO DE LAS FIBRAS DE LA CABE  
ZA DEL AGAVE TEQUILANA.

---

Solubilidad en NaOH al 1% -----	29.6%
Extractos en alcohol-benceno -----	3.1%
Solubilidad en agua caliente -----	11.9%
Solubilidad en agua fría -----	9.4%
Lignina -----	15.4%
Celulosa Total -----	52.9%
Pentosanas -----	21.6%
Pectato de calcio -----	4.4%
$\alpha$ - Celulosa -----	34.0%
$\beta$ - Celulosa -----	5.7%
$\delta$ - Celulosa -----	13.1%
Cenizas -----	4.5%

---

TABLA 2.3.2 ANALISIS MORFOLOGICO DE LAS FIBRAS DE LA CABE  
ZA DEL AGAVE TEQUILANA.

Longitud de la fibra ----- 0.7 mm

Ancho de la fibra -----25.1  $\mu$

L/D = 30

Diámetro del lumen grande

Espeor de pared celular delgado

Baja Densidad

} Condiciones satisfac-  
torias para la fabri-  
cación de pulpa para-  
papel.

De acuerdo a la teoría de RUNKEL; fibras con espesor -  
de pared celular delgada, lumen grueso, se obtiene una bue-  
na pulpa para la fabricación de papel.



C A P I T U L O   I I I

P A R T E   E X P E R I M E N T A L

## P A R T E   E X P E R I M E N T A L

## 3.1    DESARROLLO DEL PROCESO:

1) Preparación de la fibra; primeramente se procedió a darle una limpieza a la fibra, esto porque contiene bastante médula (polvo), la cual se le forma a la fibra - una vez que la piña (cabeza) fue cocida, después exprimida y ya seca se aprecia la médula formada.

A continuación vino una separación de fibra, buscando una homogeneidad en cuanto a la dimensión de la fibra por su espesor. Para finalizar, se llevó a cabo un corte de la fibra entre 1 y 2 cm. de longitud aproximadamente con el fin de conservar una uniformidad y facilitar el manejo de la fibra.

2) Peso de la fibra: Se tomaron como base 5 gr. - de fibra seca, para ello se determinó previamente la humedad de la fibra a utilizarse en las diferentes corridas - llevadas a cabo.

3) Preparación de la muestra: una vez pesada la fibra, se le agregaron los reactivos y tomando en cuenta -- una relación de a 15 entre la fibra y el licor ( $H_2O_2$ , -- NaOH, y  $H_2O$ ) destilada).

La relación 1:15 fue tomada así con el fin de lograr que la fibra fuera completamente cubierta por el licor y de esa manera el ataque fuera preciso y parejo.

4) Cocimiento de la fibra: El cocimiento se realizó en un digestor. Se le agregó agua suficiente para lograr una presión vapor de  $1 \text{ kg/cm}^2$  constante durante un tiempo determinado.

Dentro de el digestor fueron colocados los vasos de precipitado conteniendo la fibra ya preparada con sus respectivos reactivos.

5) Lavado de la fibra: Una vez finalizado el cocimiento, la fibra fue lavada, con la finalidad de eliminar los reactivos que pueda contener y así, poder analizarse más íntegramente.

6) Molienda y Filtración: Una vez lavada la fibra, se homogeneizó por medio de aspas, para después ser filtrada en una maya y así deshechar la que no logre pasar a través de ella.

7) Secado: Después de filtrar la pulpa, ésta fue colocada en una estufa a una temperatura aproximada de  $100^\circ\text{C}$ , hasta lograr que la pulpa tenga un peso constante. Finalmente se lleva a cabo el análisis de la pulpa.

Todas las corridas se hicieron por duplicado.

### 3.2 SELECCION DE LA VARIABLE RESPUESTA.

El propósito de la selección de la variable respuesta es el de especificar qué con dición del proceso nos interesa optimizar.

