

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**



**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA**

TÍTULO DEL TRABAJO:

“ELABORACIÓN DE UN ENVASE DE PAPEL A PARTIR DE RESIDUOS FIBROSOS DE MAÍZ Y *JATROPHA CURCAS*”

TRABAJO ESCRITO CORRESPONDIENTE A LA OPCIÓN DE TITULACIÓN CURRICULAR EN LA MODALIDAD DE:

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

QUE PRESENTA  
LINARES CASTAÑEDA ALEJANDRA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

DIRECTORES  
DR. LUIS JORGE CORZO RÍOS  
DRA. YOLANDA DE LAS MERCEDES GÓMEZ Y GÓMEZ

EVALUADORES  
DR. LUIS GILBERTO TORRES BUSTILLOS  
M. EN C. SAMUEL SUAZO ABARCA

Ciudad de México a 15 de junio del 2018.



**SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA**  
**ACTA DE TRABAJO ESCRITO**

En la Ciudad de México el día **15 de junio del 2018**, siendo las 10:45 horas se reunieron los integrantes de la Comisión de Evaluación para Opción curricular con el fin de revisar el trabajo escrito titulado: **Elaboración de un envase de papel a partir de residuos fibrosos de maíz y *Jatropha curcas*** que presenta la alumna **Linares Castañeda Alejandra** con número de boleta **2013340147**, aspirante a Ingeniería en Alimentos.

Después de intercambiar opiniones los integrantes de la Comisión de Evaluación manifiestan **APROBAR EL TRABAJO ESCRITO**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para la opción curricular de titulación.

**COMISIÓN REVISORA**

Dr. Luis Jorge Corzo Ríos

Dra. Yolanda de las Mercedes  
Gómez y Gómez

Dr. Luis Gilberto Torres Bustillos

M. en C. Samuel Suazo Abarca

Dra. Karina Cruz Pacheco  
Director de Programa Académico

## Autorización de uso de obra

**Instituto politécnico nacional**

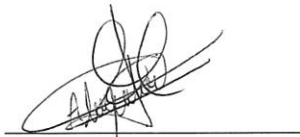
**P r e s e n t e**

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe **Linares Castañeda Alejandra**, manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **Elaboración de un envase de papel a partir de residuos fibrosos de maíz y *Jatropha curcas***, en adelante "La tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho del Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales "La tesis" por un periodo de 2 años contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su determinación.

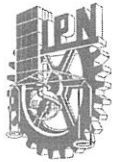
En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, 15 de junio del 2018.



Linares Castañeda Alejandra



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA



---

### CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 15 de junio de 2018, el que suscribe Linares Castañeda Alejandra, alumna del Programa Académico Ingeniería en Alimentos con número de boleta 2013340147, de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo escrito bajo la Dirección del Dr. Luis Jorge Corzo Ríos y la Dra. Yolanda de las Mercedes Gómez y Gómez y cede los derechos del trabajo titulado "Elaboración de un envase de papel a partir de residuos fibrosos de maíz y *Jatropha curcas*" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con los fines académicos que desarrolla.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser solicitado en la siguiente dirección de correo electrónico: [lcorzo@ipn.mx](mailto:lcorzo@ipn.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá citar la fuente y dar el agradecimiento correspondiente.

Linares Castañeda Alejandra

## DEDICATORIA

### **A MI MAMÁ**

Rosalinda por ser la persona que me ha motivado durante todos mis estudios, es la persona que me ha apoyado incondicionalmente en todos los aspectos de vida, por ser mi principal motivo por luchar todos estos años.

### **A MI PADRE**

Julio por sus consejos cuando estuve a punto de rendirme, por darme los motivos suficientes para salir adelante.

### **A MIS HERMANAS**

Laura y Paulina por su apoyo incondicional y por escucharme siempre.

### **A MI HIJO**

Emilio por inundar mi vida de alegría y amor infinito.

### **A MI ESPOSO**

Mario Alberto por siempre apostar todo por mí, por ser mi compañero de viaje durante todos estos años, por nunca dejarme sola y siempre entenderme y comprenderme cuando algo me salía mal.

### **A MIS PADRINOS**

Lilia y Edmundo por su apoyo incondicional en todo momento, por ser los ángeles que la vida me puso en mi camino.

## AGRADECIMIENTOS

**A MI MAMÁ** Rosalinda por el gran esfuerzo que ha lecho para que mis hermanas y yo seamos personas con grandiosos valores, por su amor infinito, por sus desvelos y por todo lo que me ha brindado.

**AL DOCTOR** Luis Jorge Corzo Ríos por compartirme de su conocimiento, por hacerme mejorar como alumna desde los primeros semestres en la institución y por darme su apoyo durante la estancia de mi proyecto.

**A MI HERMANA** Laura por amar a Emilio y cuidarlo cuando no estoy.

**A MI SUEGRA** Guadalupe por apoyarme a cuidar a Emilio para que continuará mis estudios.

.

.

## RESUMEN

El uso de subproductos de la industria agroindustrial en la elaboración de materiales de cobertura que alarguen la vida de anaquel de alimentos está siendo objeto de numerosos estudios a nivel mundial. En el presente trabajo se estudió la aplicación de un envase de papel elaborado a partir de residuos fibrosos de maíz y *Jatropha curcas*. Se aplicó el método alcalino para la extracción de celulosa de los tallos/hojas de maíz y la cáscara de *Jatropha curcas*. Se elaboró papel a partir de diversas concentraciones de celulosa extraída de los tallos/hojas y de cáscara. Se evaluaron las características físicas y químicas de cada papel, seleccionando el papel con concentración 95 – 5% respectivamente con etapa de tamizado y prensado, el cuál presento las mejores características. Se evaluó la influencia del papel en la vida de anaquel y características fisicoquímicas de chile serrano *Capsicum annum L*, obteniendo diferencia significativa entre tratamientos ( $p=0.05$ ) en las pruebas de dureza, acidez titulable, humedad, vitamina C, color y pérdida de peso. Por lo tanto, la aplicación del papel como material de empaque influyó en la conservación y vida de anaquel de chile serrano.





## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	14
CAPITULO I Generalidades del proyecto.....	14
1.1 Problemática.....	14
1.2 Enunciado del problema .....	14
1.3 Justificación.....	14
1.4 Objetivos .....	16
1.4.1 General.....	16
1.4.2 Específicos.....	16
1.5 Hipótesis.....	16
1.6 Delimitaciones .....	16
1.7 Limitaciones.....	17
CAPÍTULO II. Antecedentes .....	18
2.1. Historia del papel.....	18
2.2 El papel y su composición .....	20
2.3 Tipos de papel.....	22
2.3.1 Papel de embalaje o de empaquetar.....	22
2.3.1.1 Papel Kraft .....	22
2.3.1.2 Papel kraft blanco .....	22
2.3.1.3 Papel sulfito .....	22
2.3.1.4 Papel sulfurizado.....	22
2.3.1.5 Papel parafinado.....	23
2.3.2 Papel de impresión y escritura .....	23
2.3.2.1 Papel prensa.....	23
2.3.2.2 Papel autoadhesivo.....	24
2.3.2.3 Papel bond.....	24
2.3.2.4 Papel satinado .....	24
2.3.2.5 Papel carbón.....	24
2.3.2.6 Papel estucado .....	24
2.3.3 Otros tipos de papel.....	25
2.3.3.1 Papel para usos higiénicos y sanitarios.....	25
2.3.3.2 Papel filtro .....	25
2.3.3.3 Papel reciclado.....	25
2.4 Obtención de la pulpa de papel .....	25

2.4.1	Proceso mecánico.....	25
2.4.2	Proceso termomecánico.....	26
2.4.3	Proceso sulfito neutro.....	26
2.4.4	Proceso alcalino.....	26
2.4.5	Proceso sulfito.....	26
2.4.6	Proceso sulfato .....	27
2.5	Caracterización del papel .....	28
2.5.1	Determinación de gramaje .....	28
2.5.2	Dureza del papel o resistencia al rasgado.....	28
2.5.3	Espesor del papel (calibre).....	29
2.5.4	Observación microscópica .....	29
2.5.5	Determinación del contenido de cenizas .....	29
2.5.6	Determinación de humedad .....	29
2.5.7	Absorción de agua .....	30
2.6	Producción de papel en México .....	30
2.7	<i>Jatropha curcas</i> .....	32
2.7.1	Principales subproductos .....	32
2.7.2	Clasificación taxonómica.....	33
2.7.3	Clasificación botánica.....	33
2.7.4	Aplicaciones biológicas .....	34
2.7.5	Tratamiento de residuos.....	35
2.7.6	Toxicidad.....	35
2.8	Maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	36
2.8.1	Aplicaciones.....	36
2.8.2	Taxonomía del maíz.....	37
2.8.3	Clasificación botánica.....	37
2.8.4	Residuos del maíz.....	37
2.9	Chile serrano ( <i>Capsicum annum L</i> ).....	38
2.9.1	Taxonomía .....	39
2.9.2	Características botánicas .....	40
2.9.3	Producción de chile serrano .....	41
2.9.4	Especificaciones sensoriales.....	41
2.9.5	Especificaciones físicas .....	41
2.9.6	Envase.....	42

CAPÍTULO III. Revisión literaria.....	43
3.1 Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar ( <i>Sccharumofficinarum L.</i> ).....	43
3.2 Extracción de celulosa a partir de la borra de café.....	43
3.3 Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la Deslignificación de tallos de yuca.....	43
3.4 Diseño factorial de un proceso alcalino para obtener celulosa de Higuierilla ( <i>Ricinus communis l.</i> ) y su aplicación en cartón ondulado.....	44
3.5 Elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz.....	44
3.6 Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas.....	45
CAPÍTULO IV. Metodología.....	46
4.1 Materiales y equipo.....	46
4.2 Métodos.....	47
4.2.1 Análisis químico proximal.....	47
4.2.1.1 Determinación de humedad.....	47
4.2.1.2 Determinación de cenizas.....	47
4.2.1.3 Determinación de extracto etéreo.....	48
4.2.1.4 Determinación de fibra.....	49
4.2.1.5 Determinación de proteína.....	49
4.2.2 Obtención de celulosa.....	50
4.2.2.1 Obtención de celulosa de maíz.....	50
4.2 Obtención de celulosa de <i>Jatropha curcas</i> .....	50
4.2.3 Elaboración de papel.....	50
4.2.3.1 Papel 1.....	51
4.2.3.2 Papel 2.....	51
4.2.3.3 Papel 3 y 4.....	51
4.2.3.4 Papel 5.....	51
4.2.3.5 Papel 6.....	51
4.2.4 Caracterización del papel.....	52
4.2.4.1 Determinación de gramaje.....	52
4.2.4.2 Dureza del papel.....	52
4.2.4.3 Espesor del papel.....	52
4.2.4.4 Determinación de humedad.....	52

4.2.4.5	Determinación de cenizas .....	53
4.2.4.6	Observación microscópica .....	53
4.2.4.7	Absorción de agua .....	53
4.2.4.8	Adsorción de agua .....	54
4.2.5	Aplicación del papel seleccionado como envase de chile serrano.....	54
4.2.5.1	Propiedades mecánicas del chile serrano .....	54
4.2.5.2	Acidez titulable .....	55
4.2.5.3	pH .....	55
4.2.5.4	Determinación de humedad .....	55
4.2.5.5	Pérdida de peso .....	55
4.2.5.6	Color .....	56
4.2.5.7	Contenido de ácido ascórbico .....	56
4.2.5.7.1	Preparación de solución estándar de ácido ascórbico 0.5mg/ml .....	56
4.2.5.7.1.1	Verificación de la pureza del ácido ascórbico .....	56
4.2.5.7.2	Solución de ácido meta-fosfórico al 2%.....	56
4.2.5.7.2.1	Preparación de la solución base al 10%.....	56
4.2.5.7.2.2	Preparación de la solución al 2% .....	57
4.2.5.7.3	Solución de la sal sódica de 2,6-diclorofenol-indofenol (D.I.) al 0.05%.....	57
4.2.5.7.4	Ácido acético al 10%.....	57
4.2.5.7.5	Determinación del título de la solución de 2,6-diclorofenol-indofenol (D.I.).....	57
4.2.5.7.6	Preparación de la porción para ensayo .....	57
4.2.5.7.7	Determinación .....	57
CAPÍTULO V. Resultados y discusión .....		59
5.1	Análisis químico proximal .....	59
5.2	Obtención de celulosa, elaboración y caracterización del papel .....	60
5.2.1	Determinación de gramaje .....	61
5.2.2	Dureza del papel .....	61
5.2.3	Espesor del papel .....	61
5.2.4	Determinación de humedad .....	62
5.2.5	Determinación de cenizas .....	62
5.2.6	Observación microscópica .....	63
5.2.7	Absorción de agua .....	64
5.2.8	Adsorción de agua .....	64
5.3	Evaluación del papel seleccionado en la vida de anaquel de chile serrano.....	66

5.3.1	Propiedades mecánicas del chile serrano .....	66
5.3.2	Acidez titulable .....	67
5.3.3	pH .....	68
5.3.4	Determinación de humedad y pérdida de peso .....	69
5.3.5	Vitamina C .....	72
5.3.6	Color .....	74
	Conclusiones .....	76
	Referencias .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	El papiro como soporte de escritura.....	19
Figura 2	Equipo de extracción Soxhlet.....	48
Figura 3	Fotografías al microscopio de los diferentes papeles obtenidos con los residuos fibrosos de maíz y sus mezclas con residuos fibroso de <i>Jatropha curcas</i> .....	63
Figura 4	Papeles obtenidos.....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Encuesta mensual manufacturera.....	30
Gráfica 2	Producción bruta total y consumo intermedio de papel en México.....	31
Gráfica 3	Isotermas de adsorción.....	65
Gráfica 4	Dureza entre chiles con y sin tratamiento.....	66
Gráfica 5	Acidez titulable de los chiles con los tratamientos.....	67
Gráfica 6	pH de los chiles con los tratamientos.....	69
Gráfica 7	Porcentaje de humedad de los chiles con los tratamientos.....	71
Gráfica 8	Porcentaje de pérdida de peso en los chiles con los tratamientos.....	71
Gráfica 9	Vitamina C en chiles con y sin tratamiento.....	74

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales procesos de obtención de pasta de papel.....	27
Cuadro 2.	Especificaciones físicas de los chiles.....	41
Cuadro 3.	Proporción de fibras en la elaboración de papel.....	51
Cuadro 4	Análisis químico proximal del tallo de maíz.....	59
Cuadro 5	Análisis químico proximal de la hoja de maíz.....	59

Cuadro 6 Análisis químico proximal de <i>Jatropha curcas</i> .....	60
Cuadro 7. Características físicas y químicas de los papeles obtenidos con las diferentes proporciones <i>Jatropha curcas</i> -Maíz. ....	60
Cuadro 8 Estabilidad de la vitamina C.....	73
Cuadro 9. Determinación de color por CIE L*a*b*.....	75
Cuadro 10 Cambio de coloración del chile serrano con y sin tratamiento.....	76

# INTRODUCCIÓN

## CAPITULO I Generalidades del proyecto

### 1.1 Problemática

Actualmente, la fabricación de papel a partir de residuos fibrosos es objeto de estudio de muchos investigadores, las condiciones óptimas de extracción de fibra es característica de cada residuo. En México la elaboración de envases a partir de residuos agroindustriales es escasa y más aún la aplicación de estos en frutas y hortalizas. El chile serrano *Capsicum annum L.* es una hortaliza que ha tenido poco estudio sobre los factores que afectan su calidad y vida de anaquel, sin embargo, esta hortaliza es de alto consumo en fresco y por lo tanto es importante implementar condiciones que cuiden su estabilidad.

### 1.2 Enunciado del problema

¿Qué efecto tendrá el empleo de un papel con proporciones adecuadas de fibra de maíz y *Jatropha curcas* en la calidad y vida de anaquel de chile serrano *Capsicum annum L.*?

### 1.3 Justificación

La humanidad genera grandes volúmenes de residuos afectando de manera directa el medio ambiente, estos residuos son objeto de estudio de muchos investigadores para poder ser reutilizados y así generar productos que ayuden a mejorar la sustentabilidad.

La escasez de recursos forestales, el incremento en los precios de los productos ha provocado un creciente interés por la reutilización de fibras no maderables como fuente de materia prima para la industria del papel (*Calle Estrada, Fernández Lijerón, Godoy Tórrico, Sempertegui Heredia, & Patiño Méndez, 2014*).

Las actividades agropecuarias y agroindustriales generan una variedad de esquilmos y subproductos que pueden emplearse para obtener productos que vayan mucho más allá que la alimentación animal. Los residuos agrícolas son muy susceptibles a diferentes tipos de plagas las cuales pueden propagarse a cultivos

sanos, por lo que es importante retirarlos en el menor tiempo posible del campo para evitar su propagación.

En nuestro país anualmente una buena cantidad de rastrojo de maíz queda sin utilización sobre todo a nivel de pequeños productores (*De la Torre, 1985*). El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. El resto, corresponde a diversas estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros.

Por otra parte, *Jatropha curcas* es una planta con múltiples propósitos; es fuente alternativa para la obtención de biodiesel, alimentación animal, producción de fertilizantes y con uso en medicina tradicional (*Pabón & Hernández, 2012*). La cáscara es el residuo de la semilla, la cual contiene en mayor composición fibra, ambas fibras pueden ser mezcladas para así obtener papel que tenga como objetivo cuidar la calidad de algunas hortalizas como chile serrano.

De acuerdo a *Vázquez et al., (2010)* el chile serrano en México se consume en fresco, por lo que la calidad y vida de anaquel son factores importantes en su comercialización, sin embargo, la información científica es escasa para conocer los factores que afectan la calidad y vida de anaquel del chile serrano.

*Meza Velázquez (2013)*, menciona que los procesos fisiológicos en las frutas y hortalizas conducen al tejido a la senescencia y la deterioración puede ser minimizada a través de diferentes prácticas involucrando propiamente una buena selección del cultivo, pre-cosecha, tratamientos pre y post-proceso, y la aplicación de un empaque apropiado que provee atmósferas óptimas. Por otra parte, mencionan que la exposición a etileno exógeno puede conducir una aceleración de la maduración y senescencia, por ejemplo, en vegetales verdes se degrada la clorofila muy rápidamente. Al ser el chile serrano de bajo consumo en seco, se debe cuidar esta degradación de clorofila para que su calidad sea óptima.

Los envases más comúnmente utilizados para chile serrano son cajas de cartón de 10 a 15 kg. Sin embargo, el material de envase puede ser otro material aceptable y conveniente, de las dimensiones que se adapten a las necesidades de



transportación nacional e internacional, también estos deben ser inocuos al producto.

Es por ello que la elaboración de un envase de papel que provea un ambiente adecuado al chile serrano para no dañar su calidad y vida de anaquel sea elaborado aprovechando los residuos fibrosos de tallo/hoja del maíz y de la cáscara de *Jatropha curcas*.

#### 1.4 Objetivos

##### 1.4.1 General

Determinar las condiciones de elaboración de un envase de papel a partir de residuos agroindustriales con posible aplicación en frutas u hortalizas.

##### 1.4.2 Específicos

- Normalizar los aspectos técnicos que determinan las etapas de elaboración del papel a partir de hoja - tallo de maíz y cáscara de *Jatropha curcas*.
- Evaluar la influencia de la relación de celulosa de *Jatropha curcas* – celulosa de maíz para elaborar papel para el envase, en las características físicas y químicas, así como capacidad de adsorción de agua en el papel seleccionado.
- Evaluar la influencia del uso del envase de papel *Jatropha curcas* – maíz en la vida de anaquel y características fisicoquímicas de chile serrano.

#### 1.5 Hipótesis

La aplicación de un envase de papel elaborado con las proporciones adecuadas de celulosa del tallo/hoja de maíz y cascara de *Jatropha curcas* sobre chile serrano *Capsicum annum L.* influyen en su calidad y vida de anaquel, de tal modo que afectara sus propiedades físicas como pérdida de peso, humedad, textura y color; y químicas como acidez titulable, pH y contenido de ácido ascórbico.

#### 1.6 Delimitaciones

- Se definirá la proporción adecuada de fibras de maíz y *Jatropha curcas* en la elaboración de papel.
- Se analizará las características físicas y químicas de los papeles obtenidos.

- Se empleará el papel con las mejores características que mejore la vida de anaquel de chile serrano.

### 1.7 Limitaciones

Las presentes limitaciones restringirán la investigación:

#### a) Falta de instrumentos disponibles para mediciones técnicas

Para la caracterización del papel se requieren instrumentos de medición específicos con los cuales no se cuenta, esto hace que los datos que se proporcionen serán obtenidos mediante el uso o implementación de otros métodos que den datos aproximados.

#### b) Falta de equipo técnico

Debido a la falta de equipo técnico para la elaboración de papel, se elaborará papel a nivel laboratorio con equipos que brinden características similares a los equipos industriales.

## CAPÍTULO II. Antecedentes

### 2.1. Historia del papel

A lo largo de todos los tiempos, el papel ha sido el material más profusamente empleado por los hombres para dibujar y escribir, dos rasgos diferenciales del grado de civilización del ser humano con respecto al resto de componentes de la naturaleza. La aparición del papel se vio forzada por la necesidad de un nuevo soporte de transmisión de información de fácil obtención, manejo y almacenamiento (*Gomez Londoño, 2012*).

Se cree que la invención de la escritura y de la numeración fueron inducidas por la necesidad de inventariar y contabilizar los excedentes de cosechas almacenados en épocas de bonanza por las primitivas culturas sedentarias y agrícolas de Mesopotamia, pero no es hasta el año 3000 a.C. cuando se estima que se descubrió, por parte de los egipcios, de la técnica de obtención de hojas de fibra rudimentarias, las cuales podían ser empleadas para la escritura. Estas hojas estaban confeccionadas a partir de una planta que crecía a la orilla del río Nilo, el papiro. El proceso de obtención de papel consistía en cortar los tallos de papiro y dejarlos reblandecer durante más de 30 días en las fangosas aguas del Nilo, aumentando entonces su flexibilidad. Una vez retiradas del agua, se disponían las fibras de forma entrecruzada, y formando ángulos rectos entre ellas, sobre una rejilla del mismo material y se dejaba secar al sol o cerca de una hoguera hasta su completo secado. El resultado era un soporte propicio para la escritura y de un peso y dimensiones óptimas para su manejo y transporte. El proceso era lento, pues los moldes no se podían reutilizar hasta que la anterior hoja no se hubiese secado, lo que suponía una lenta producción. Aun así, el papiro fue utilizado tanto por las civilizaciones egipcia como griega y romana (*Riscart, 2014*).

La invención del papel tal y como lo conocemos hoy corresponde sin embargo a *Ts'ai Lun*, oficial de la corte del emperador, del que se tiene noticias de que en el año 105 a.C. había descubierto un método de obtención de papel más refinado que el papiro (*Riscart, 2014*).



Figura 1. El papiro como soporte de escritura

Se utilizaban trapos, cáñamo, paja y hierba como materias primas y se golpeaban contra morteros de piedra para separar la fibra original. Aunque con el tiempo ganó terreno la mecanización, hasta el siglo XIX siguieron utilizándose los métodos de producción por lotes y las fuentes de fibra agrícolas (Teschke & Demers, 2005).

Sobre el siglo III d.C., el secreto de la preparación del papel salió de China y se extendió por los territorios vecinos, llegando a Corea, Vietnam y Japón hacia el siglo VI de nuestra era. A partir de ahí, el conocimiento de la técnica papelera fue avanzando hacia occidente, pasando por Asia central, Tibet, India, hasta llegar a manos de los musulmanes, los cuales, en su expansión por Asia Menor, y el norte de África fueron introduciendo el papel en sus dominios y mejorando la técnica. La entrada del papel en Europa se realizó en el siglo VIII, con la invasión árabe de España. A partir de esas fechas, la importancia del papel en toda Europa como medio de comunicación y expresión fue en espectacular aumento, por lo que el pergamino (pieles tratadas de animales), sucesor del papiro, cayó inmediatamente en desuso. La expansión del papel por Europa siguió por Francia, país que se convirtió en gran productor y exportador, y por Alemania (Riscart, 2014).

En el siglo XVI la técnica del papel se introduce en Inglaterra y en el año 1580 se funda la primera fábrica de producción de papel en el continente americano, en Culhuacán, México, de la mano de los españoles (Riscart, 2014). De esa manera, en 1580 ponen en funcionamiento este molino de papel, construido en los terrenos del Convento y Seminario de Lenguas de San Juan Evangelista, en donde

aprovecharon una caída de agua y un manantial para poner en movimiento una rueda, la cual es conocida como rueda aguadora. Esta rueda (elemento desconocido por los indígenas como medio de arrastre) tenía en su centro un eje horizontal a cuyo extremo se encontraban dos levas que levantaban alternadamente un batán de mazo de madera con clavos en las puntas, cuya función era reducir los trapos a pulpa con ayuda del agua. Los molinos de la rueda aguadora tenían como función mover los batanes y moler trapos viejos para la elaboración de papel. Después se secaba el molde de papel, se prensaba para extraerle toda la humedad y se ponían a secar en unos tendedores. Ya secos, se alisaban y pulían con piedras, como el sílex o con bruñidores de madera (*Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2008*).

Hacia el año 1720 el francés Ferchault de Reaumur sugirió que podría utilizarse la madera como fuente de fibras vegetales para la confección del papel. Otro de los inconvenientes existentes, la lentitud en la fabricación de papel fue resuelto a finales de siglo, cuando apareció la primera máquina de producción continua de papel, inventada por Nicholas Robert y comercializada por los hermanos Fourdrinier (*Riscart, 2014*).

Entre 1844 y 1884 se desarrollaron los primeros métodos para la obtención de pasta de madera, una fuente de fibra más abundante que los trapos o las hierbas; estos métodos implicaban la abrasión mecánica y la aplicación de procedimientos químicos a base de sosa cáustica, sulfitos y sulfatos (Celulosa al sulfato). Con estos cambios se inició la era moderna de la fabricación de pasta y de papel (*Teschke & Demers, 2005*).

Durante todo el siglo XX, los métodos de obtención de papel no han sido modificados sustancialmente, pero sí la eficiencia, costo y el respeto al medioambiente de los mismos, gracias al gran avance en nuevos materiales y optimización de procesos (*Riscart, 2014*).

## 2.2 El papel y su composición

La estructura básica de la pasta y el papel es un entramado de fibras de celulosa, un polisacárido con 600 a 1.000 unidades de sacarosa unidas mediante enlaces de

hidrógeno. Una vez separadas del resto de componentes no celulósicos, mediante el proceso de elaboración de la pasta de papel, estas fibras tienen alta resistencia a la tracción, absorben los aditivos empleados para transformar la pasta en papel y cartón, y son flexibles, químicamente estables y blancas. Esos componentes no celulósicos son, en el caso de la madera, principalmente hemicelulosas (con 15 a 90 unidades iguales de sacarosa), ligninas (altamente polimerizadas y complejas, fundamentalmente monómeros de fenilpropano; actúan como aglutinante de las fibras), extractos (grasas, ceras, alcoholes, fenoles, ácidos aromáticos, aceites esenciales, oleorresinas, esteroides, alcaloides y pigmentos colorantes), minerales y otros compuestos inorgánicos (*Teschke & Demers, 2005*).

La principal fuente de fibra para la fabricación de pasta y de papel es la madera de coníferas y de especies arbóreas de hoja caduca. Fuentes secundarias son la paja de trigo, el centeno y el arroz; cañas, como el bagazo; los tallos leñosos del bambú, lino y cáñamo, y fibras de semillas, hojas y cortezas, como las del algodón, el abacá y el henequén o sisal (*Keefe & Teschke, 2005*).

La escasez de recursos forestales, el incremento en los precios de los productos, la creciente preocupación por el medio ambiente ha provocado un creciente interés por la reutilización de fibras no maderables como fuente de materia prima para la industria (*Calle Estrada, Fernández Lijerón, Godoy Tórrico, Sempertegui Heredia, & Patiño Méndez, 2014*).

La mayor proporción de pulpa se fabrica a partir de pulpa de madera, aproximadamente un 89% de la producción total, por lo que sólo un 11% se fabrica a partir de otras fibras (*Prias, 2018*). Las pastas celulósicas se clasifican por la longitud de la fibra, y por el proceso de obtención:

- a. De fibra corta (entre 0.7 y 2 mm): se obtienen de especies forestales como eucalipto, álamo y sauce, y de otros vegetales o desechos agrícolas como la paja de trigo, bagazo de caña de azúcar, bambú, etc.
- b. De fibra larga (entre 2 y 5 mm): se obtienen de coníferas (pinos, araucarias), de algunos insumos a base de algodón (trapos de fibra de punto), y de vegetales como lino, cáñamo y yute.

## 2.3 Tipos de papel

Bajo el nombre genérico de “papel” se presenta un amplio abanico de productos con muy diferentes aplicaciones y usos. En general puede realizarse una clasificación de los tipos de papel según el uso al que se destine.

### 2.3.1 Papel de embalaje o de empaquetar

Comprende todos los papeles destinados a contener, proteger y presentar al público cualquier clase de mercancía. El termino de papel para empaquetar tiende a ser usado para papeles de menor calidad u ordinarios mientras que el papel para envolver se le asigna el papel de mejor calidad o para usos especiales, como papel cristal, papel para mantequilla, papel de seda, etc. (*Cámara Argentina de papel y afines, 2017*).

#### 2.3.1.1 Papel Kraft

El papel kraft está formado con un tipo de pasta química especial. Se usa para fabricar sacos de gran tamaño y bolsas de papel por las propiedades que tiene: resistencia a la tracción, alargamiento y rotura (*Fundación vida sostenible, 2010*).

#### 2.3.1.2 Papel kraft blanco

Sus propiedades son similares a las del papel kraft, pero como por su color claro se usa para casos en que el aspecto del papel y la facilidad para imprimir sobre el, tienen notable importancia. Su gramaje va desde los 20 a 120 g/m<sup>2</sup>. Se emplea especialmente para bolsas y embalaje (*Cámara Argentina de papel y afines, 2017*).

#### 2.3.1.3 Papel sulfito

Se utiliza envolviendo cada una de las frutas contenidas en su caja correspondiente. Ideal para estar en contacto con frutas frescas, protege a las frutas de la deshidratación, conservándolas en óptimo estado y logrando realzar la presentación de la misma (*Propel Mendoza S.R.L, 2018*).

#### 2.3.1.4 Papel sulfurizado

Llamado también pergamino o pergamino vegetal, se obtiene sometiendo una hoja de papel de buena calidad, durante algunos segundos a la acción de un baño de

ácido sulfúrico, que hidroliza la celulosa y la transforma parcialmente en amiloidea, materia gelatinosa e impermeable. Después de un lavado completo y secado, este papel es mucho más resistente que el papel original, es traslúcido, impermeable a las grasas y, en gran medida, al agua y a los gases. El papel sulfurizado se utiliza como envase protector de grasas (tales como la mantequilla o la manteca) otros artículos como la dinamita, como membrana para ósmosis o diálisis, como papel para diplomas o para dibujar (*Amador, Zavala Carlos, & García, 2016*).

#### 2.3.1.5 Papel parafinado

El papel parafinado es un embalaje eficaz y económico que protege sus productos frente a la humedad, el agua y las grasas. Se emplea para confeccionar vasos de papel y embalajes de varias clases para productos alimenticios (*CGP Coating innovation, 2013*).

#### 2.3.2 Papel de impresión y escritura

Se agrupan clases de papel muy diferentes: por su composición fibrosa, que va desde el papel de trapo hasta aquel cuyo principal componente es la pasta mecánica de madera; por el gramaje, que cubre toda la gama de papeles; por el tratamiento superficial, porque hay papeles sin estucar y estucados, papeles encolados o no encolados en la superficie; papeles rugosos y lisos, papeles brillantes y mates. Pero todos deben ser aptos para ser impresos correctamente por el procedimiento a que se destinan y deben proporcionar una reproducción sin defectos (*Cámara Argentina de papel y afines, 2017*).

##### 2.3.2.1 Papel prensa

El papel prensa es un papel sin estucar de bajo gramaje (entre 42 y 52 g/m<sup>2</sup>) destinado a la impresión de diarios y periódicos. Elaborado con pasta mecánica de alto rendimiento, conservan la mayor parte de la lignina de la madera. es uno de los papeles más baratos del mercado, el blanqueo necesario es mínimo, posee una buena opacidad. Este papel logra una gran lisura superficial y cierto brillo, lo que lo hace apto para la impresión de revistas de bajo precio / calidad (*Herrera, 2008*).



#### 2.3.2.2 Papel autoadhesivo

El recubierto por una de las caras con un adhesivo a base de resina o cauchos sintéticos, capaz de adherirse inmediatamente y sin otra preparación a las superficies con las que se ponga en contacto. Puede presentarse en forma de etiquetas, cuya parte adhesiva está recubierta con una hoja no adhesiva, como papel autoadhesivo, que hay que separar en el momento del uso; o también, en forma de cinta enrollada, y en este caso el mismo dorso de la cinta ha sido tratado para hacerse autoadhesivo (*Cámara Argentina de papel y afines, 2017*).

#### 2.3.2.3 Papel bond

Es de alta calidad y muy resistente, no tiene ningún tipo de recubrimiento y lo podemos encontrar en color blanco y colores. Una de sus características principales es que es más pesado que los demás papeles. Su gramaje se encuentra entre el rango de 70 a 100 g/m<sup>2</sup> (*Grupo Pochteca, 2015*).

#### 2.3.2.4 Papel satinado

El papel satinado es aquel que se caracteriza por ser brillante y muy liso. Se puede identificar un papel satinado ya que se diferencia por la ausencia de poros y gran suavidad. Para que al papel satinado sea tan liso es necesario que sea sometido a una fuerte presión y de este modo reducir cualquier aspereza que pueda presentarse (*Bolsalea, 2016*).

#### 2.3.2.5 Papel carbón

El recubierto, generalmente por una sola cara, con una capa pigmentada y transferible mediante presión, que se emplea para obtener copias simultáneas de un original mecanográfico o manuscrito. El papel carbón es muy fino y ligero con gramaje comprendidos entre 10 y 20 g/m<sup>2</sup> (*Cámara Argentina de papel y afines, 2017*).

#### 2.3.2.6 Papel estucado

Es el papel más utilizado en la publicación de revistas, dípticos y publicidad en general. También es conocido popularmente como papel couché. El papel estucado

brillo es un papel sin poro, de tacto y aspecto satinado y brillante que potencia las tonalidades y matices de las ilustraciones (*Digital papel, 2018*).

### 2.3.3 Otros tipos de papel

#### 2.3.3.1 Papel para usos higiénicos y sanitarios

Este tipo de papel se transforma, en procesos posteriores, en una amplia gama de productos entre los que se incluyen los rollos higiénicos, las servilletas, pañuelos, etcétera. Es un papel resistente y necesita, al entrar en contacto con superficies húmedas, que, en su proceso de producción, se le cubra con un determinado baño de resinas especiales con las que aguantar, hasta cierto grado, la humedad (*Acite consultores, 2002*).

#### 2.3.3.2 Papel filtro

Este tipo de papel se utiliza para separar sustancias de diferentes estados físicos. Son materiales porosos y absorbentes. La estructura fibrosa de los papeles de filtro forma un sistema capilar, cuyos espacios intercapilares dependen, tanto en tamaño y en número de las materias primas utilizadas (*Sartorius AG, 2017*).

#### 2.3.3.3 Papel reciclado

Las fibras de la pasta de papel reciclado son generalmente más cortas, menos flexibles y menos permeables, por consiguiente, no pueden utilizarse en productos de papel de alta calidad (*Teschke & Demers, 2005*).

## 2.4 Obtención de la pulpa de papel

La obtención de la pasta de celulosa se basa en la separación de las fibras naturales (compuestas básicamente por celulosa) por medios mecánicos (mediante la acción de molinos y refinadores) y/o químicos (disolviendo la lignina que mantiene unidas a las fibras). En el cuadro 1 se resume los principales procesos de fabricación de pasta existentes, así como su rendimiento.

### 2.4.1 Proceso mecánico

El proceso mecánico consiste en forzar la madera contra una piedra de molino que gira a alta velocidad, utilizando prácticamente toda la fibra que incluye no solo la celulosa sino también la lignina; la lignina es disuelta en distinto grado, de modo que

el rendimiento de estas es, aproximadamente, la mitad del de una pulpa química (Torres, 2000).

#### 2.4.2 Proceso termomecánico

En este método de producción, los troncos se cortan en astillas. Las astillas son lavadas para eliminar cualquier resto de arena o polvo que pudiera desgastar o desgarrar la maquinaria. Seguidamente, las astillas se calientan mediante vapor para ablandarlas y son introducidas con agua a presión en el refinador. El refinador consta de dos discos de contra-rotación, ambos con canales radiales desde el centro hasta el borde exterior. Los mencionados canales van estrechándose conforme se aproximan al borde del disco. Las astillas reblandecidas son introducidas entonces por el centro y, gracias a la acción de los discos, se separan en fibras individuales al alcanzar el borde exterior de éstos. Las fibras no desprendidas completamente se desechan en la etapa de cribado, enviándose al refinador de desechos para su posterior tratamiento (SCA, 2010).

#### 2.4.3 Proceso sulfito neutro

El objetivo es ablandar la lignina, el objetivo de este método es no fragmentar totalmente la molécula de lignina. El sulfito se obtiene mezclando dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) sobre una solución alcalina (Nuñez, 1982)

#### 2.4.4 Proceso alcalino

Este proceso combina buena calidad con bajo costo. El procedimiento es sencillo, la madera se astilla y se lleva a cabo una cocción con sosa caustica para separar la lignina, la pulpa obtenida es de gran resistencia debido a la calidad y longitud de sus fibras, pero aún es oscura, aunque puede usarse así para la fabricación de cartón (López, 2018).

#### 2.4.5 Proceso sulfito

Existen varios procesos, pero todos involucran la cocción de las astillas en compuestos de sulfito. Este proceso produce una pasta más clara, débil y suave (Milena & Fuentes, 2012).