En este caso la variable respuesta se determinó en base al No. de Kappa y al rendimiento en peso, por medio de la ecuación:  $Y=(50-K)+R$  en donde, el valor de 50 es un valor del No. de Kappa que se toma como aceptable y como esperamos valores bajos, es esta la razón de la primer -- parte de la ecuación. Si los valores de No. de Kappa (K) son bajos, esto es un indicio de una pulpa de calidad --- aceptable y la contribución de  $(50-K)$  en la ecuación será mayor. En cuanto al rendimiento "R", se esp ran valores- mayores del 45% en peso de la fibra total, esto de acuer- do a las pruebas preliminares llevadas a cabo.

### 3.3 DETERMINACION DE RENDIMIENTO.

El rendimiento está basado en la cantidad de pulpa- real utilizada para papel, de acuerdo a la fibra inicial, esto es, según el ataque que se haya tenido en la fibra - por medio del cocimiento con los reactivos agregados.

### 3.4 DETERMINACION DEL NUMERO DE KAPPA.

El contenido de lignina de las pulpas sin blanquear se puede determinar ya sea por mediciones directas en las que la fracción que no es lignina de la pulpa se disuelve en  $H_2SO_4$  al 72% o bien por mediciones indirectas tales como el No. de Permanganato, el No. de Kappa y el No. de Roe.

El No. de Kappa representa el número de mls. de  $KMnO_4$  0.1N absorbidos por X cantidad de pulpa libre de humedad. Apendice 2.

### 3.5 PRUEBAS PRELIMINARES.

Primeramente se llevaron a cabo varias pruebas con diferentes condiciones de trabajo, en base a resultados obtenidos anteriormente referentes a la investigación hecha por el Dr. Akio Mita, aunque con diferentes condiciones de trabajo.

No. de expto.	t (min.)	X <sub>2</sub> (%H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	X <sub>1</sub> (%NaOH)	(variable Y respuesta)
1	120	5	20	32%
2	150	5	20	34.2%
3	180	3	20	37.6%
4	210	3	20	41.8%
5	240	3	20	45%
6	210	6	25	56%
7	240	6	25	68%

De acuerdo a estos resultados, la corrida No. 7 -- fue la que dio la variable respuesta más alta, por lo que se tomaron como condiciones actuales: t = 240 min., %NaOH = 25, %H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 6 para iniciar las corridas empleando el método Simplex-E.V.O.P. Apéndice 1.

C A P I T U L O   I V

RESULTADOS E INTERPRETACIONES

## RESULTADOS E INTERPRETACIONES

## - APLICACION DEL METODO SIMPLEX-E.V.O.P.

Definición de variables:  $X_1 = t$  (min.)  
 $X_2 = \text{NaOH} (\%)$   
 $X_3 = \text{H}_2\text{O}_2 (\%)$

Condiciones actuales:  $t = 240$  min.  
 $\text{NaOH} = 10\%$   
 $\text{H}_2\text{O}_2 = 6\%$

Límites de variación:  $t = 30$  min.  
 $\% \text{NaOH} = 10$   
 $\% \text{H}_2\text{O}_2 = 3$

Diseño del experimento inicial:

- Matriz

No. de Expto	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	$-r_1$	$-r_2$	$-r_3$
2	$+r_1$	$-r_2$	$-r_3$
3	0	$+2r_2$	$-r_3$
4	0	0	$+3r_3$
	$2r_1$	$3r_2$	$4r_3$

$2r_1 = 30$  min.

$3r_2 = 10\%$

$4r_3 = 3\%$

$r_1 = 15$  min.

$r_2 = 3.33\%$

$r_3 = 0.75\%$



## Corrida Inicial:

No. de Expto.	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	240-15	25-3.33	6-0.75
2	240+15	25-3.33	6-0.75
3	240	25+6.66	6-0.75
4	240	25	6+2.25

A partir de estas corridas anteriores, se fue reflejando la corrida que dio la variable respuesta más desfavorable, con esto dicha corrida fue sustituida por otra y así sucesivamente, buscando el punto óptimo. Para el reflejo del punto más desfavorable ver apéndice 1-6.

TABLA 5.1    CONDICIONES DE TRABAJO, RESULTADOS DE LA VARIABLE RESPUESTA Y ORDEN DE REFLEJO  
 PARA LAS CORRIDAS DEL PRIMER DISEÑO.