El proceso de producción se lleva a cabo mezclando en el digestor las astillas de madera, previamente prevaporizadas con el licor de sulfito. Se calienta el digestor hasta la temperatura de cocción, utilizando una inyección de vapor. Cuando el proceso de digestión finaliza, se retira el vapor residual hacia un acumulador para ser aprovechado, e la mezcla de astillas y licor gastado se descarga del digestor. El licor agotado se separa de la pulpa a través de los orificios existentes en el recipiente que las contiene; este licor agotado se regenera y se vuelve a utilizar en sucesivos ciclos. La pulpa obtenida se cierne para retirar los sólidos residuales (*Textos científicos, 2005*).

#### 2.4.6 Proceso sulfato

El procedimiento de operación en una fábrica de pulpa de tipo Kraft es similar al proceso del sulfito. Primero se cargan en el digestor las astillas y el licor blanco, simultáneamente para obtener una buena mezcla de ambos, y en proporción adecuada para la obtención del rango licor/madera elegido. A continuación, se calienta el digestor por vaporización directa hasta llegar a temperaturas de entre 160 y 180°C, manteniéndose estas condiciones hasta alcanzar el grado deseado de cocción. Una vez terminada la cocción la mezcla de pulpa y astillas no digeridas salen del digestor y se separan por cernido, siendo devueltas al digestor las partículas de mayor tamaño, y se separa la pulpa, que a continuación pasa a una etapa de lavado. El licor gastado, denominado licor negro, se pasa al ciclo de regeneración; allí, se mezcla con sulfato sódico y se oxida, para evitar olores indeseables (provenientes de compuestos sulfurosos). Una vez oxidado se incinera en un horno de recuperación, produciéndose una ceniza que contiene carbonato sódico y sulfuro sódico, los cuales se caustifican por agregado de cal apagada; de aquí se obtiene carbonato cálcico, que se regenera a cal viva por combustión (*Textos científicos, 2005*).

Cuadro 1. Principales procesos de obtención de pasta de papel

Proceso	Tipo de pasta	Procedimiento	Rendimiento %
---------	---------------	---------------	------------------

Mecánico	Mecánica	Desfibrado mediante la acción de dos discos que giran en sentido contrario.	93 - 98
	Termomecánica	Procedimiento mecánico, con aplicación de calor para debilitar la unión entre fibras.	91 – 95
Semiquímico	Sulfito neutro (NSSC)	Tratamiento químico (adición de sulfito y bicarbonato sódico) previo al desfibrado mecánico.	65 – 90
Químico	Kraft ó al sulfato	Degradación de la lignina mediante una mezcla de sulfuro e hidróxido sódico.	40 – 55
	Sulfito	Degradación de la lignina mediante mezclas de sulfito sódico con distintas bases.	45 – 60
	Alcalina	Degradación de la lignina por la acción de hidróxido sódico.	45 – 50

## 2.5 Caracterización del papel

### 2.5.1 Determinación de gramaje

El gramaje es el peso por unidad de área expresado en gramos por metro cuadrado ( $\text{g/m}^2$ ) (*Nmx-n-001-scfi-2011*).

El gramaje es importante en la calidad cuando se desea imprimir sobre el papel, ya que dependiendo de este valor (nunca se deben utilizar gramajes inferiores a  $80 \text{ g/m}^2$ ), pueden presentarse manchas, sombras, colores poco precisos, apagados, descoloridos o la tinta no se absorbe bien durante la impresión.

### 2.5.2 Dureza del papel o resistencia al rasgado

Medida de la capacidad del papel para soportar el desgarramiento. Esta característica es importante ya que, a menor valor, el papel es más sensible a la

rotura. También es importante ya que así podemos comparar respecto a otros papeles y conocer su aplicación.

### 2.5.3 Espesor del papel (calibre)

El calibre llamado también espesor, se define como el grosor de la hoja de papel y se mide en milímetros (mm). El calibre está relacionado con la porosidad, la densidad relativa y el cuerpo del papel.

El espesor es una propiedad muy importante desde el punto de vista de la transformación y el uso final del papel. Su importancia se debe a que, al variar el espesor, el manejo del papel en algunas máquinas se dificulta; además se ven afectadas casi todas las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel, pudiendo provocar problemas en su uso, las variaciones altas del espesor. Normalmente se determina el espesor del papel para comprobar si corresponde al valor solicitado al comprarlo, sin embargo, resulta mucho más interesante comprobar la uniformidad del espesor en diferentes puntos de una hoja y de una hoja a otra de una misma partida (*Investigación gráfica, 2017*).

### 2.5.4 Observación microscópica

En esta prueba se observa al microscopio las fibras del papel, así mismo se puede observar la alineación de las fibras de celulosa de los diferentes papeles.

### 2.5.5 Determinación del contenido de cenizas

Las cenizas contenidas en una muestra pueden consistir de: varios residuos de químicos usados en su manufactura, material metálico de la maquinaria utilizada, materia mineral en la pulpa de la cual el papel fue hecho, recubrimientos, rellenos, pigmentos y otros materiales adheridos, la cantidad y composición de las cenizas es función de la presencia o ausencia de cualquiera de estos materiales u otros, solos o en combinación. (*Universidad Autónoma de Nuevo León, 2018*).

### 2.5.6 Determinación de humedad

La celulosa, la cual tiene como característica natural el ser altamente higroscópica; se debería partir del hecho de que un papel, al momento de ser fabricado, se considera con un porcentaje de humedad prácticamente nulo. Esto hace que el

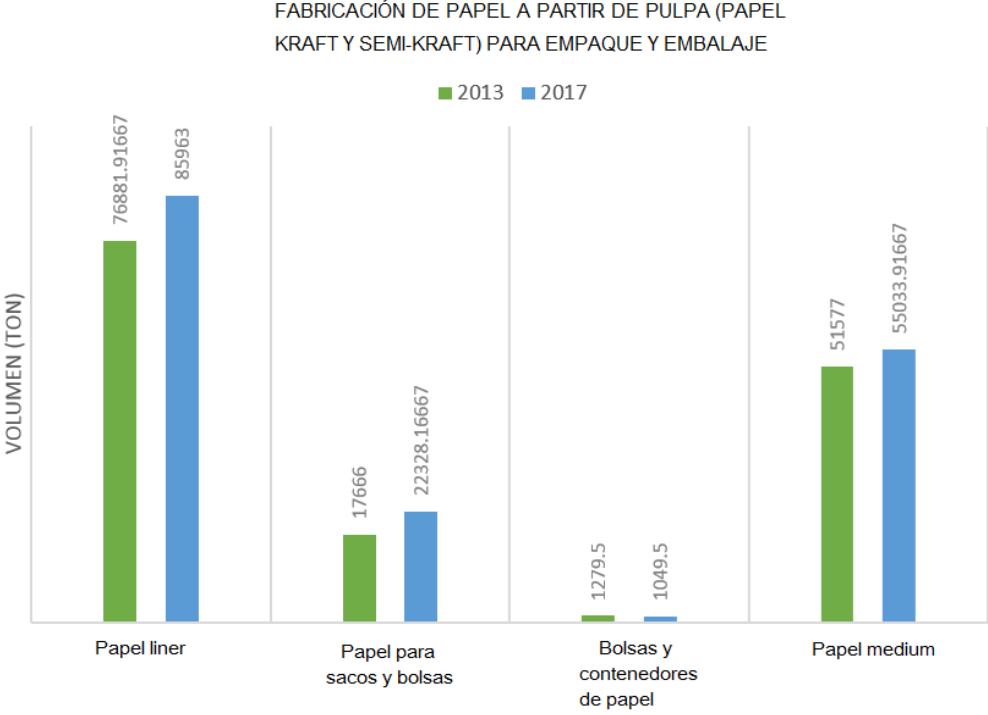
papel fabricado tenga una mayor resistencia al ser más rígido. Es importante conocer el contenido de humedad para saber si tendrá baja o alta resistencia durante su uso.

2.5.7 Absorción de agua

Esta capacidad es alcanzada manteniendo un alto grado de porosidad en la hoja, así como una superficie texturizada. Sin embargo, estas dos condiciones afectan el resto de las propiedades del papel, así un alto nivel de porosidad va de la mano con una baja densidad, lo que significa un bajo nivel de unión entre las fibras y que se ve reflejado en una baja resistencia del papel (Jimeno López & López Saucedo, 2007).

2.6 Producción de papel en México

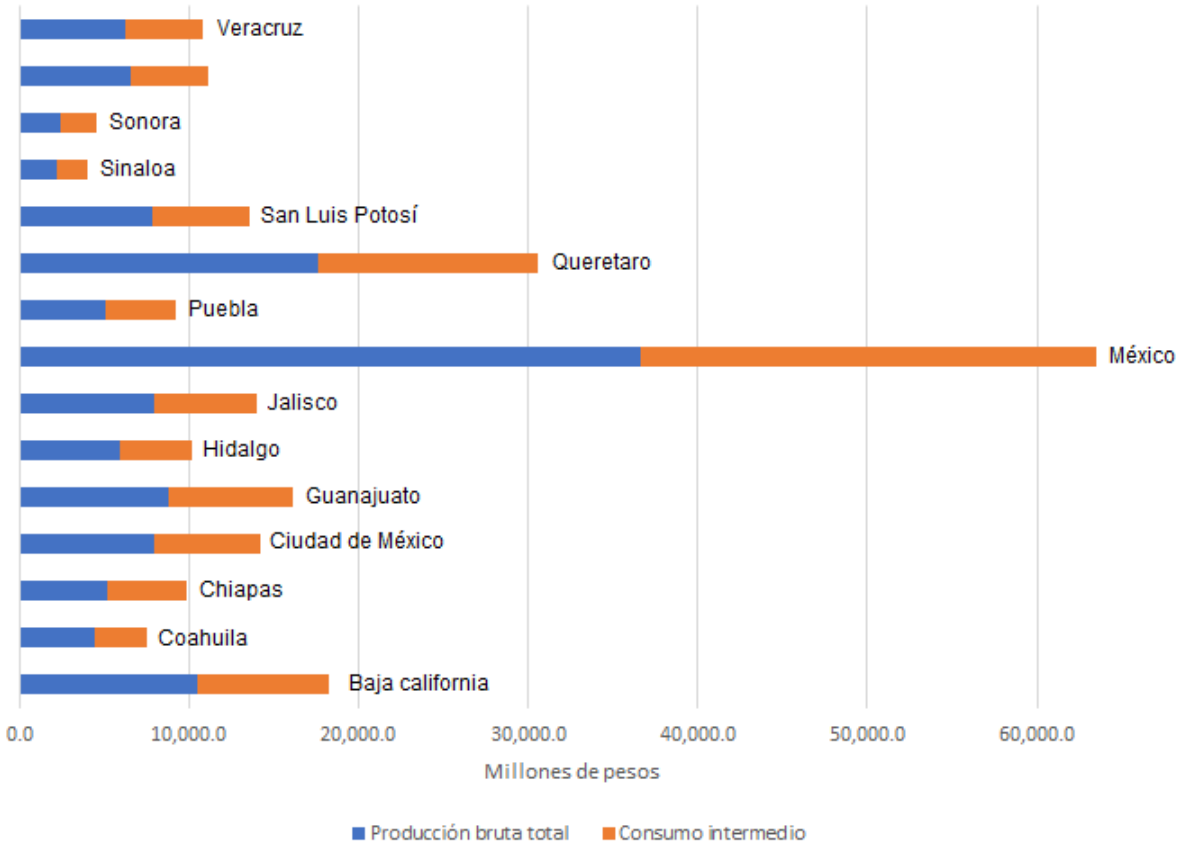
La encuesta mensual de la industria manufacturera recaba información sobre la industria del papel. A continuación, se muestra la gráfica del volumen promedio de la fabricación de papel a partir de pulpa (papel Kraft y semi-kraft) para empaque y embalaje en toneladas.



Gráfica 1. Encuesta mensual manufacturera (INEGI, 2014)

El papel liner, el cual es un tipo de papel laminado que se usa en la producción de cartón corrugado y cajas de cartón corrugado como parte externa de éstos o tapa, y el papel médium el cual es el papel que, ondulado o “corrugado” por máquina especial, proporciona al cartón mayor espesor, resistencia a la estiba y cierta elasticidad al aplastamiento plano. Con excepción del “cara simple” (unido a un papel plano), el medium se encuentra entre dos papeles planos conocidos como liner tienen mayor producción en la industria de empaque y embalaje. En general, la producción de papel a partir de pulpa para empaques y embalajes ha aumentado en los últimos años a excepción de las bolsas y contenedores de papel, los cuales disminuyó su producción.

Por otra parte, en la gráfica 2 se muestra que el Estado de México es el mayor productor y consumidor (en millones de pesos) en la industria del papel, seguido por el Estado de Querétaro.



Gráfica 2 Producción bruta total y consumo intermedio de papel en México (INEGI, Censos económicos 2014)



## 2.7 *Jatropha curcas*

México es un país de gran biodiversidad que alberga un alto número de plantas autóctonas, cuyo potencial se desconoce debido a la escases de estudios. Una de estas plantas poco investigadas es el piñón o piñoncillo (*Jatropha curcas* L.) Esta planta es un miembro de la familia *Euphorbiceae* que se localiza en climas tropicales y semitropicales. *Jatropha curcas* es considerado nativo de México y Centroamérica, fue trasladada a otros lugares del mundo durante épocas de la colonia y donde le fueron encontrados diversos usos (Montes López, 2008; Zamarripa Colmenero, Pecina Quintero, Avendaño Azarrate, Solís Bonilla, & Martínez Valencia, 2010).

El piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.), oleaginosa aún no importante en la cadena de alimentación humana o animal, es considerado una materia prima potencial para el Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel (Teniente Oviedo et al., 2011).

El aceite de las semillas de *Jatropha curcas* (30-40 %) es transformado en biodiesel mediante el proceso de esterificación. En el caso de variedades tóxicas de *Jatropha*, el aceite puede ser transformado en biopesticidas. Los subproductos en la elaboración de biodiesel con aceite de *Jatropha* pueden ser glicerina, fertilizantes orgánicos, entre otros que resultan de la extracción de aceite (Montes López, 2008). Como materia prima en la industria del biodiesel, *Jatropha curcas* L., es una planta que presenta ventajas competitivas frente a otras oleaginosas, tales como sus bajas exigencias a nivel agronómico, pudiendo ser sembrada en suelos degradados y aportando a su recuperación; así mismo, es compatible con otro tipo de cultivos (Martínez Herrera, Siddhuraju, Francis, Dávila Ortíz, & Becker, 2006).

### 2.7.1 Principales subproductos

Los principales subproductos obtenidos del proceso de producción de biodiesel a partir de *Jatropha Curcas* son: cáscara del fruto, cáscara de semillas, harinas y glicerina. La cáscara de semillas y frutos pueden ser aprovechados para generar energía en forma directa mediante combustión en calderas u hornos; o siendo utilizadas como materia prima en otros procesos como digestión anaeróbica y pirólisis. La generación de composta es otro de los potenciales usos de las cáscaras

debido a que la aplicación directa de estas puede producir alteraciones negativas en el suelo debido a su toxicidad. Inoculando con microorganismos lignocelulósicos a razón de 300 gramos por tonelada, han llegado a reducir la toxicidad en un 80%, luego de 4 meses de tratamiento (*Roberto Huerga, 2010*).

### 2.7.2 Clasificación taxonómica

Reino: *Plantae*; División: *Magnoliophyta*; Clase: *Magnoliopsida*; Orden: *Malpighiales*; Familia: *Euporbiaceae*; Subfamilia: *Crotonoideae*; Tribu: *Jatrophaeae*; Género: *Jatropha*; Especie: *curcas* Linneo (*Teniente Oviedo, y otros, 2011*).

### 2.7.3 Clasificación botánica

Es un arbusto de crecimiento rápido, cuya altura promedio es de dos a tres metros, pero puede alcanzar los seis metros. Los tallos crecen con una discontinuidad morfológica en cada incremento, es un cilindro verde robusto que produce ramas con savia láctea o rojiza viscosa. Normalmente se forman 5 raíces, 1 central y 4 periféricas. Las hojas son ovadas, tienen pecíolos largos con una longitud de 10 a 15 cm y una anchura de 9 a 15 cm, se colocan de forma alterna a subalterno opuesto con una filotaxis espiral, se caen durante la época seca. Cordadas en la base con 5 nervaduras y pubescentes en las nervaduras del envés. Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas de las ramas, son verdosas o blanco-amarillas de 10 a 25 cm de largo y con un pedúnculo de 4 a 10 cm de largo. Las flores femeninas presentan brácteas acuminadas y las masculinas presentan brácteas ovoides y pedicelos pubescentes. Después de la polinización, se forma una fruta trilocular de forma elipsoidal. Los frutos son cápsulas inicialmente de color verde, pero se vuelven café oscuro o negro cuando maduran. Las cápsulas de los frutos son de 2.5 a 4 cm de largo por 2 cm de ancho, elipsoidales y lisas que cuando maduran van cambiando a amarillas. Al inicio del desarrollo son carnosas pero dehiscentes cuando se secan. Cada inflorescencia presenta aproximadamente 10 frutos o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. Cada fruto tiene tres almendras negras, cada una aproximadamente de 2 cm de largo y 1 cm de diámetro. La semilla es cosechada

cuando la cápsula está madura y esta cambia de verde a amarillo (Octagón, S. A., 2018).

#### 2.7.4 Aplicaciones biológicas

*Jatropha curcas* es una especie vegetal promisoría, con utilidad en el control de plagas a partir del uso de principios activos obtenidos de diferentes partes de la planta que pueden controlar de manera eficiente hongos, parásitos y otros organismos que afectan el crecimiento y la producción de cultivos de importancia económica. Reemplazar plaguicidas sintéticos por sustancias vegetales representa una alternativa viable porque son económicos, se descomponen rápidamente y a pesar de ser tóxicos no tienen un efecto residual prolongado; sin embargo, es necesario utilizarlos con la misma precaución que los plaguicidas químicos. Las reacciones de planta a hongo se fundamentan en la presencia de una sustancia antifúngica con un mecanismo de defensa que induce la lignificación de las paredes celulares (Pabón & Hernández Rodríguez, 2012).

*Jatropha curcas* ha sido utilizada en procesos de fitorremediación de suelos contaminados principalmente por aceites lubricantes usados en los automóviles. La planta ofrece una alternativa de recuperación del suelo rentable y viable con el medio ambiente (Pabón & Hernández Rodríguez, 2012).

Las cáscaras de los frutos y semillas pueden ser utilizadas en procesos de generación de energía (combustión, pirólisis) debido al elevado poder calorífico que poseen. Se contabilizan 3 semillas por fruto. Este debe ser triturado para poder extraer la semilla que representa el 63.2% (el 36.8% corresponde a la cáscara de fruto). La carcasa presenta alto contenido de fibras respecto a la semilla (85 % vs 3.5%), y un poder calorífico de 19.5 MJ/kg lo que permite que la misma pueda ser utilizada como combustible directo o en forma de briquetas. La semilla es de color oscuro, con longitud que alcanza los 2 cm. En 1 kg de semilla se puede encontrar cerca de 1375 unidades. Posee una cáscara que representa un 35-40 % del peso, la cual debe ser extraída para optimizar el proceso de extracción de aceite. Las cáscaras no poseen aceite, logrando de esta forma ser descartadas previo al proceso de extracción a los fines de optimizar el mismo (Roberto Huerga, 2010).

### 2.7.5 Tratamiento de residuos

Los principales residuos generados en la producción de biodiesel a partir de semillas de *Jatropha Curcas* son: cáscara del fruto, cáscara de semillas, harinas y glicerina. Estos pueden transformarse en subproductos en caso de que sean utilizados en otras aplicaciones, generando un valor adicional a la cadena de producción. Otras aplicaciones reportadas en cáscaras de fruto y semillas son formación de briquetas, uso como materia prima en el proceso de pirólisis y alimentación en digestor anaeróbico (*Roberto Huerga, 2010*).

Extractos obtenidos de la semilla, las hojas, la corteza y el aceite de *J. curcas* han mostrado acción eficaz como purgante natural. La actividad antiinflamatoria y la utilización como tratamiento del reumatismo ha sido evidenciado mediante la utilización de las hojas de la planta sobre la región afectada. Los tallos de *J. curcas* se han utilizado para elaborar cepillos de dientes con el fin de fortalecer las encías, reducir y evitar la presencia de abscesos. La raíz se ha utilizado para el tratamiento de la neumonía, la sífilis y como abortivo, purgante y desinflamatorio local. Las semillas son la base de muchos medicamentos que se utilizan para la ascitis, la gota y enfermedades de la piel. El látex se ha utilizado para promover la curación de heridas, úlceras y como astringente en cortes y lesiones. La utilización de la planta en medicina tradicional y el uso veterinario se ha reportado en India, África y América Latina. En Egipto se utilizan las semillas para artritis, gota e ictericia. En Malí, Nigeria, Camerún, Camboya, Filipinas y Malasia las hojas se han utilizado para la malaria, la ictericia, el reumatismo, la diarrea, como purgante y cicatrizante respectivamente. Las mujeres en Sudán emplean los frutos y las semillas como abortivos y anticonceptivos. En México el látex ha mostrado actividad contra infecciones causadas por bacterias, hongos, picaduras de abejas y avispas (*Pabón & Hernández Rodríguez, 2012*).

### 2.7.6 Toxicidad

En los frutos y semillas se han reportado propiedades contraceptivas. Las semillas enteras contienen entre 35 y 38% de aceite, y las semillas descascaradas y frescas alrededor de 37%. El aceite es incoloro, inodoro y muy fluido. Si se consume en dosis elevadas, el aceite produce alteraciones en el tracto gastrointestinal, que se

manifiestan en malestar, vómitos y gran sudoración, y puede incluso sobrevenir la muerte (*Toral et al., 2008*).

La corteza, el fruto, las hojas, las raíces y la madera contienen cianuro. En las semillas está presente el alcaloide curcina, el cual las hace fatalmente tóxicas. Aunque el tostado elimina los efectos perjudiciales, el consumo de semillas frescas o aun parcialmente tostadas puede ser fatal; de ahí que su uso como alimento no se recomiende. Las bebidas alcohólicas son el contraveneno de los efectos tóxicos (*Anon, 2001*).

## 2.8 Maíz (*Zea mays*)

El maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano. Las más antiguas civilizaciones de América –desde los olmecas y teotihuacanos en Mesoamérica, hasta los incas y quechuas en la región andina de Sudamérica– estuvieron acompañadas en su desarrollo por esta planta (*Serratos Hernández, 2009*).

El maíz, *Zea mays L.*, es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las *Poáceas* (Gramíneas), tribu *Maydeas*, y es la única especie cultivada de este género (*Paliwal, Granados, Lafitte, & Violic, 2001*).

### 2.8.1 Aplicaciones

El maíz tiene usos múltiples y variados. Es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las espigas jóvenes del maíz cosechado antes de la floración de la planta son usadas como hortaliza. Las mazorcas tiernas de maíz dulce son un manjar refinado que se consume de muchas formas. Las mazorcas verdes de maíz común también son usadas en gran escala, asadas o hervidas, o consumidas en el estado de pasta blanda en numerosos países. La planta de maíz, que está aún verde cuando se cosechan las mazorcas baby o las mazorcas verdes, proporciona un buen forraje (*Paliwal, Granados, Lafitte, & Violic, 2001*).

En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o importa se destina al consumo humano. En este sentido, el maíz ha sido y sigue siendo un factor de sobrevivencia para los campesinos e indígenas que habitan en la mayoría de los países del continente americano (*Serratos Hernández, 2009*).

#### 2.8.2 Taxonomía del maíz

Se reporta la siguiente clasificación taxonómica del maíz (*Zea mays*):

Familia: gramíneas o Poaceae; género: *Zea*; reino: *Plantae*; división: *Angiosperma*; clase: *Monocotiledónea*; Subclase: *Apétala*; orden: *Poales*; género: *Zea*; especie: *Zea mays*; Nombre común: Maíz (*Zúñiga, 1989*).

#### 2.8.3 Clasificación botánica

El maíz (*Zea mays L.*) es una gramínea anual, robusta, de crecimiento determinado, de 1 a 5 m de altura, un solo tallo dominante, puede producir hijos fértiles, sus hojas alternas son pubescentes en la parte superior y glabra (sin pelos o bellos, hojas lisas) en la parte inferior. Planta monocotiledónea que pertenece a la familia gramíneas (*Poaceae*), Tribu *Mayda*, con dos géneros: *Zea* y *Tripsacum*. El género *Zea* tiene además de la especie *Z. mays* (maíz común), cuatro especies conocidas como *Teosintes* (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*). El maíz, es una planta monoica (produce flores masculinas y femeninas en distintos órganos de la planta), con flores femeninas en mazorcas laterales, flores masculinas que surgen de uno a dos días antes de la floración femenina. De polinización libre y cruzada, con gran producción de polen (25 a 30 mil granos por óvulos); granos en hileras incrustados en la tusa; mazorcas cubiertas por hojas; granos de tipo cariopsis (no tiene membrana); metabolismo fotosintético (*Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, 2010*).

#### 2.8.4 Residuos del maíz

El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. El resto, corresponde a diversas

estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros (*Pasturas de América, 2018*).

Para el maíz la relación entre grano y residuos se refleja a través del índice de cosecha. Con base a este índice de cosecha se estima que un rendimiento de 1 tonelada de grano corresponde a 2 toneladas de residuos (*Scopel, 1996*).

Por otra parte, de acuerdo a *Velázquez et al., (2001)*, el uso de los residuos de cultivo varía en forma considerable entre y dentro de regiones, y su uso no lo limita simplemente como mantillo. Con respecto a la cantidad de residuos que quedan sobre el terreno al final del ciclo, su presencia está sujeta a una mayor variación condicionada por el tiempo de exposición de los residuos sobre el terreno y las condiciones de manejo y clima de cada localidad.

En México, el aprovechamiento de residuos de maíz no se restringe simplemente a su utilización como mantillo, debido a que su uso puede variar en forma considerable entre e incluso dentro de regiones (*Erenstein, 1997*).

La alimentación del ganado con los residuos de maíz como fuente de forraje es común durante la estación seca y puede ser a través del pastoreo directo, o bien, mediante la extracción total del rastrojo fuera de la parcela. En algunas regiones, el residuo se deja sobre el terreno y se incorpora mediante el arado, debido a que su valor económico es mínimo, y, en otras regiones, el residuo se quema para “limpiar” la parcela. En México, la información sobre el manejo de residuos es limitada. De acuerdo a *Velázquez et a., (2001)* los residuos presentes sobre el suelo después de la siembra están constituidos, principalmente, por restos de hojas, tallos y coronas de raíces de maíz y al final del ciclo la composición es, principalmente, de restos de tallos semidescompuestos. La cantidad de residuos que queda sobre el terreno al final del ciclo está en función de la temperatura del lugar y de la cantidad inicial de residuo que se haya dejado. En regiones templadas con temperaturas bajas, la conservación del residuo es mayor que en las regiones tropicales y subtropicales.

### 2.9 Chile serrano (*Capsicum annum L*)

La tradición del consumo de chile en México ha perdurado desde tiempos prehispánicos y forma parte de la dieta diaria de los mexicanos, junto con los productos derivados del maíz (*Zea maíz L.*), calabaza (*Cucurbita pepo L.*), frijol

(*Phaseolus vulgaris* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y otros productos más (Castellón, Chávez, Carrillo, & Vera, 2012).

México es considerado centro de origen del chile (*Capsicum annuum* L.) el cual se encuentra ampliamente distribuido en toda la República Mexicana (ASERCA, 1998).

El chile serrano (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza de importancia comercial en México en donde la forma más popular de consumo es en fresco, por lo que la calidad del fruto y su persistencia poscosecha son factores importantes en la calidad comercial, la duración de la vida de anaquel y las pérdidas poscosecha del producto (Martínez Zambrano, Dorantes González, Ramírez Meraz, & Pozo Campodónico, 2005).

En la mayoría de los casos, las pérdidas aumentan debido al manejo inadecuado que recibe el producto después de que sale del campo; en particular los productos hortícolas son altamente perecederos porque las pérdidas de firmeza y peso son rápidas, y los frutos sufren cambios de color durante periodos largos de almacenamiento que aceleran el deterioro de la calidad y la pérdida de su valor comercial, por lo que se consideran de corta vida de anaquel (Martínez Zambrano, Dorantes González, Ramírez Meraz, & Pozo Campodónico, 2005).

Debido a su amplio rango de adaptación, el chile serrano se produce comercialmente a nivel del mar en las regiones de las costas del Golfo (Tamaulipas y Veracruz) y del Pacífico (Nayarit-Sinaloa), hasta arriba de los 2,000 msnm en los estados de Hidalgo y San Luis Potosí, cubriendo un amplio rango de condiciones ambientales desde el trópico húmedo, trópico seco, templado y semiárido. Estas cualidades de adaptación han permitido el abasto de frutos frescos a los centros de consumo del país durante todo el año, lo que posibilitó convertir al serrano en uno de los chiles más populares de México (Horticultivos, 2010).

### 2.9.1 Taxonomía

Los estudios taxonómicos coinciden en que son cinco las especies cultivadas en México: *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. annuum*, (Pickersgill, 1984; Pozo, 1991), de las cuales ésta última es la más importante



debido a que agrupa la mayor diversidad de chiles (*Pickersgill, 1984*). Esta especie agrupa a la mayoría de los tipos cultivados en México, entre los que destacan: ancho, serrano, jalapeño, piquín, anaheim, morrón, mirasol, pasilla y mulato; además, presenta la mayor variabilidad en cuanto a tamaño, forma y color de los frutos, los cuales pueden variar de 1 a 30 cm. de longitud, con formas alargadas, cónicas o redondas y cuerpos gruesos macizos o aplanado. Los frutos presentan coloración verde o amarilla cuando están inmaduros; roja, amarilla, anaranjada y/o café en estado maduro (*Anguiano Barrales, 2010*).

Con gran cantidad de variedades; se diferencia entre ellos por sus tonalidades del color, (amarillos, anaranjados, rojos o verdes), por el sabor (amargo, salado, ácido y dulce) y por la forma (alargados, rectangulares o redondeados) (*Anguiano Barrales, 2010*).

#### 2.9.2 Características botánicas

Es herbáceo y crece de manera arbustiva, con un solo tallo y muchas ramas ascendentes extendidas.

Tallos: verdes, costillados, pubescentes con pelos incurvados de 0.4 mm de largo. Hojas: solitarias o en pares, lanceoladas, de 2-8 cm de largo, 1-3 cm de ancho, esparcidamente pubescentes en ambas superficies a glabras, el ápice acuminado, la base cuneada y abruptamente acuminada en el pecíolo; pecíolos de 5-20 mm de largo. Inflorescencias axilares: de una sola flor; pedicelos erectos, curvado en el ápice y en floración.

Flores: de 1-2 cm de largo, 0.5 cm de diámetro, dilatado en el ápice, esparcidamente pubescente; cáliz de 1 mm de largo en antesis, hasta 2 mm de 5 largo en el fruto, truncado y escasamente lobado con apéndices diminutos justo abajo del margen, éstos continuos con las costillas; corola blanca, acampanado, de 9 mm de ancho, lóbulos ovados-triangules, de 3 mm de largo; filamentos de 1-1.5 mm de largo, glabros, las anteras verdes azuladas, de 1 mm de largo, 0.5 mm de ancho; estilo de 2.5 mm de largo.

Fruto: su forma es alargada, cónica con punta roma y redondeada; su color es verde oscuro; su piel es lisa, gruesa y consistente; el sabor es picante y con mucho cuerpo. Semilla: pardo-amarillenta, comprimidas de 2.5 mm de largo (*Ramírez, 1989*).

### 2.9.3 Producción de chile serrano

El chile Serrano o verde, principal variedad por volumen y valor, se produce durante la mayor parte del año. La cosecha del ciclo otoño-invierno inicia en diciembre y concluye en agosto, los principales estados productores son Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas (SAGARPA).

### 2.9.4 Especificaciones sensoriales

De acuerdo a la *NMX-FF-025-1982*, los chiles deben ser:

- De forma, color, sabor y olor característicos de la variedad.
- Bien desarrollados, enteros, sanos, limpios, de consistencia firme y textura lisa y brillantes.
- Cortados en punto sazón y con pedúnculo.
- Sin humedad exterior anormal.
- Prácticamente libres de pudrición o descomposición.
- Prácticamente libres de defectos de origen mecánico, entomológico, microbiológico, meteorológico y genético-fisiológico.

### 2.9.5 Especificaciones físicas

El tamaño de los chiles se determina en base a su longitud, de acuerdo en el cuadro 2.

Cuadro 2. Especificaciones físicas de los chiles

Tamaño	Longitud (cm)
A	Menor de 2.0
B	2.0 – 3.5
C	3.6 – 5.0
D	5.1 – 6.5
E	Mayor de 6.5

(*NMX-FF-025-1982*)

### 2.9.6 Envase

La Secretaría de agricultura, ganadería desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA) menciona en el pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad selecta en chile poblano, serrano y jalapeño, que los envases más comúnmente utilizados son cajas de cartón de 10 a 15 kg, recomienda el uso de cartón u otro material aceptable y conveniente de las dimensiones que se adapten a las necesidades de transportación nacional e internacional, los cuales deberán ser nuevos, limpios y de una composición que no pueda causar alteraciones externas o internas a los productos, también deben reunir las características de calidad higiene, ventilación y resistencia para garantizar la manipulación, el aislamiento, el estibado, el transporte y conservación adecuada del producto, hasta el lugar de consumo, también los envases, deberían estar exentos de cualquier material y olor extraño, como pegamento, tintas, humedad y/o producto diferente al que se va envasar.

## CAPÍTULO III. Revisión literaria

### 3.1 Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Sccharumofficinarum L.*).

*López Martínez et al. (2016)*, obtuvieron celulosa a partir de de bagazo de caña de azúcar. Mencionan que el bagazo del tallo de la caña de azúcar, es un residuo fibroso que se obtiene de la extracción de jugo. De acuerdo a su metodología el bagazo de caña fue introducido en una solución de NaOH al 10% mismas que permanecieron en ebullición durante 20 minutos con agitación continua. Las muestras se dejaron enfriar y se lavaron con agua y posteriormente se secaron en una estufa a una temperatura de 60°C durante 12h. Por otra parte extrajeron y cuantificaron la celulosa del bagazo de caña caracterizando el producto por espectroscopiaa de infrarojo (FTIR), difracción de rayos-x (XRD) y estereoscopia. Los autores concluyen que el bagazo de caña de azúcar es perfectamente viable para la producción de celulosa.

### 3.2 Extracción de celulosa a partir de la borra de café

*García Muñoz & Riaño Luna (1999)*, extrajeron celulosa de la borra de café, la digestión de esta materia produjo pulpas con alto contenido de celulosa. El proceso se optimizó con base en la caracterización inicial de la borra, los rendimientos de extracción, las condiciones de operación del proceso y la calidad de la pulpa. Mencionan que la borra de café tiene un contenido apreciable de fibra (57-71%), que puede aprovecharse para la producción de pulpas celulósicas ya sea para producir papeles o como materia prima en la elaboración de productos con base en celulosa utilizando métodos químicos ampliamente conocidos.

### 3.3 Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la

#### Deslignificación de tallos de yuca

*Reales, Castaño, & Zapata (2016)*, evaluaron el efecto de tres tipos de pretratamiento (ácido, alcalino y organosolv), sobre la remoción de lignina de la biomasa de tallos de yuca. En el tratamiento ácido se evaluó la concentración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> entre 0.79 y 2.21 %p/v de, y el tiempo entre 8 y 22 minutos, a 121° C y 15 psi. En el alcalino se evaluó la concentración de NaOH entre 0.59 y 3.41 % p/v y el

tiempo entre 4 y 11 h, a 60° C y en el organosolv se evaluó la concentración de etanol entre 41.7 y 98.3 % v/v de etanol y el tiempo entre 4 y 11 h, a 60° C. El pretratamiento alcalino presentó los mayores porcentajes de remoción de lignina con respecto a los pretratamientos realizados en este estudio. Mencionan que este atributo puede ser atribuido a que el ion Na<sup>+</sup> tiene un diámetro suficientemente pequeño como para penetrar los poros más pequeños de la matriz lignocelulósica y a su mayor capacidad oxidativa sobre los enlaces éster y éter de la lignina. Estos autores estudian la relación de extracción de lignina variando el tiempo y la concentración de cada pretratamiento.

### 3.4 Diseño factorial de un proceso alcalino para obtener celulosa de Higuierilla (*Ricinus communis L.*) y su aplicación en cartón ondulado

*Escoto, Morales Castro, Rodriguez, & Anzaldo (2010)*, estudiaron la obtención de celulosa y su aplicación en papel corrugado a partir de tallo de higuierilla (*Ricinus communis L.*). Mediante un diseño factorial 2<sup>3</sup> se encontraron las mejores condiciones del proceso alcalino para la obtención de celulosa. Se emplearon 16 y 18% de NaOH, temperaturas máximas de cocción de 150 y 170 °C y tiempos a temperatura máxima de 100 y 140 min. Estos autores mencionan que el parámetro con mayor nivel de significancia para el proceso alcalino es la temperatura en nivel alto.

### 3.5 Elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz

*Torres Uribe (2000)*, menciona que el tallo de maíz es un recurso poco aprovechado porque, una vez que ha sido cosechada la mazorca, este se deja secar en pie con la idea de abonar el terreno para posteriores cosechas, o bien se destina como alimento para ganado vacuno. Se empezó a investigar los usos que se le podían dar a esta materia prima, resultando una excelente alternativa obtener pulpa para papel de características especiales de color, textura y resistencia que la hacen apta para utilizarla en papeles para artes plásticas, tarjetería, lencería, decoración de interiores e, incluso, en la industria como aislante térmico. Se explica a detalle las operaciones que se deben seguir para la elaboración de papel, tal como la recolección y limpieza del tallo, el picado, remojo, molienda, la cocción, el escurrido,

lavado, el fibrilado, la formación y secado de la hoja. También este autor analiza las operaciones de secado y lavado para determinar la resistencia al doblado y la resistencia del papel obtenido. Menciona que en el tanque de lavado la concentración de la pulpa determina el grosor de la hoja, varía la concentración de la pulpa a 300, 500 y 600 gramos por cada 20 litros de agua aproximadamente. Por otra parte, en el lavado se realizó la operación colocando 300g de pulpa cocida sobre un tamiz o No.40, luego se vertió agua limpia sobre la pulpa, amasándola suavemente hasta que tomó un color amarillo pálido. Recogiendo el agua de lavado en un tanque. La cantidad de agua de lavado para 300g de pulpa fue de 12L. Finalmente el autor concluye que la concentración adecuada de pulpa es 20L de agua por 300g de pulpa, por otra parte, la utilización de fibras que no pasan el tamiz No. 40 hace que la matriz del papel sea más resistente al rasgado y al doblado.