No. de Expto.	$X_1$ (min.)	$X_2$ (%)	$X_3$ (%)	K	R(% en peso)	"Y"	Orden de Reflejo
1	225	21.67	5.25	38.58	45.4	56.4	1°
2	255	21.67	5.25	26.29	44.07	67.38	2°
3	240	31.67	5.25	25.30	47.8	72.5	4°
4	240	25.0	8.25	20.85	49.4	78.55	
5	265	30.55	7.25	31.87	49.56	67.69	3°
6	241.66	36.48	8.58	27.61	53.4	75.79	5°
7	216.11	31.54	7.48	20.24	51.78	81.54	
8	225.18	30.35	10.95	24.98	51.78	76.8	
9	212.53	21.45	9.2	32.28	48.69	66.41	6°
10	241.66	36.48	8.58	29.09	51.78	72.69	7°
11	212.53	21.45	9.2	30.47	50.27	69.8	

Después de la corrida No. 9, comenzaron a repetirse las condiciones de trabajo, y ya no había un avance en cuanto a optimización, por lo que se hizo un nuevo diseño partiendo del valor de la variable más alto. Este valor correspondió a la corrida No.7.

Los límites de variación serán ahora más restringidos, con el propósito de lograr una mayor efectividad en nuestro objetivo de optimizar.

Límites de variación:

$$t = 20 \text{ min.}, \quad \% \text{ NaOH} = 8, \quad \% \text{ H}_2\text{O}_2 = 3$$

De acuerdo a la matriz tenemos:

$$\begin{array}{lll} 2r_1 = 20 \text{ min.} & 3r_2 = 8\% & 4r_3 = 3\% \\ r_1 = 10 \text{ min.} & r_2 = 2.67\% & r_3 = 0.75\% \end{array}$$

Punto de partida para el nuevo diseño:

$$X_1 = 216.11 \text{ min.} \quad X_2 = 30.14\% \text{ NaOH} \quad X_3 = 7.47\% \text{ H}_2\text{O}_2$$

TABLA 5.2 CONDICIONES DE TRABAJO, RESULTADOS DE LA VARIABLE RESPUESTA Y ORDEN DE REFLEJO PARA LAS CORRIDAS DEL SEGUNDO DISEÑO.

No. de Expto.	$X_1$ (min.)	$X_2$ (%)	$X_3$ (%)	K	R(%en peso)	"Y"	Orden de reflejo
1	206.11	27.47	6.72	22.4	36	63.6	1°
2	226.11	27.47	6.72	25.05	45.83	70.76	2°
3	216.11	35.48	6.72	23.74	44.97	71.23	3°
4	216.11	30.14	9.72	23.92	46.55	72.63	4°
5	232.78	34.59	8.72	16.78	48.48	81.7	6°
6	217.22	39.33	10.05	16.03	50.96	84.93	
7	226.85	33.89	10.27	18.66	48.4	79.74	5°
8	235.12	41.73	10.97	12.68	51.6	88.92	
9	229.90	43.26	7.56	16.78	50.4	83.62	7°
10	222.05	48.3	10.34	13.24	51.0	87.76	
11	219.69	43.98	13.35	16.41	50.4	84.0	8°
12	229.9	43.26	7.56	18.24	49.8	81.56	

A partir de la corrida No. 12 comienza a repetirse las condiciones de trabajo, además que de la corrida No.8 en adelante la variable respuesta "Y" (señal de optimización) disminuye. Por otra parte los valores de rendimiento "R" son muy aproximados al valor de celulosa total contenido en las fibras de acuerdo al análisis químico presentado en la tabla 2.3.1 por lo que ahí termina el proceso de optimización.

La corrida No. 8 resultó ser la óptima de acuerdo a la variable respuesta, que es la que se desea optimizar.