### 3.6 Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas

*Mazzeo, León, Mejía, Guerrero, & Botero (2010)*, obtuvieron papel a partir del pseudotallo, se emplearon tres métodos para la extracción de la fibra, el primero utilizando agua, y los otros dos métodos fueron químicos utilizando solución al 30% de soda cáustica por 30 minutos, el método dos utilizo como blanqueador agua y el tres utilizo hipoclorito de sodio, el método uno presentó una textura rígida debido a que no se realizó una separación completa de la lignina, las muestras 2 y 3 obtenidas por el método químico fueron de mejor calidad, la muestra 3 presentó mayor despigmentación de las fibras y a la vez, mayor suavidad. El rendimiento obtenido de fibra fue más alto para las extracciones por los métodos químicos. En general, las fibras obtenidas por el método químico presentan una mejor calidad pero presentaban una estructura brusca, por lo que requieren una afinación del método que facilite la extracción de mayor cantidad de lignina.

## CAPÍTULO IV. Metodología

### 4.1 Materiales y equipo

Estufa de convección

Campana de extracción

Parrilla eléctrica marca CIMAREC

Potenciómetro marca OAKTON

Mufla para cenizas marca Lindberg

Balanza analítica marca ADAM d=0.0001g

Bomba de vacío marca GAST

Molino para granos marca “molino del rey”

Vernier marca Scala

Equipo de destilación rápida

Digestor de fibra cruda

Desecador

Durómetro

Pesas para balanza de 295g

Hidróxido de sodio J.T. Baker

Fenolftaleína MEYER

Mezcla catalítica para proteína

Ácido sulfúrico 97% Merk

Hidróxido de sodio 0.1N HYCEL

Soluciones buffer 4.0, 7.0 y 10.0 J. T, Baker

Papel filtro

Agua destilada

Papel filtro libre de cenizas Whatman 41

Marco de serigrafía

Microscopio óptico

Material de vidrio de laboratorio

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Análisis químico proximal

La presente investigación se llevó a cabo en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional.

El análisis químico proximal de la hoja de maíz, la cáscara de *Jatropha curcas* se llevó a cabo por metodologías oficiales por la AOAC

#### 4.2.1.1 Determinación de humedad

Se pesó por triplicado 2 g de muestra, se colocó la muestra en charolas de aluminio previamente puestas a peso constante, posteriormente se metieron las charolas con la muestra en la estufa a 90 °C hasta obtener un peso constante. Finalmente, las charolas se colocaron en el desecador durante 15 minutos y se pesaron en una balanza analítica. El cálculo de la humedad se obtuvo por diferencia de peso de la muestra fresca y seca.

#### 4.2.1.2 Determinación de cenizas

Se colocaron 2 g de muestra seca por triplicado en crisoles previamente puestos a peso constante. Las muestras se carbonizaron con la ayuda de un mechero Fisher hasta la finalización del desprendimiento de humo, enseguida los crisoles se colocaron en una mufla a 600 °C para la calcinación total de las muestras durante 6 horas, hasta la obtención de cenizas blancas o grisáceas. Se enfriaron los crisoles con la mufla apagada, posteriormente los crisoles se colocaron en la estufa por 20 minutos para finalmente colocarlos en el desecador por 15 minutos. El cálculo para la determinación de cenizas se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{(P - p) * 100}{M}$$

Donde:

*P* = Peso del crisol con cenizas en gramos

*p* = Peso del crisol a peso constante en gramos

*M* = Peso de la muestra en gramos



#### 4.2.1.3 Determinación de extracto etéreo

Se colocaron tres matraces bola a peso constante, se pesó por triplicado 2g de muestra seca colocándose dentro de cartuchos a peso constante cubiertos con algodón, se preparó el dispositivo Soxhlet tal como se muestra en la figura 2 utilizando como disolvente hexano. El sistema se mantuvo en circulación por 6 horas. Posteriormente se colocaron los matraces bola en la campana de extracción de vapores durante 4 horas, enseguida se colocaron los matraces en la estufa a 100°C, finalmente se pasaron los matraces en el desecador por 15 minutos y se pesaron en una balanza analítica. El cálculo para la determinación de extracto etéreo se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

Donde:

*P* = Peso en gramos del matraz con grasa

*p* = Peso en gramos del matraz sin grasa

*M* = Peso en gramos de la muestra

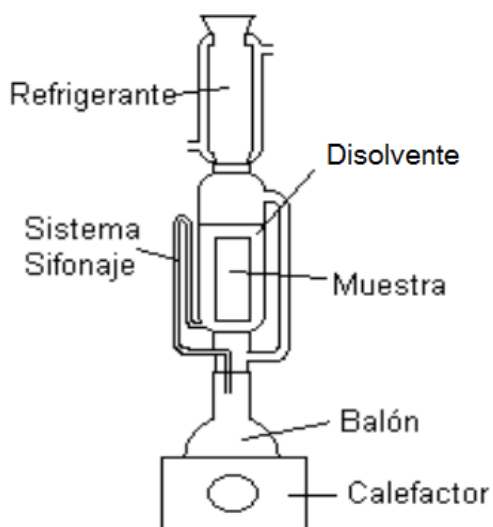


Figura 2 Equipo de extracción Soxhlet

#### 4.2.1.4 Determinación de fibra

Se colocó por triplicado 1g de muestra desengrasada en vasos de precipitados de 600mL con perlas de ebullición y se adicionó 300mL de ácido sulfúrico al 1.25%, los vasos de precipitados se colocaron en el aparato de fibra cruda por 30 minutos, posteriormente se filtró al vacío con ayuda de una malla de tela, se colocó la muestra retenida en los vasos de precipitados con 300mL NaOH al 1.25% y se colocaron nuevamente en el digestor durante 30 minutos, se filtró de una vez más al vacío con papel filtro libre de cenizas 41 previamente a peso constante, se enjuago lo retenido y se dejó secar en la estufa, se colocaron los papel filtro en el desecador durante 15 minutos y se pesó en una balanza analítica , finalmente los papel filtro se colocaron en crisoles a peso constante y se calcinaron en la mufla a 600°C por 4 horas, se enfriaron los crisoles con la mufla apagada y enseguida se colocaron los crisoles en el desecador durante 15 minutos, posteriormente se pesó en una balanza analítica. La determinación de fibra cruda se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{(Pr - Pv) - (Pf - Pc)}{M} * 100$$

Donde:

*Pr = Peso del papel filtro con residuo en gramos*

*Pv = Peso del papel filtro vacío en gramos*

*Pf = Peso del crisol con cenizas en gramos*

*Pc = Peso del crisol a peso constante en gramos*

*M = Peso de la muestra desengrasada en gramos*

#### 4.2.1.5 Determinación de proteína

Se colocó por triplicado 0.1g de muestra, 3 perlas de ebullición, 1g de catalizador y 25mL de ácido sulfúrico en un matraz Kjeldahl, se colocaron los matraces inclinados en el sistema y se calentaron cuidadosamente, se hirvió intensamente hasta que la solución de los matraces se aclaró. Una vez digeridas las muestras se dejó enfriar, posteriormente se destiló cada muestra en una solución de ácido bórico con 3 gotas de indicador y finalmente las muestras se titularon con HCl 0.1N hasta obtener un

cambio de color violeta. La determinación de nitrógeno se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{V * N * 0.014 * 100}{M}$$

Donde:

$V$  = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación en  $\text{cm}^3$

$N$  = Normalidad del ácido clorhídrico

$M$  = Masa de la muestra en gramos

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno

El por ciento de proteínas se obtiene multiplicando el por ciento de nitrógeno obtenido por el factor correspondiente.

#### 4.2.2 Obtención de celulosa

##### 4.2.2.1 Obtención de celulosa de maíz

Se dejaron secar las hojas de maíz a temperatura ambiente por 48h, después se redujo el tamaño y se colocaron 50g de muestra en un vaso de precipitados de 1L, se adicionó 300mL de NaOH al 3% y se calentó a 80°C 1h con agitación constante. Se dejó enfriar y se neutralizó lavando con agua, se midió el pH con un potenciómetro hasta obtener un pH neutro.

#### 4.2 Obtención de celulosa de *Jatropha curcas*

Se molió la cascara de *Jatropha curcas* en un molino de discos para reducir su tamaño, se coloraron 50g de muestra en un vaso de precipitados de 1L, se adicionó 300mL de NaOH al 10% y se calentó a 80°C 1h con agitación constante. Se dejó enfriar y se neutralizó lavando con agua, se midió el pH con un potenciómetro hasta obtener un pH neutro.

#### 4.2.3 Elaboración de papel

Se elaboraron los papeles de acuerdo a la proporción de fibra del cuadro 3.

Cuadro 3. Proporción de fibras en la elaboración de papel

<b>Fibra/Papel</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b><i>Jatropha curcas</i> (%)</b>	100	0	20	10	10	5
<b>Maíz (%)</b>	0	100	80	90	90	95

#### 4.2.3.1 Papel 1

Se colocó la fibra uniformemente en el marco de serigrafía, se dejó secar en la estufa a 50°C.

#### 4.2.3.2 Papel 2

Se colocó la fibra uniformemente en el marco de serigrafía, se dejó secar en la estufa a 50°C, finalmente se dejó enfriar y se desprendió cuidadosamente la hoja.

#### 4.2.3.3 Papel 3 y 4

Se tomó la proporción adecuada de cada fibra, se mezcló y se molió en una licuadora, posteriormente se colocó uniformemente la mezcla en el marco de serigrafía, se dejó secar en la estufa a 50°C, finalmente se dejó enfriar y se desprendió cuidadosamente la hoja.

#### 4.2.3.4 Papel 5

La fibra de *Jatropha curcas* pasó por un tamiz No.50, se tomó la proporción adecuada de cada fibra y se mezcló, posteriormente se colocó uniformemente la mezcla en el marco de serigrafía, se dejó secar en la estufa a 50°C, finalmente se dejó enfriar y se desprendió cuidadosamente la hoja.

#### 4.2.3.5 Papel 6

Ambas fibras pasaron por un tamiz No.50, se tomó la proporción adecuada de cada fibra y se mezcló, posteriormente se colocó uniformemente la mezcla en el marco de serigrafía, se prensó con ayuda de un vidrio del mismo tamaño del marco de serigrafía y se colocó un peso de 885g, se dejó secar en la estufa a 50°C, finalmente se dejó enfriar y se desprendió cuidadosamente la hoja del vidrio.

#### 4.2.4 Caracterización del papel

Las siguientes pruebas se realizaron a cada papel obtenido y se realizaron las mismas pruebas para papel estraza.

##### 4.2.4.1 Determinación de gramaje

Se cortó tres tiras de 12x6 cm de cada papel y se calculó el área, posteriormente se pesó cada papel en una balanza analítica y se reportó el peso. Para la determinación del gramaje se sustituyó en la siguiente ecuación:

$$\text{Gramaje} \left( \frac{g}{m^2} \right) = \frac{P}{A}$$

Donde:

*P = Peso de la muestra en gramos*

*A = Área de la muestra en metro cuadrados*

##### 4.2.4.2 Dureza del papel

Se midió la fuerza necesaria para romper el papel utilizando un Durómetro, la prueba se realizó en tres puntos diferentes de cada papel, reportándola como dureza en Lb/pulgada<sup>2</sup>.

##### 4.2.4.3 Espesor del papel

Se dobló cada hoja en partes iguales, se midió el grosor utilizando un vernier, el cálculo se realizó dividiendo el grosor en mm entre el número de caras del papel doblado. El experimento se realizó por triplicado para cada papel reportándolo en mm.

##### 4.2.4.4 Determinación de humedad

Se colocaron las muestras dentro de placas Petri y se pesó con tapa, se colocaron las placas en la estufa a 110°C durante 30 minutos, transcurrido el tiempo se dejó enfriar en el desecador durante 15 minutos, posteriormente se pesó la placa con su contenido y se determinó por diferencia respecto al recipiente vacío, el peso de la muestra seca. Se repitió el procedimiento hasta obtener un peso constante de la

muestra seca. El experimento se realizó por triplicado para cada papel. La humedad se reportó en porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = (G - G_s) \times 100$$

donde:

$G$  = *Peso inicial de la muestra en gramos*

$G_s$  = *Peso final de la muestra en gramos*

#### 4.2.4.5 Determinación de cenizas

En el contenido de cenizas se utilizaron crisoles a peso constante, se colocó 1 g de muestra, se calentaron en un mechero hasta la completa combustión del papel. Después se introdujo en una mufla a 525°C en un tiempo de 60 minutos y se dejó enfriar en el desecador. Finalmente se pesaron las cenizas junto con los crisoles. El experimento se realizó por triplicado para cada papel. El porcentaje de cenizas se reportó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{G1 - G}{M} \times 100$$

Donde:

$G$  = *peso de la muestra al seco en gramos con crisol cte*

$G1$  = *peso del residuo de calcinacion en gramos con crisol cte*

$M$  = *peso de la muestra de papel*

#### 4.2.4.6 Observación microscópica

Para la observación microscópica de las fibras del papel se colocó una muestra representativa de cada hoja, se observó el alineamiento de las fibras utilizando un objeto de 4/0.10. Para cada visualización se tomó una fotografía.

#### 4.2.4.7 Absorción de agua

Se colocó una muestra de papel en un soporte horizontal con un espacio libre por debajo de 10 cm. Se utilizó una pipeta con un volumen de 1mL y un cronómetro, se dejó fluir la cantidad de agua sobre la muestra, se cronometra el tiempo cuando el

agua hizo contacto con la muestra y se midió el tiempo para que el agua se absorbiera completamente. Cuando el agua ha sido absorbida queda indicado visualmente por la desaparición de la reflexión especular de la luz (es decir en el momento en que desaparece el área brillante de la mancha húmeda). Se repitió el procedimiento por triplicado para cada. Se reportó el tipo de papel probado, el volumen de agua usado y el promedio del tiempo de absorción en segundos.

#### 4.2.4.8 Adsorción de agua

Se prepararon 60mL de las disoluciones sobresaturadas salinas, se vertieron en frascos herméticos correspondientes a las siguientes actividades de agua.

Sal	Aw
MgCl <sub>2</sub>	0.328
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.432
NaNO <sub>3</sub>	0.642
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.799
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	0.864
KNO <sub>3</sub>	0.924

Se pesaron muestras de papel y se colocaron dentro de cada frasco en un sistema donde las muestras no tocaran las soluciones sobresaturadas, se cerraron herméticamente los frascos, se pesaron las muestras cada hora por 12h y después cada 24h hasta que no hubiera variación entre las pesadas. Finalmente se representaron las isothermas de adsorción.

#### 4.2.5 Aplicación del papel seleccionado como envase de chile serrano

##### 4.2.5.1 Propiedades mecánicas del chile serrano

Se cubrieron 20 chiles con el papel y 2 blancos sin papel, se dejaron diez chiles a temperatura ambiente y diez a 4°C con su respectivo blanco, se realizaron tres perforaciones en cada uno de los frutos y el fruto evaluado se descartó. Se utilizó un probador de dureza de la fruta LUTRON (modelo FR5130) (EE.UU.). La firmeza

se realizó cada 24h por 10 días, reportando el valor medio de las mediciones por cada chile serrano.

#### 4.2.5.2 Acidez titulable

Se pesó 25g del producto molido, se añadió 200mL de agua destilada y se calentó durante 15 minutos a ebullición, con agua destilada se completó el volumen hasta 250mL y se filtró con papel filtro. Del filtrado se tomaron la quinta parte y se agregó un volumen igual de agua destilada. Para la valoración se vertió la muestra en un matraz Erlenmeyer de 100mL y se adicionó 5 gotas de fenolftaleína al 1% como indicador y se tituló con NaOH 0.1N.

#### 4.2.5.3 pH

Se colocó aproximadamente 100g de producto en un mortero, se adicionó de 10 a 20mL de agua destilada recientemente hervida. Se ajustó la temperatura a 20°C. Se calibró el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10, se tomó una muestra ya preparada en un vaso de precipitados, se mezcló bien y se sumergieron los electrodos.

El valor del pH de la muestra se leyó directamente en la escala del potenciómetro.

#### 4.2.5.4 Determinación de humedad

Se pesó por triplicado 2 g de muestra, se colocó la muestra en charolas de aluminio previamente puestas a peso constante, posteriormente se metieron las charolas con la muestra en la estufa a 90 °C hasta obtener un peso constante. Finalmente, las charolas se colocaron en el desecador durante 15 minutos y se pesaron en una balanza analítica. El cálculo de la humedad se obtuvo por diferencia de peso de la muestra fresca y seca.

#### 4.2.5.5 Pérdida de peso

Se escogieron diez piezas de chile serrano *Capsicum annum L.* y se pesaron en una balanza analítica, ocho de ellos se cubrieron con papel y dos se utilizaron como blanco (sin papel). Cuatro chiles serranos se mantuvieron a temperatura ambiente y cuatro a 4°C con su respectivo blanco. Se pesó cada 24h los chiles serranos en



la balanza analítica por 10 días. Se reportó los pesos individuales y el valor medio de lo calculado.

#### 4.2.5.6 Color

Se evaluó los cambios de color determinando la luminosidad ( $L^*$ ), componente verde ( $-a^*$ ) y componente amarillo ( $b^*$ ) del color en coordenadas CIE-Lab. Las muestras fueron colocadas en una superficie clara para capturar la imagen en una cámara fotográfica SONY 11 MP, las imágenes fueron tratadas en el software Adobe Photoshop v.7.0. Los resultados se tomaron como el promedio de tres lecturas de cada parámetro.

#### 4.2.5.7 Contenido de ácido ascórbico

##### 4.2.5.7.1 Preparación de solución estándar de ácido ascórbico 0.5mg/ml

Se pesó exactamente 50mg de ácido ascórbico, se introdujeron a un matraz aforado de 100mL cubierto de papel aluminio. Se disolvió con ácido meta-fosfórico al 2% y se aforo al mismo volumen con el ácido. Esta solución se preparó inmediatamente antes de emplearse.

##### 4.2.5.7.1.1 Verificación de la pureza del ácido ascórbico

En caso de duda sobre la pureza del ácido ascórbico, pesar exactamente 400mg con una precisión de 1mg, disolver en una mezcla de 100mL de agua destilada hervida y enfriada, y 25mL de ácido sulfúrico al 10%. Valorar rápidamente bajo luz difusa con una solución de yodo 0.1N en presencia de una solución de almidón como indicador, 1mL de yodo 0.1N corresponde a 8.806mg de ácido ascórbico.

##### 4.2.5.7.2 Solución de ácido meta-fosfórico al 2%

##### 4.2.5.7.2.1 Preparación de la solución base al 10%

Pesó 60-70g de ácido meta-fosfórico. Se eliminó la capa blanca que se forma generalmente en la superficie, lavando las barritas con agua destilada. Se secaron con papel filtro y se trituraron en un mortero. Se pesó 50g de este ácido limpio y triturado y se disolvieron sin calentar en 500mL de agua destilada en un frasco pardo, agitando mecánicamente hasta su completa disolución. Esta solución al 10% puede conservarse en refrigeración hasta por tres semanas.