- Condiciones de trabajo:

$t = 235.12$  min.    % NaOH = 41.73     $3H_2O_2 = 10.97$

- Resultado Optimo: "Y"

No. de Kappa (k)	Rendimiento (R)	"Y" = (50-k) + R
12.68	51.6	88.92

**R E S U M E N**

## R E S U M E N

Esta investigación tiene como objeto lograr una optimización de pulpa para papel aceptable, a partir de la fibra de la cabeza del agave tequilana por el método, peróxido-alcalino. También cabe hacer notar la importancia en la contribución que este método viene a aportar a la ecología, ya que por medio de este método se contribuye bastante a la no contaminación por sus caracterfsti--cas y además el hecho de emplear fibra no moderable es - de mucha ayuda a la conservación de zonas forestales. -- Otro aspecto importante es el hecho de que se le da en - este caso a la fibra de la cabeza de agave tequilana un mayor aprovechamiento del que actualmente tiene.

De acuerdo a los estudios previos, realizados por el Dr. Akio Mita en el Japón, se llevaron a cabo pruebas preliminares utilizando el método peroxi-alcalino para - tener una idea aproximada de las condiciones de trabajo- que pudieran ser favorables.

Una vez hecho esto, se recurrió a la aplicación - del método matemático Simplex-EVOP para la optimización- buscada.

Se llevaron a cabo las corrientes de acuerdo a --

las condiciones actuales establecidas y a los límites de -  
variación fijados.

Primeramente se realizó un diseño, aunque hubo la -  
necesidad de reediseñar, con el propósito de lograr una ma  
yor optimización.

Finalmente el punto óptimo resultó de las condicio-  
nes siguientes:

$$t=235.12 \text{ min.} \quad \text{NaOH}=41.73\% \quad \text{H}_2\text{O}_2= 10.97\%$$

Dando como variable respuesta "Y" = 88.92. Donde -  
"Y" = (50 - K) + R.

El número de Kappa resultó ser bajo, del orden de -  
12.68, lo cual indica que hubo buena deslignificación y --  
que se requiere de poco blanqueo.

Los valores de rendimiento obtenidos fueron muy ---  
aceptables, muy aproximados al porcentaje de celulosa to--  
tal, contenido en la fibra y que se muestra en la tabla --  
3.3.1.

Realmente el método matemático llamado Simplex-EVOP  
es de mucha ayuda en la industria y tiene un fácil manejo.



## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES:

- Los resultados obtenidos en esta investigación en relación al % en peso de la pulpa obtenida, corresponde al % de celulosa total determinado en el análisis de la fibra.
- Los valores de No. de Kappa obtenidos en los puntos óptimos es menor que los que se obtienen con el método al -- sulfito que es el que actualmente se emplea en la industria del papel, esto quiere decir que hubo una buena deslignificación de la fibra.
- El hecho de obtener No. de Kappa pequeño, nos dice que - se requiere de menos blanqueo.
- Debido al fácil manejo de la fibra en relación al de la madera, nos trae un ahorro de energía, maquinaria, etc.
- Los gases y vapores expedidos al aire, no son contaminantes e incluso con una recuperación de reactivos en las - aguas residuales, la contaminación sería nula.
- No necesariamente se debe tomar el punto óptimo, ya que hay que tomar en cuenta costos y otro punto cercano al - óptimo puede resultar más favorable.

- El método Simplex-EVOP es de fácil manejo y adaptable a nuestra realidad industrial, dando además magníficos resultados.
- Las concentraciones de los reactivos en el punto óptimo son altas, pero ésto es debido a que se fijó una pre---sión baja para trabajar. Por lo que con presiones al--tas se obtendría un punto óptimo con concentraciones de reactivos para trabajar, más bajas. Esto queda para investigaciones posteriores.

**A P E N D I C E**

## A P E N D I C E -1

## GENERALIDADES SOBRE EL METODO SIMPLEX-E.V.O.P.

El método que describiremos a continuación es una versión simplificada de E.V.O.P. (Evolutionary Operation) conocida por lo mismo como Simplex-E.V.O.P.

Para aplicar este método, se requiere cubrir las siguientes etapas:

- 1.- Definir las variables.
- 2.- Especificar límites de variación.
- 3.- Diseñar al experimento inicial.
- 4.- Realizar la corrida inicial.
- 5.- Analizar la información.
- 6.- Reflejar el punto más favorable.
- 7.- Realizar el nuevo experimento.