#### 4.2.5.7.2 Preparación de la solución al 2%

Se preparó la cantidad necesaria en el día del empleo, diluyendo cinco veces con agua destilada un volumen dado de la solución al 10%.

#### 4.2.5.7.3 Solución de la sal sódica de 2,6-diclorofenol-indofenol (D.I.) al 0.05%

Se disolvió 100mg de D.I. en un vaso de 50mL que contenía 20mL de agua destilada. Se llevó rápidamente a ebullición, removiendo con una varilla de vidrio. Se enfrió y se transfirió a un matraz aforado de 200ml. Se llevó a volumen con agua destilada. Se filtró en un frasco pardo. Esta solución se conserva en refrigeración durante 8 días.

Verificar la concentración antes de cada serie de determinaciones. La solución es azul en un medio alcalino (sal de Na+) y rosa en un medio ácido.

#### 4.2.5.7.4 Ácido acético al 10%

Diluir 100mL de ácido acético glacial a 1L con agua destilada.

#### 4.2.5.7.5 Determinación del título de la solución de 2,6-diclorofenol-indofenol (D.I.)

Se pipetearon 3mL de la solución estándar de ácido ascórbico en un vaso de 100mL, se añadieron aproximadamente 30mL de ácido meta-fosfórico al 2% y 5mL de ácido acético al 10%. Se valoró con la solución D.I. utilizando un agitador mecánico hasta la aparición de una coloración rosa que se mantuvo durante 15 segundos.

#### 4.2.5.7.6 Preparación de la porción para ensayo

Se homogenizó una muestra de 10g con un volumen de ácido meta-fosfórico de 10% representado 1/5 del volumen total al que fue ajustado la mezcla. Se transfirió cuantitativamente a un matraz aforado de 250mL y se llevó a volumen con agua destilada, finalmente se filtró la solución obtenida.

#### 4.2.5.7.7 Determinación

Se tomó una alícuota de 15mL del filtrado, correspondiente a 1-2 mg de ácido ascórbico, se añadió 5mL de ácido acético al 10% (10mL para un volumen de filtrado

de 30 a 50mL), se valoró con D.I. hasta la obtención de una coloración rosa que persistió durante 15 segundos.

Generalmente, deben utilizarse 5 a 10mL de reactivo para la valoración. Un volumen de reactivo que excede 10mL no es aconsejable, ya que la solución tiene tendencia a volverse grisácea en estas condiciones.

Nota: preparar las muestras a medida que se valoran.

El contenido de ácido ascórbico expresado en mg por cada 100g de producto es igual a:

$$\text{Ácido ascórbico} = \frac{a * T}{v} \times \frac{V}{m} \times 100$$

*a = mL de reactivo empleados*

*T = Título de la muestra*

*v = mL de filtrado empleados*

*V = mL de solución de la toma de ensayo*

*m = gramos de la toma de ensayo*

## CAPÍTULO V. Resultados y discusión

### 5.1 Análisis químico proximal

Los resultados del análisis químico proximal para el tallo de maíz se muestran en el cuadro 4, para la hoja de maíz se muestran en el cuadro 5 y para *Jatropha curcas* en el cuadro 6.

Se observa que la fibra es el mayor componente de los residuos. Esto es importante ya que con esta cantidad de fibra se obtuvo una mayor extracción de celulosa para elaborar papel.

Cuadro 4 Análisis químico proximal del tallo de maíz

<b>Componente</b>	<b>Composición (%)</b>	<b>Composición teórica (Treviño, Hernández y Caballero, 2018)</b>
Humedad	10.09	
Extracto etéreo	2.96	1.1
Cenizas	8.42	8.9
Fibra	35.65	30.6-49.0
Proteína	6.82	8.3
ELN	36.05	

Cuadro 5 Análisis químico proximal de la hoja de maíz

<b>Componente</b>	<b>Composición (%)</b>	<b>Composición teórica (Treviño, Hernández y Caballero, 2018)</b>
Humedad	8.04	50.4
Extracto etéreo	0.74	2.2
Cenizas	2.53	16.5
Fibra	49.88	38.1-62.5
Proteína	8.76	10.6
ELN	30.05	

Cuadro 6 Análisis químico proximal de *Jatropha curcas*

Componente	Composición (%)	Composición teórica % (Jongschaap et al 2007)
Humedad	11.76	10-17
Extracto etéreo	1.93	0.7-1.4
Cenizas	5.38	4-6
Fibra	53.8	28.8-32.0
Proteína	4.05	3.7-4.5
ELN	23.08	

### 5.2 Obtención de celulosa, elaboración y caracterización del papel

En la elaboración de papel 100% cáscara de *Jatropha curcas* no se obtuvo el papel esperado, ya que, por ser una fibra corta, no hubo unión entre ellas. Casey (1991), menciona que es difícil hacer papel con una ausencia total de unión, utilizando fibras de celulosa, debido a la tendencia intrínseca de las superficies celulósicas a unirse entre sí cuando hacen contacto en presencia de agua y secadas.

Aguilar-Rivera (2011), menciona que, para tener un buen papel tanto desde el punto de vista de su resistencia como de calidad de impresión, es importante hacer una buena combinación de fibra larga y fibra corta.

Cuadro 7. Características físicas y químicas de los papeles obtenidos con las diferentes proporciones *Jatropha curcas*-Maíz.

TRATAMIENTO		1	2	3	4	5	6
<b>Papel</b>	Estraza	<i>Jatropha curcas</i>	Maíz	Maíz – <i>Jatropha curcas</i>	Maíz – <i>Jatropha curcas</i>	Maíz – <i>Jatropha curcas</i>	Maíz – <i>Jatropha curcas</i>
<b>Porcentaje (%)</b>	100	100	100	80 – 20	90 – 10	90 – 10 tamizado	95 – 5 tamizado
<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	46.72	0	159.58	150.29	287.14	184	97.03
<b>Dureza (Lb/in<sup>2</sup>)</b>	2330.5	0	1991.5	720.33	4237.28	1144.06	3112.92
<b>Espesor (mm)</b>	0.0622	0	0.75	0.5	1	0.66	0.25
<b>Humedad</b>	6.65	0	1.8	2.8	7.86	3.94	1.5

(%)							
<b>Cenizas (%)</b>	5.38	0	1.48	2.57	2.01	3.42	2.35
<b>Absorción (s)</b>	4.92	0	4.21	7.51	12.54	8.83	5.59

En el cuadro 7 se presentan las características físicas y químicas de los diferentes papeles obtenidos con los residuos fibrosos de maíz y sus mezclas con residuo fibroso de *Jatropha curcas*, así como de un papel comercial (estraza).

#### 5.2.1 Determinación de gramaje

En este cuadro se observa que los papeles elaborados tienen un gramaje superior a 80 g/cm<sup>2</sup>, por lo que si se desea imprimir en este papel la calidad de la impresión es satisfactoria.

#### 5.2.2 Dureza del papel

El papel seco se conserva unido mediante fuerzas que en general son sumamente poderosas. El alto valor que alcanzan estas fuerzas se prueba por el efecto requerido para romper el papel (Casey, 1991). La dureza es importante y depende de la unión entre las fibras, para que sea fácilmente rasgado el papel requiere cierta unión mínima entre las fibras. El papel que presento mayor fuerza para ser perforado es el 4, esto es justificado ya que el tamizado separa las fibras de acuerdo a un tamaño de malla, por lo tanto, las fibras de distintas longitudes cruzadas hacen que el papel sea más denso (Casey, 1991). El papel 6 presento una dureza alta, es importante que el papel tenga esta rigidez acompañada de otros atributos, ya que así ofrece mayor protección al alimento.

#### 5.2.3 Espesor del papel

El espesor del papel elaborado debe ser uniforme, por lo tanto, de los diferentes papeles se reporta la media de las mediciones, cabe destacar que el papel estroza tiene muy poco espesor, si se selecciona un papel por esta característica es el papel maíz-*Jatropha curcas* 90-10 sin tamizar ya que presento un mayor espesor.

El espesor o calibre del papel es importante ya que afecta casi todas las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel (Casey, 1991). El calibre uniforme es importante en papeles para imprimir. El papel que fue prensado presento un gramaje, espesor y contenido de humedad menor.

#### 5.2.4 Determinación de humedad

El contenido de humedad es menor debido a que la compresión provoca que el agua salga. Cuando se elimina el agua, la tensión superficial crea una fuerza tremenda que compacta y aproxima las fibras, logrando entre ellas un contacto más estrecho (Casey, 1991). Al reducir el contenido de humedad se gramaje será menor y la compactación de las fibras y la fuerza que ejerce sobre ellas reduce el espesor (Casey, 1991). En general, con el prensado se reduce el grueso del tejido y reduce el volumen de huecos. De esta manera el prensado influyó en la calidad del papel 6. El agua reduce la unión interfibra, ocasionando la pérdida de resistencia del papel (Casey, 1991). Por lo tanto, el papel 4 queda descartado para poder ser evaluado en la vida de anaquel de Chile serrano por su alta humedad.

La relación celulosa agua es la más importante en la química del papel. La cantidad de agua en las fibras afecta la resistencia, la flexibilidad y las características de formación de la hoja. El contenido de humedad afecta el peso, la resistencia, la permanencia. El papel puede conservar agua humedad entre las fibras o dentro de las fibras individuales. Los cambios en contenido de humedad ocasionan también una alteración importante en el calibre, esto se ve reflejado en el papel 4, el cual al tener un alto contenido de humedad presentó un mayor calibre. De lo antes expuesto, puede observarse que el papel debe tener cierta cantidad mínima para ser de mejor calidad.

#### 5.2.5 Determinación de cenizas

Por lo general, las cenizas de los papeles sin rellenar y sin recubrir no excede de 2%, aunque puede llegar a 5%. Si el contenido de cenizas excede del 5%, y su apariencia es densa y compacta, podrá aceptarse como prueba positiva de que el papel ha sido rellenado o recubierto con pigmento. Los papeles para una resistencia muy elevada (por ejemplo, los papeles para envolver y los cartones para envases) deben tener un bajo contenido de cenizas, porque la materia mineral tiende a reducir la resistencia del papel (Casey, 1991).

### 5.2.6 Observación microscópica

En la figura 3 se presentan las fotografías al microscopio de los diferentes papeles obtenidos con los residuos fibrosos de maíz y sus mezclas con residuo fibroso de *Jatropha curcas*, se observa que el papel estroza presentó una estructura más compacta seguida del papel elaborado con maíz al 100%. Por este motivo, se propuso una etapa de prensado a los papeles obtenidos para compactar las fibras.

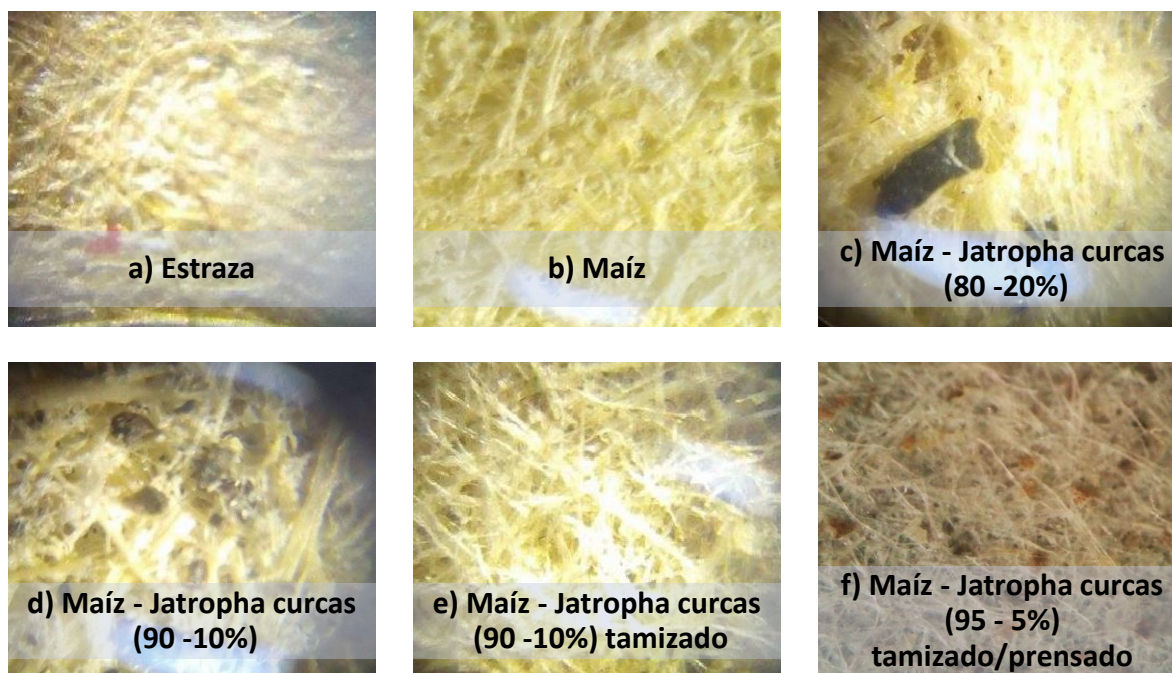


Figura 3 Fotografías al microscopio de los diferentes papeles obtenidos con los residuos fibrosos de maíz y sus mezclas con residuos fibroso de *Jatropha curcas* (Objetivo 4/0.1).

En la observación microscópica se observa el contacto entre las fibras, el tamaño de la partícula y su distribución. En b) se observa que hay buena unión entre las fibras, sin embargo, respecto a la textura se presentó pelusa en la superficie la cual es indeseable por dos motivos: el desgaste del papel debido a este desprendimiento de fibra y por este residuo generado de la fibra el cual afectará como envase de un alimento, ya que puede ser un riesgo físico. En c) se observa que el tamaño de la fibra de *Jatropha curcas* afecta la densidad y el espesor de la hoja. Para d) se observa mayor uniformidad entre las fibras respecto a c) y se observa un espacio mayor entre fibras, sin embargo, este papel presento mayor contenido de humedad



porque esta queda retenida entre estos espacios. En e) se observa que la uniformidad entre fibras y su tamaño es uniforme, sin embargo, su espesor fue alto. Para f) las fibras tuvieron mayor unión, uniformidad y tamaño de partícula.

De acuerdo a Casey (1991), el largo de la fibra afecta la formación de la hoja o la uniformidad en cuanto a la distribución de la fibra; cuanto más cortas sean las fibras más cerrada y más uniforme será la formación de la hoja. El largo de la fibra afecta también las propiedades físicas de la hoja, entre ellas su resistencia y su rigidez, y en forma especial su fuerza de separación, la que disminuye al disminuir el largo de la fibra.

En la figura 4 muestra los papeles obtenidos con las diferentes proporciones de maíz y cascarilla de *Jatropha curcas*. En esta figura se observa que en el papel elaborado con la proporción 10-90% y que fue tamizada, la distribución del residuo fibroso de *Jatropha curcas* fue más homogénea que en la muestra no tamizada. La proporción 95-5% tamizada y prensada presenta una distribución homogénea de las fibras, así como la compactación de las mismas por la etapa de prensado.

Las propiedades ópticas del papel son más importantes que las propiedades físicas. La apariencia del papel depende de las propiedades ópticas y mucho papel se vende debido a su aspecto (Casey, 1991).

#### 5.2.7 Absorción de agua

Los grupos hidroxílicos libres de la celulosa tienen una fuerte afinidad por los solventes polares y pueden llegar a disolverse en ellos. El tiempo de absorción de agua es importante, ya que al ser un papel para envase se debe evitar que este absorba rápidamente agua.

#### 5.2.8 Adsorción de agua

Es importante la adsorción de agua ya que la celulosa absorbe humedad del aire hasta llegar a un contenido de equilibrio, el que aumenta con el incremento ambiental de humedad relativa.

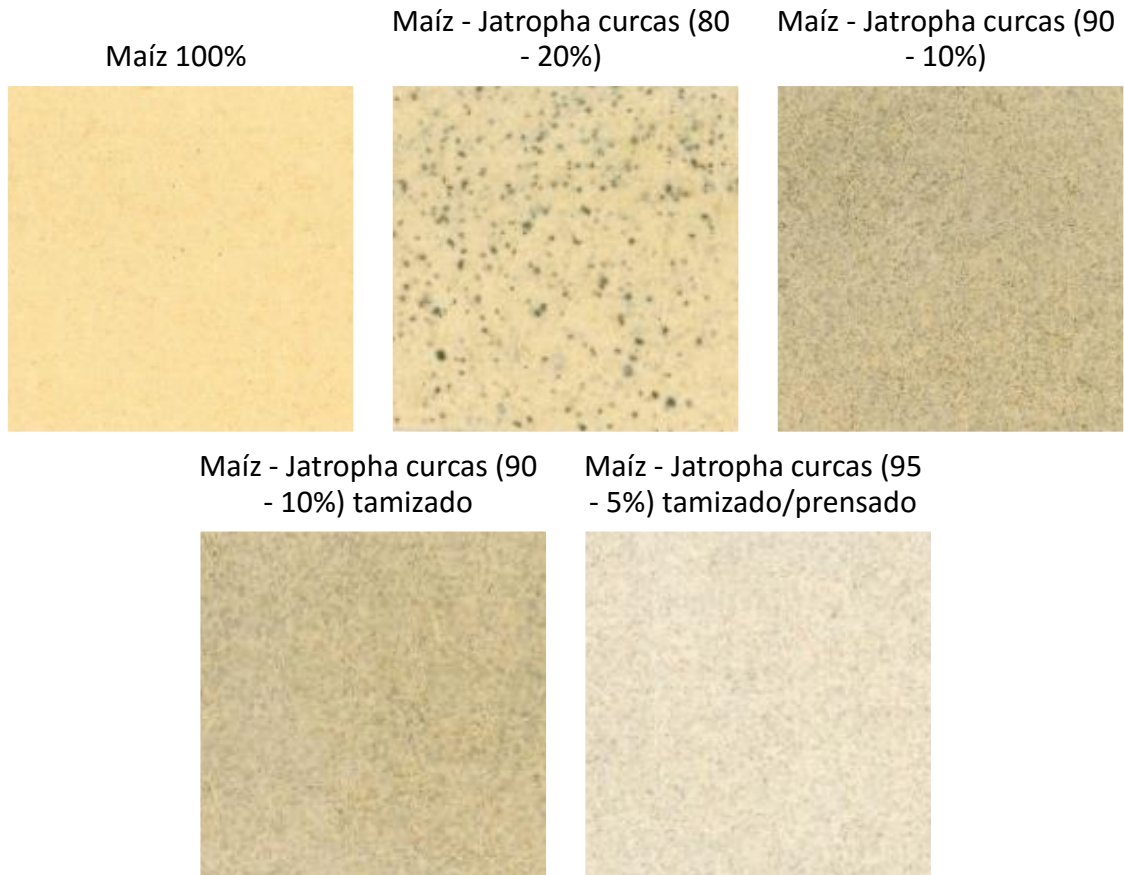
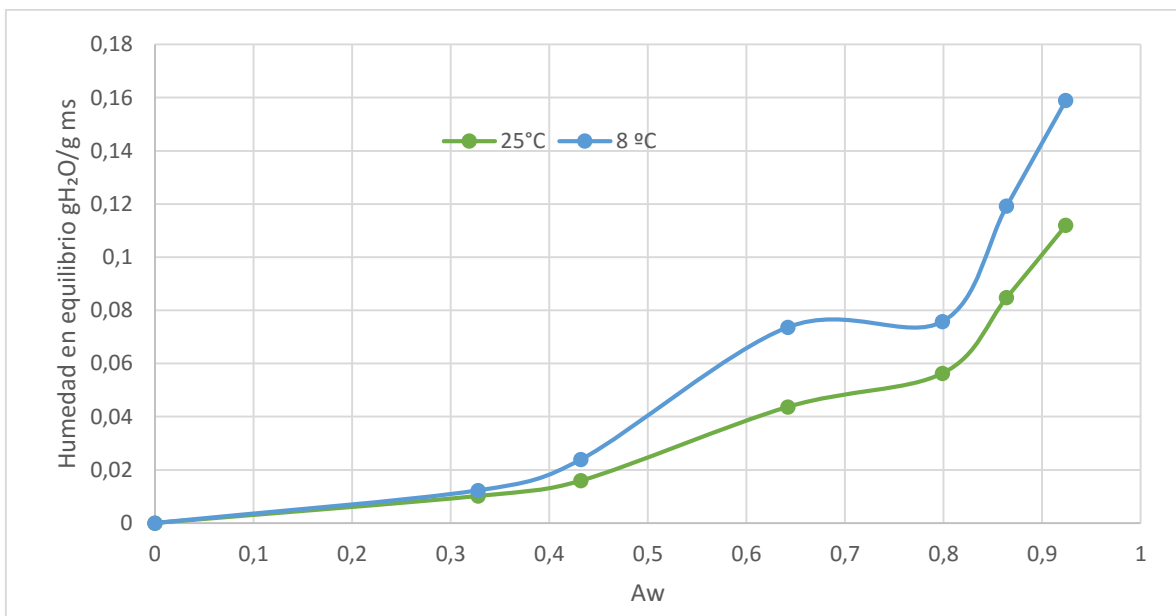


Figura 4 Papeles obtenidos



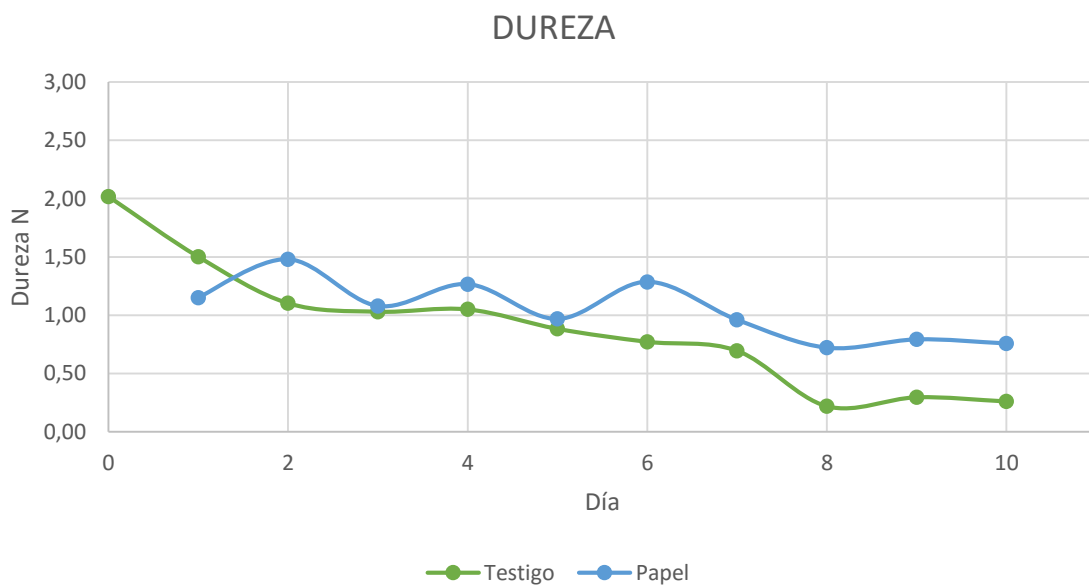
Gráfica 3 Isothermas de adsorción

El papel 95-5% fue seleccionado para evaluar las características de vida de anaquel de chile serrano debido a las características que presentó, se determinó la adsorción del mismo por método estático.

### 5.3 Evaluación del papel seleccionado en la vida de anaquel de chile serrano.

#### 5.3.1 Propiedades mecánicas del chile serrano

En la gráfica 4 se representan los resultados experimentales de la dureza de los chiles serrano.



Gráfica 4 Dureza entre chiles con y sin tratamiento (Los datos representan una media de la dureza de los chiles serranos testigo y los cubiertos con papel).

En esta gráfica se observa que la firmeza disminuyó respecto a los días, la pérdida de firmeza a partir del día 6 presentó diferencia significativa ( $p=0.05$ ) entre los chiles usados como testigo y los chiles protegidos con papel. Al ser la firmeza un atributo de textura es importante ya que evalúa la calidad del chile serrano durante el almacenamiento. El uso de este papel confiere una firmeza mayor al chile serrano.

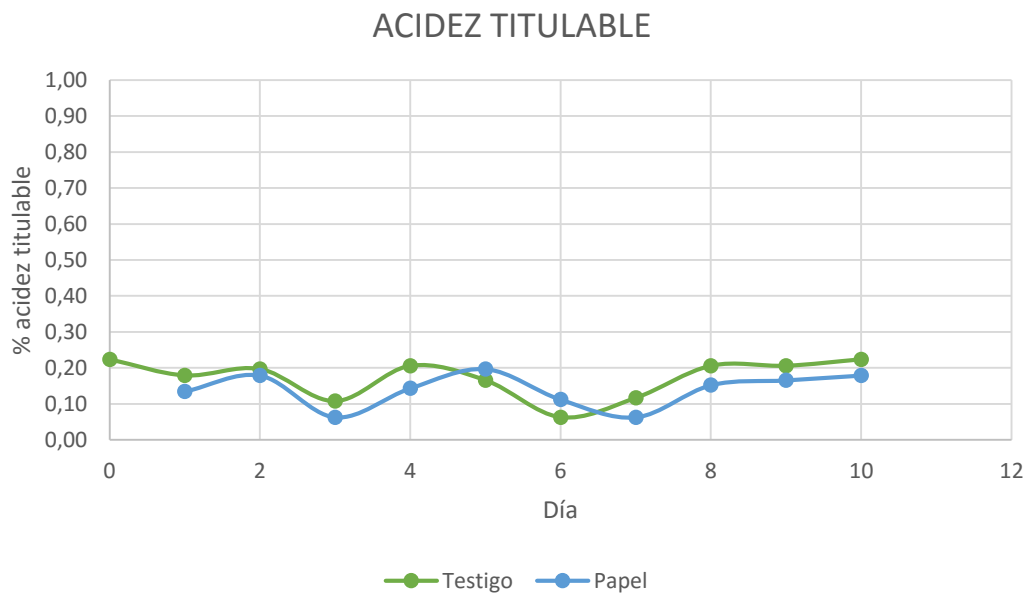
*Vaurant, 2012*, mencionan que es deseable que las frutas y hortalizas, una vez cosechadas, mantengan un alto grado de resistencia mecánica para protegerlas de los daños durante su manipulación posterior a la cosecha.

Por otra parte, la firmeza es un buen indicador de madurez y esta depende del estado de la fruta en el momento de la recolección, de la temperatura y forma de almacenamiento y puede relacionarse con el color externo (Valero y Ruiz, 1996).

Estas pérdidas de firmeza se pueden asociar a la concentración de oxígeno de las atmosferas durante el periodo de almacenamiento, tal como lo mencionan Gómez y Camelo (2002). Esto es importante ya que al ser el papel un material poroso, impide la penetración del oxígeno dentro del envase de papel.

En frutas y hortalizas, la textura se mide con dos propósitos: (1) para determinar la madurez de los cultivos con el objeto de predecir la fecha optima de cosecha y, (2) para determinar la calidad del producto. Es importante llegar a entender que la estimación sensorial de un producto a menudo está influenciada por una secuencia de señales visuales tales como el color, la apariencia de la superficie y la flacidez al tacto (Rosenthal, 2001).

### 5.3.2 Acidez titulable



Gráfica 5 Acidez titulable de los chiles con los tratamientos

En la acidez titulable se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos desde el día 1 hasta el día 10 ( $p=0.05$ ). Se observa en la gráfica 5 que

la acidez es menor en el tratamiento con papel. De acuerdo *Díaz (2015)*, los niveles de ácido contenido decrecen durante el almacenaje, el cual está asociado con la frescura del fruto.

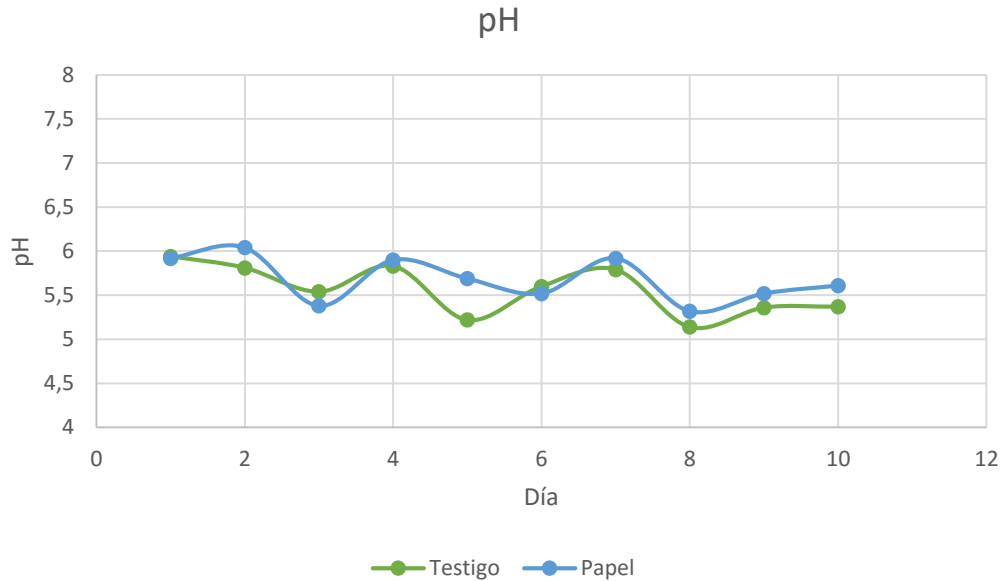
Se acuerdo a *Domene y Segura (2014)*, valores bajos de acidez permitirán una vida de anaquel más amplia, puesto que actuara a nivel fisiológico en el fruto como barrera fisiológica natural frente la acción microbiana. Por otra parte, los ácidos influyen en el sabor de los alimentos, el color, la estabilidad microbiana y en la calidad de conservación.

Se ha reportado que la acidez titulable en otros tipos de chile se atribuye principalmente al contenido de ácido ascórbico por ser un fruto rico en Vitamina C y a medida que el fruto se vuelve senescente sin presentar cambios de color, la degradación de este ácido es mayor (*Dürüst et al., 1997*).

La disminución de este ácido, de acuerdo a *Ackerman et al. (1992)*, citado por *Vila (2006)*, explica que, tras la recolección, se aumenta la respiración y en esta fase los azúcares y ácidos se utilizan como sustratos metabólicos. Una característica importante de las hortalizas es que respiran: toman oxígeno y desprenden anhídrido carbónico y agua. Además, también transpiran, estas características consignan tras la recolección.

### 5.3.3 pH

Para el pH existe diferencia significativa entre los tratamientos, el pH está relacionado con la acidez titulable, ya que aumenta cuando la acides disminuye y viceversa. La disminución o aumento en pH de los frutos, se atribuye al menor o mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal (*Salisbury y Ross, 1994*).



Gráfica 6 pH de los chiles con los tratamientos

#### 5.3.4 Determinación de humedad y pérdida de peso

Para la humedad existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p=0.05$ ), en la gráfica 7 se observa que los chiles serranos que fueron cubiertos con el papel mantuvieron el porcentaje de humedad en un rango de 85-90% de manera estable con una  $\alpha=1.26$ , mientras que los chiles sin tratamiento tuvieron mayor variación de porcentaje de humedad de 81-92% con una  $\alpha= 2.79$ . El contenido de humedad en un alimento determina diferentes propiedades y de la misma manera, influye en las reacciones físicas, químicas y enzimáticas (*Badui, 2006*). El contenido de humedad de un alimento tiene una marcada influencia sobre su estabilidad y buena conservación.

*Heijden y Haan (2012)*, mencionan que optimizar de contenido de humedad del alimento, es clave desde el punto de vista económico y de preservación de la calidad.

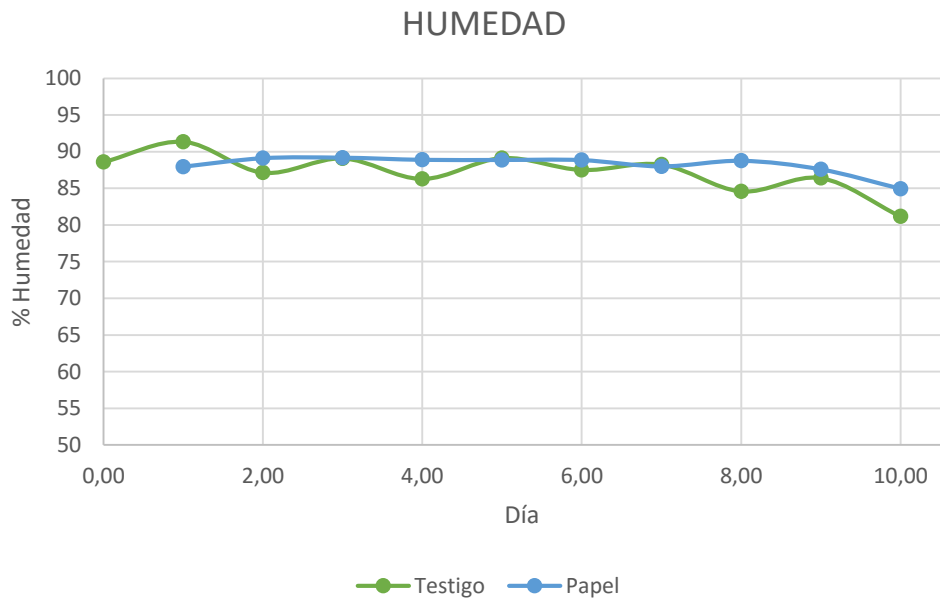
*De acuerdo a López (2003)*, la pérdida de agua o deshidratación, no solo significa la disminución del peso fresco sino también afecta la apariencia, la textura, el peso fresco del producto y en algunos casos el sabor.

La humedad tiene efectos sobre la textura del alimento. El contenido acuoso puede ser índice del grado de maduración de producto vegetal y un criterio de calidad para juzgar acerca de su textura (Bello, 2000). La mayoría de los tejidos vegetales utilizados como alimentos contienen del 75 al 95% de agua, y el comportamiento de este componente es un factor vital en los efectos del procesado de alimentos sobre la estructura y la textura.

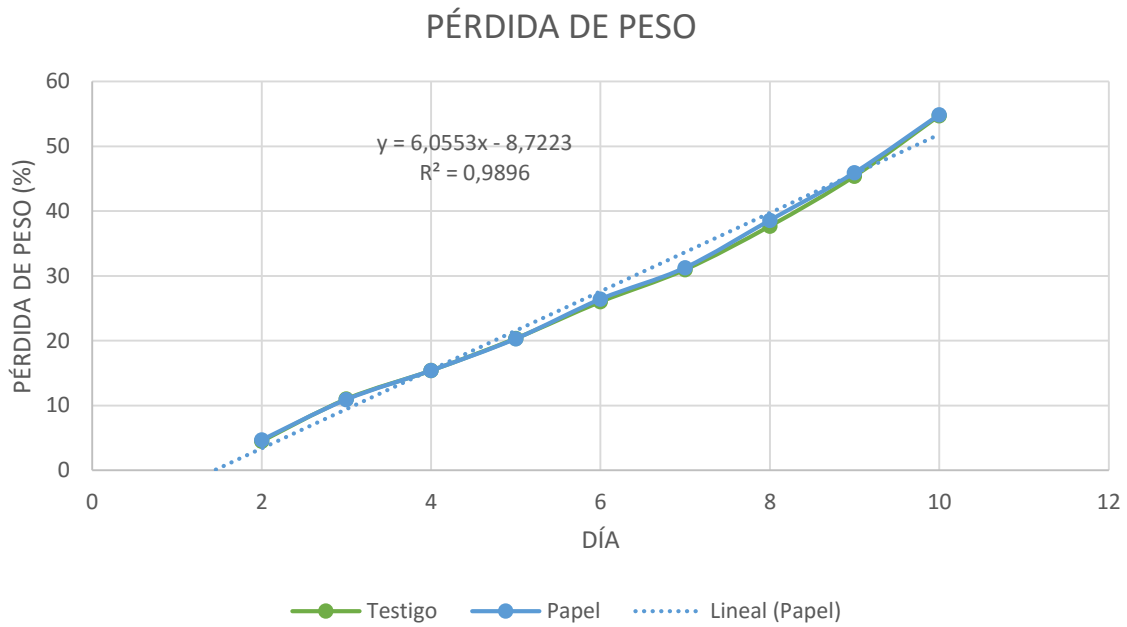
Las pérdidas o ganancias de humedad son consideradas causas físicas de alteración en los alimentos (Bello, 2000).

Es por ello que se justifica la dureza de los chiles con tratamiento, ya que, al permanecer la humedad en un rango estable, la pérdida de firmeza fue menor en estos. Por el contrario, los chiles sin tratamiento tuvieron una pérdida de firmeza mayor debido a la inestabilidad del contenido acuoso. Estos resultados pueden ser justificados por el movimiento de aire alrededor del producto el cual tiene una influencia directa en la transpiración. A medida que el vapor de agua pasa de la superficie del producto al aire, se crea una fina atmósfera más saturada alrededor del fruto, con lo cual disminuye la diferencia de presión de vapor producto-aire. Con un ligero movimiento de aire esta atmósfera se disipará y se reemplazará por aire menos saturado, con menor presión de vapor y, por tanto, con mayor capacidad de absorción de agua. Por otra parte, cuanto mayor sea la superficie expuesta al aire de un producto, en relación con su peso, mayor será su capacidad de transpiración. (Gregori, 2007). Citado lo anterior, el papel mantuvo una atmósfera saturada alrededor de los chiles y con esto la transpiración fue menor, en los chiles sin tratamiento al no estar protegidos por una barrera como el papel, el movimiento de vapor de agua provocó la transpiración y por consecuencia una variación en la humedad.

Con la pérdida de peso (Gráfica 8) no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ( $p=0.05$ ). La pérdida de agua causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo su turgencia, es decir, se vuelve blando y marchito. La pérdida de agua es importante en la apariencia del producto, disminuyendo su atractivo comercial.



Gráfica 7 Porcentaje de humedad de los chiles con los tratamientos



Gráfica 8 Porcentaje de pérdida de peso en los chiles con los tratamientos



### 5.3.5 Vitamina C

Existe diferencia significativa en el contenido de vitamina C de los chiles con y sin tratamiento. La vitamina C tuvo mayor incremento en los chiles que no fueron cubiertos con el papel.