## 1.- DEFINICION DE VARIABLES:

Trataremos primero de definir cuál es la variable respuesta, es decir qué condición del proceso nos interesa optimizar, por ejemplo: el rendimiento de una reacción, el peso molecular promedio de un polímero, el color de un promedio de un polímero, el color de un producto, etc.

Una vez perfectamente establecida la variable respuesta, es decir, deberá definirse que variables operativas la afectan en forma importante, como por ejemplo: la temperatura, presión, agitación, pH, concentración de catalizador, etc. Estas variables son las que manejándolas a diferentes niveles en cada corrida, nos permitirán optimizar la variable respuesta.

## 2.- LIMITES DE VARIACION.

En cada proceso específico, pueden variarse los niveles de las variables operativas un cierto rango sin peligro. Este límite de variación deberá estipularse para cada variable operativa con objeto de manejar el proceso en condiciones adecuadas durante cada experimento.

## 3.- DISEÑO DEL EXPERIMENTO INICIAL.

La corrida inicial estará formada por un número de experimentos igual a  $n + 1$ , en donde "n" es el número de variables operativas especificadas anteriormente.

Para diseñar esta corrida, se utiliza la siguiente matriz de diseño en la que  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ , son los rangos

de variación permitidos para las variables operativas  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , ...  $x_n$ , respectivamente:

Experimento Número	Variable Operativa				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	.....	$x_n$
1	$-r_1$	$-r_2$	$-r_3$	.....	$-r_n$
2	$+r_1$	$-r_2$	$-r_3$	.....	$-r_n$
3	0	$+2r_2$	$-r_3$	.....	$-r_n$
4	0	0	$+3r_3$	.....	$-r_n$
.					
.					
.					
$n + 1$	0	0	0	.....	$+nr_n$

#### 4.- CORRIDA INICIAL:

Una vez diseñados los (n+1) experimentados que forman la corrida inicial, se realizan éstos, anotando para cada uno de ellos el valor obtenido de la variable respuesta.

Es conveniente correr los experimentos por duplicado y en algunos casos hasta por triplicado para a través de un análisis de variabilidad comprobar si existe una diferencia significativa entre los diferentes resultados de la variable respuesta. Esto permitirá manejar la información con mayor seguridad.

#### 5.- ANALISIS DE LA INFORMACION:

Obteniendo los valores promedio de la variable respuesta para cada experimento y habiendo detectado su rango de variación debida al error experimental, se comprueba qué experimento dio el resultado más bajo de la variable respuesta, con objeto de conocer las condiciones desfavorables y reflejar (A-1.6) este punto a través de un nuevo experimento.

#### 6.- REFLEJO DEL PUNTO MAS DESFAVORABLE:

Una vez determinado el punto más desfavorable en base



al valor de la variable respuesta, éste es reflejado y --- sustituido por uno nuevo, en la forma siguiente: de las - cuatro corridas, tres se tomarán en cuenta con sus respectivos valores de las variables que afecten a su vez a la - variable respuesta.

1o. Se suman los valores de cada una de las corridas- respecto a una misma variable y se obtiene el promedio.

2o. Este promedio se multiplica por dos.

3o. Finalmente al resultado obtenido se le resta el - valor de la corrida reflejada, obteniendo así el nuevo valor de la variable operativa.

Ejemplo:

No. de expto.	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Variable respuesta.	
1	170	7.6	125	58.6%	--- Punto a reflejar
2	190	7.6	125	62%	
3	180	8.8	125	63.4%	
4	180	8	225	66.4%	

$$X_1 = \frac{190 + 180 + 180}{3} = 183.33 \quad X_2 = \frac{7.6 + 8.8 + 8}{3} = 8.13$$

$$X_3 = \frac{125 + 125 + 225}{3} = 158.33$$

$$X_1 = 188.33 \times 2 = 366.66$$

$$X_2 = 8.13 \times 2 = 16.26$$

$$366.66 - 170 = 196.66$$

$$16.26 - 7.6 = 8.66$$

$$X_1 = 196.66$$

$$X_2 = 8.66$$

$$X_3 = 158.33 \times 2 = 316.66$$

$$316.66 - 125 = 191.66$$

$$X_3 = 191.66$$

Nuevo experimento:	$X_1$	$X_2$	$X_4$
	5	196.66	8.66
			191.66

#### 7.- REALIZACION DEL NUEVO EXPERIMENTO:

El nuevo experimento viene a ocupar el lugar del reflejado.

Tomando en cuenta ahora todos los experimentos con excepción del que fue reflejado, se observará cuál es el que originó el menor rendimiento y éste se reflejará siguiendo el procedimiento antes descrito, continuando en esta forma hasta alcanzar el objetivo deseado.

## A P E N D I C E -2

## DETERMINACION DEL NUMERO DE KAPPA (K):

Se pesan 0.5 a 0.65 gr de la muestra, base seca. Se desintegra en una licuadora con 250 ml. de agua para luego vertirse en un matraz Earlen-Meyer completando hasta un volumen de 400 ml, empleando esta agua para enjuagar la licuadora. (El agua utilizada debe ser destilada). Se adicionan después 50 ml. de  $\text{KMnO}_4$  0.1N y 50 ml. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4.0N simultáneamente.

Después de 10 min., se agregan 10 ml. de KI 1.0 Normal y se titula la solución con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.1 N, utilizando como indicador una solución de almidón.

Haga un blanco usando el mismo procedimiento, pero sin pulpa. En este caso se puede titular simultáneamente.

$$\text{Cálculos: } K = \frac{pf}{w} \qquad p = \frac{(b-a)N}{0.1}$$

Donde:

K = No. de Kappa.

p = ml. de  $\text{KMnO}_4$  consumidos por pulpa.

f = factor de corrección; se obtiene de la tabla anexada enseguida.

b = ml. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  gastados en la titulación del blanco.

a = ml. de " " " " " de la muestra.

w = gramos de la muestra seca.

N = normalidad del  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

TABLA A-2.1

TABLA DE OBTENCION DEL FACTOR "f" EN FUNCION DE "p" PARA EL NUMERO  
DE KAPPA

p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.897	0.900	0.902	0.904	0.905	0.906	0.911	0.911	0.913	0.915
10	0.917	0.920	0.922	0.923	0.925	0.927	0.929	0.932	0.933	0.935
20	0.937	0.939	0.940	0.942	0.945	0.946	0.948	0.957	0.953	0.955
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.988	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## BIBLIOGRAFIA

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Barnett, E.H. "Introduction to Evolutionary Operation"  
Industrial and Engineering Chemistry  
Vol. 52, Jun 1960, 500.
- 2.- Barnett, C.A. And N.L. Franklin. "Statistical Analysis in Chemistry and the Chemical Industry"  
New York; John Wiley & Sons, Inc. 1954.
- 3.- BOX, G.E.P. "Evolutionary Operation: A method for Increasing Industrial Productivity"  
Applied Statistics, Vol. VI No. 2, -  
1957.
- 4.- Box, G.E.P. "The exploration and Exploiyation of response surfaces"  
Biometrics 10, 16-60, 1954.
- 5.- Box, G.E.P. and Draper, N.R. Evolutionary Operation a Statiscalme  
thod for Process  
1a. Ed. John Wiley, 1959.

- 6.- Cámara de la Industria  
Tequilera.
- 7.- C. Earl Libby. "Ciencia y Tecnología sobre -  
pulpa y papel"  
1a. y 2a. ed.  
Edit. C.E.C.S.A.
- 8.- Srfa. General de O.E.A. "Celulosa y Papel".  
Ciencia Interamericana.  
Washington D.C.  
Dic. 1982.
- 9.- Trujillo, Juan José,  
Herrera Tito E.,  
Kurita T.,  
Mitsubishi S. "Caracterización de fibras de  
agave tequilana"  
Utilización de fibras de ---  
plantas tropicales.  
Universidad Autónoma de Gua-  
dalajara, México.  
Instituto de Investigación -  
de Polímeros y Textiles, Ja-  
pón.