Debido a su estructura química el ácido ascórbico (AA) es muy sensible a la degradación. Numerosos factores influyen en los mecanismos degradativos, entre ellos el pH, la concentración de oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial del ácido y la relación ácido ascórbico/ácido L-dehidroascórbico. A un  $\text{pH} > 4$ , el ácido ascórbico se convierte en prooxidante con la presencia de iones hierro (Sordo, 2014).

La vitamina C o ácido ascórbico es una de las vitaminas más sensibles, viéndose notablemente disminuida ante la presencia de diversos factores. Los 3 principales son la luz, temperatura y el oxígeno, pero también puede verse afectada por la humedad, el pH, agentes oxidantes, iones metálicos (especialmente hierro y cobre), etc (Fernández, 2018).

La vitamina C presente en el fruto de chile jalapeño es un antioxidante que también actúa como un reductor de radicales libres, propiedad que contribuye a minimizar el daño oxidativo en ese producto (Bennet y Kirby, 1968; Padayatt et al., 2001)

El contenido de vitamina C en vegetales resulta ser muy variable tanto por causas genotípicas como de manejo de pre y poscosecha (Toledo, Ueda, Imahori y Ayaki, 2003). En los tratamientos de conservación poscosecha, la pérdida de vitamina depende fundamentalmente del tiempo y la temperatura de almacenamiento, de la exposición de la luz y del daño tisular (Linder, 1991; Sauberlich, 1990)

En diferentes tejidos, principalmente de vegetales y frutas la producción de vitamina C, ácido L ascórbico, se realiza a partir de la hexosa (Glucosa). Existe una estrecha relación entre la intensidad de producción de azúcares debido a la fotosíntesis y la cantidad de ácido ascórbico sintetizado (Oliva, Rodríguez, Gutierrez y Frómetea, 2018).

Cuadro 8 Estabilidad de la vitamina C

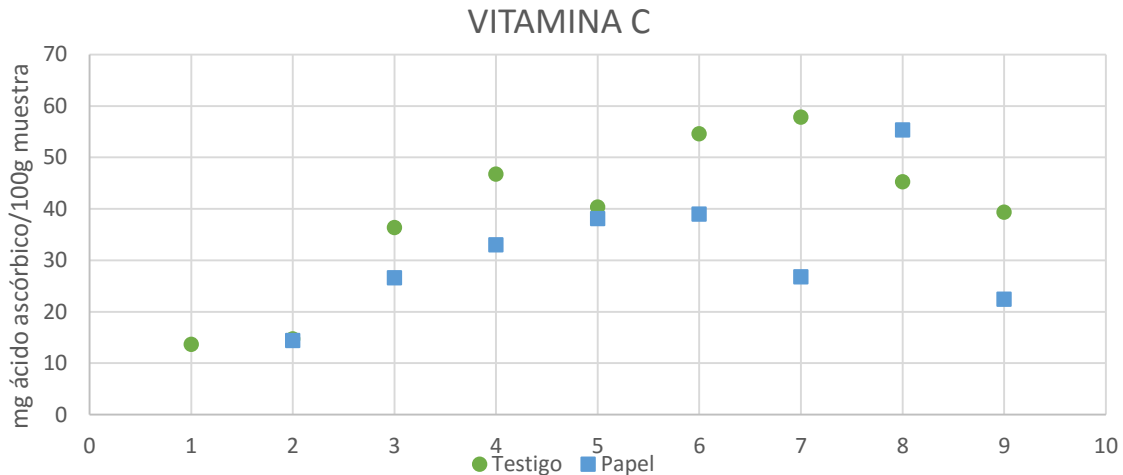
	Neutro	Ácido	Alcalino	Aire u oxígeno	Luz	Calor	Pérdida máxima por cocción
Ácido ascórbico	I	E	I	I	I	I	100

Nota: E: estable (destrucción sin importancia); I: inestable (destrucción significativa) (Fennema, 2000).

La concentración de vitaminas en frutas y hortalizas varía frecuentemente con el estado de madurez. Durante la maduración de las frutas y hortalizas, la concentración de vitaminas viene determinada por la velocidad de síntesis y degradación. No se dispone de información sobre la concentración de vitaminas a lo largo de la vida de la mayoría de las frutas y hortalizas, excepto para el ácido ascórbico y el  $\beta$ -caroteno es unos pocos productos (Fennema, 2000).

Como muchos otros muchos compuestos hidrosolubles, la velocidad de oxidación del ácido ascórbico varía con la humedad, lo que está asociado con la disponibilidad de una cantidad mayor de agua como disolvente para los reactantes y catalizadores (Fennema, 2000). Citado lo anterior, se observa en la gráfica 7 que los chiles cubiertos con papel, a pesar de mantener la humedad dentro de un intervalo estable, estos valores se mantienen por encima de los chiles sin tratamiento.

Teóricamente el chile serrano contiene un 87.5% humedad, 65 mg de ácido ascórbico por cada 100g de alimento crudo. Estos datos son importantes ya que, comparados con los experimentales, la humedad (86-88%) fue más cercana y estable en los chiles con tratamiento, sin embargo, la vitamina C fue más próxima en los chiles sin tratamiento.



Gráfica 9 Vitamina C en chiles con y sin tratamiento

### 5.3.6 Color

Para el color existe diferencia significativa para las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  entre los tratamientos a partir del día 2 hasta el 10 ( $p=0.05$ ).

Para los chiles tratados con papel no existe diferencia significativa ( $p=0.05$ ) entre los días de almacenamiento. Para los chiles sin tratamiento se observó un cambio de color verde ( $-a$ ) a color rojo ( $+a$ ) a partir del día 7, también se observó un cambio en las coordenadas  $b^*$ , existiendo diferencia significativa entre los días 7 y 8.

Estos cambios en el color están asociados a la madurez, se da una pérdida de color verde y un aumento de colores rojo y amarillo (FAO, 1987). La firmeza y el color son los principales parámetros para estimar el grado de madurez de un fruto ya que la maduración inicialmente mejora y ablanda la textura del fruto, lo que, asociado a los cambios en el sabor y color, hace que alcance la máxima calidad comestible. Sin embargo, a medida que este proceso continúa, se produce la sobremaduración, que conduce en última instancia a la desorganización de los tejidos y descomposición del producto (López, 2003).

El color constituye una de las cualidades sensoriales más apreciables a simple vista y, en consecuencia, desempeña un papel muy importante en las características de calidad de las hortalizas. Las clorofilas son el pigmento más abundante en las




















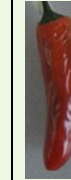
hortalizas de hoja, responsables de su color verde. La molécula de clorofila no es estable, y tanto el átomo central de magnesio como la cadena lateral de fitilo son fácilmente extraíbles cuando las frutas o las hortalizas se cocinan o se procesan, el átomo de magnesio es desplazado por el calor en condiciones acidas y se producen derivados de la clorofila de color oscuro. El desplazamiento del átomo central de magnesio de la molécula de clorofila hace que las hortalizas verdes en conserva pierdan su color natural (lo que puede ocurrir cuando se enlatan o durante el almacenamiento subsiguiente), hecho que se debe, probablemente a la liberación de ácidos orgánicos de los tejidos de la planta. Los carotenoides se encuentran en las hortalizas verdes, junto con la clorofila, y son responsables de las coloraciones amarillas, anaranjadas e, incluso rojas (Gil, 2010).

Por lo tanto, los chiles con tratamiento tienen una menor pérdida de coloración verde.

Cuadro 9. Determinación de color por CIE L\*a\*b\*

Papel										
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L*	11.33	10.67	11.67	11.67	10.33	8.33	9.33	9.67	9.33	9.33
a*	-8.33	-9.67	-	-	-8.33	-6.67	-6.67	-7.67	-7.33	-6.33
b*	7.00	5.67	10.00	10.00	6.67	4.33	0.33	5.33	5.00	5.33
Testigo										
L*	10.33	10.00	8.67	9.00	9.00	8.33	7.00	26.67	25.00	32.67
a*	-9.33	-6.67	-6.00	-6.00	-6.33	-5.00	-6.00	23.33	34.00	32.33
b*	7.00	2.67	3.33	3.00	1.67	3.00	4.67	28.00	28.00	35.33

Cuadro 10 Cambio de coloración del chile serrano con y sin tratamiento

Día Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Papel										
Testigo										

### Conclusiones

- Se determinó la concentración adecuada de maíz- *Jatropha curcas* en una porción de 95-5%, la cual presento mejores características física y químicas.
- Dentro de las etapas de proceso para obtener un papel con características físicas y químicas adecuadas, el prensado representó la más relevante en las características finales del papel.
- La aplicación del papel como material de empaque influyó en la conservación y vida de anaquel de chile serrano. presentando un efecto significativo en la dureza, acidez titulable, pH, humedad y degradación de color, sin embargo, cubrir los chiles con papel provocó una concentración baja de Vitamina C.

## Referencias

Acite consultores. (2002). Estudio del sector de fabricación de pasta papelera, papel y cartón. Madrid: Instituto Nacional del Empleo.

Ackermann J., Fischer M., Amadó R. (1992). Changes in sugars, acids, and amino acids during ripening and storage of apples (Cv. Glockenapfel). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40: 1131-1134.

Anguiano Barrales, J. (2010). Comparación en la respuesta fisiológica en platas de Chile bajo el efecto de tres temperaturas nocturnas. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Anon. (2001). The Potential of *Jatropha curcas* in rural development and environment protection – an exploration. Concept paper. Obtenido de Rockefeller Foundation and Scientific & Industrial Research & Development Centre. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de <http://www.jatropha.de/zimbabwe/rf-conf1.htm>.

Aguilar-Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(2), 189-197. Recuperado el 30 de abril de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432011000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200008&lng=es&tlng=es).

Amador, S., Zavala Carlos, & García, R. (2016). Diferentes tipos de empaque y embalaje. Honduras: Universidad Católica de Honduras. Recuperado el 30 de abril de 2018, de [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/blog/docentes/trabajos/38797\\_144921.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/38797_144921.pdf)

ASERCA. (1998). Chile verde. *Revista Claridades Agropecuarias* N° 56, 1-16.

Badui, S. (2006) *Química de los alimentos*. Pearson Educación, México, 2.

Bello, José. (2000) *Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos*. Díaz de Santos, S. A., España, página 49.

Bennet, D. J.; Kirby, G. W. (1968). Constitution and biosynthesis of capsaicin. *Journal of the Chemical Society (C)*: 442-446.

Bolsalea. (2016). El blog de Bolsalea. Obtenido de <https://www.bolsalea.com/blog/2011/09/cual-es-el-papel-satinado/>

Castellón, É., Chávez, L., Carrillo, J., & Vera, M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annum* L.) Nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista fitotecnia mexicana* Vol. 35, 27-29.

Calle Estrada, N., Fernández Lijerón, E., Godoy Tórrico, M., Sempertegui Heredia, F., & Patiño Méndez, K. (2014). Elaboración de papel a partir de fibras vegetales no maderables (Pinzote de plátano). Bolivia: Universidad autónoma Gabriel René Moreno.

CGP Coating innovation. (2013). CGP. Obtenido de <http://www.cgp-coating.com/papel-parafinado-embalaje-hidrofobo-f-20.html?Lng=4>

Cámara Argentina de papel y afines. (2017). Papel, cartón y cartulinas. Obtenido de <http://www.camarapapel.org.ar/papel-tipos-aplicaciones.php>

Casey, James (1991) Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1 Noriega limusa, México. Paginas:

De la Torre, Mayra. (1985) Los recursos celulósicos en la alimentación animal. Instituto Politécnico Nacional, México, pagina: 70

Díaz, F. (2015) Caracterización físico-química de variedades de manzana resistentes al moteado (*Venturiainaequalis* (Cke.) Winter) y evaluación sensorial. Escuela superior de Barcenola, España, paginas: 19

Digital papel. (2018). Digital papel.com. Obtenido de <https://www.digitalpapel.com/productos/cartulina-y-papel-estucado-brillo/>

Domene M. Y Segura M (2014) parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. Grupo cooperativo Cajamar, pagina 10-12.

Dürüst, N., Sümengen, D., Dürüst, Y. (1997) Ascorbic acid and minerals contents in pepper. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 45:2085-2087.

Erenstein, O. (1997). ¿Labranza de conservación o conservación de residuos? Una evaluación del manejo de los residuos en México. México: Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Escoto, T., Morales Castro, S., Rodriguez, A., & Anzaldo, J. (2010). Diseño Factorial de un Proceso Alcalino para Obtener Celulosa de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) Y su Aplicación en Cartón Ondulado. *Conciencia tecnológica*, 15-19.

FAO (1987) Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Parte I Roma, consultado en <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s00.htm#Contents>

Fennema, Owen (2000) química de los alimentos, acribia, S. A. ESPAÑA, PAGINAS 635,

Fernández, María (2018) Las verdades sobre la Vitamina C. Nutrogen Service. Consultado en: <http://nutrigenservice.com/vitamina-c/> el 28 de Abril del 2018.

Fundación vida sostenible. (Septiembre de 2010). La ruta de la energía. Obtenido de <http://www.larutadelaenergia.org/pdf/vs/gfvspapelymadera.pdf>

García Muñoz, A., & Riaño Luna, C. (1999). Extracción de celulosa a partir de la borra de café. Cenicafé, 205-214.

Gil, Ángel. (2010) Tratado de nutrición. Tomo II. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Editorial medica panamericana, México, paginas 174-176.

Gomez Londoño, J. (2012). Balance de materiales para la legislación del producto terminado en la empresa Carvajal pulpa y papel zona francapermanente especial. Santiago de Cali : Universidad Autónoma de occidente.

Gómez, P. Y Camelo A. (2002), calidad postcosecha de tomates almacenados en atmosferas controladas. Horticultura Brasileira, Brasilia, paginas 40-42

Gregori, Genaro. (2007) la transpiración de frutas y verduras. Fomesa Fruitech. España. Consultado en: <http://www.fomesafruitech.net/Fruitech/boletines/INFOPOST%2007.pdf>

Grupo Pochteca. (2015). Pochteca. Obtenido de <https://www.pochteca.com.mx/productosmp/papel-bond/>

Heijden, M. Y Haan, D. (2012) Optimización de la humedad del alimento manteniendo su caldiad, Engormix, consultado en <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/humedad-en-alimentos-t29431.htm>

Herrera, M. (2 de agosto de 2008). Celulosa papel. Obtenido de El papel prensa y su tendencia a amarillear: <http://celulosapapel.blogspot.mx/2008/08/el-papel-prensa-y-su-tendencia.html>

Horticultivos. (29 de Julio de 2010). Horticultivos. Obtenido de <https://www.horticultivos.com/521/el-cultivo-del-chile-serrano-en-mexico-2/>

INEGI, Censos económicos 2014.

Instituto Nacional de Antropología e Historia. (21 de abril de 2008). Instituto Nacional de Antropología e Historia. Obtenido de <http://www.inah.gob.mx/es/boletines/2226-primer-molino-de-papel>



Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2010). Cultivo del maíz, guía tecnológica para la producción de maíz. Managua, Nicaragua: Gobierno de reconciliación y unidad nacional.

Investigación gráfica (2017) Investigación y desarrollo para la industria gráfica. Obtenido de <http://investigaciongrafica.blogspot.com/>

Jimeno López, Antonio A. y López Saucedo, Dan C. (2007) Análisis dinámico de los rodillos del sistema de una maquina de conversión de papel Tissue. Universidad de las Américas Puebla, Puebla.

Keefe, A., & Teschke, K. (2005). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. En Fuentes de fibra para la fabricación de pasta y de papel (pág. 72.5). Madrid: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

Erenstein, O. (1997). ¿Labranza de conservación o conservación de residuos? Una evaluación del manejo de los residuos en México. México: Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Escoto, T., Morales Castro, S., Rodriguez, A., & Anzaldo, J. (2010). Diseño Factorial de un Proceso Alcalino para Obtener Celulosa de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) y su Aplicación en Cartón Ondulado. *Conciencia tecnológica*, 15-19.

Linder M. Food Quality and its determinants, from field to table: Growing Food its Storage and preparation, 2nd edition. Ed MC Linder Elsevier, New York, Amsterdam, London, Tokyo. "Nutrition and prevention of Chronic Diseases". Technical Report Series N°797. WHO, Geneve. 1991:329-348.11.

López, Andres (2003) Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado, boletín de servicios agrícolas de la Fao. Roma.

López, E. (2018). Fabricación de pasta de celulosa. Aspectos técnicos y contaminación ambiental. Argentina: Universidad del Palermo.

López Martínez, M., Bolio-López, G., Veleza , L., López-Martínez, A., Salgado García, S., & Córdova Sánchez , S. (2016). Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharumofficinarum* L.). *Agroproductividad*, 41-45.

Martínez Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila Ortíz, G., & Becker, K. (2006). Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. From Mexico. Elsevier.

Martínez Zambrano, G., Dorantes González, J., Ramírez Meraz, A., & Pozo Campodónico, O. (2005). Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 327-332.

Mazzeo, M., León, L., Mejía, G., Guerrero, L., & Botero, J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. Colombia: Universidad de Caldas.

Meza Velázquez, J. (2013) Aplicación de hidrogenofriamiento y una cubierta de polímero al melón cantaloupe para disminuir su tasa de respiración y actividad enzimática. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Milena, C., & Fuentes, M. (2012). Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. España: Universidad de Cartagena.

NMX-FF-025-1982. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA USO HUMANO. FRUTA FRESCA. CHILE-(Capsicum Sp). NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

NMX-N-001-SCFI-2011. Industrias de celulosa y papel – Determinación del gramaje o peso base del papel, cartoncillo y cartón (Peso por unidad de área) – Método de prueba.

Montes López, R. (2008). Potencial de producción de semilla de *Jatropha curcas* en Sinaloa. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Nuñez, M. (1982). Pulpa química de alto rendimiento y semiquímica al sulfito neutro de sodio a partir de tres especies de la zona del Valle del Montaro. Lima .

Octagón, S. A. (2018). *Jatropha curcas* su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energética.

#### Official Methods Of Analysis

Oliva, Hugo., Rodríguez, María., Gutierrez, Carlos y Frótema, Eduardo. (2018) Estudio de mercado en relación con la vitamina C obtenida de fuentes naturales. Instituto de investigaciones de cítricos y frutales, Cuba. Consultado en <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5177/Mercadotecnia%20acerola.pdf>

Pabón, L., & Hernández Rodríguez, P. (2012). Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales . *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 198-199.

Padayatt, S. J.; Daruwala, R.; Wang, Y.; Eck, P. K.; Song, J.; Koh, W. S.; Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. In: *Handbook of*

Antioxidants. CADENZAS, E.; PACKER, I. (eds) 2nd edition. CRC press. Washington DC, USA. Pp 117-145.

Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H., & Violic, A. (2001). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Roma: Organización de las naciones unidas para a agricultura.

Pasturas de América. (10 de febrero de 2018). Residuos del cultivo de maíz. Obtenido de <http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>

Pickersgill, B. (1984). Migrations of chili peppers, Capsicum spp. In the Americas In: Stone D. EE. UU: Papers of Peabody Museum of Archeology Harvard University Press.

Pozo, C., Montes , H., & Redondo, J. (1991). El chile (Capsicum spp.) En: Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. . México: Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C.

Prias, O. (2018). Ahorro de energía en la industria del papel. . Colombia: Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de occidente.

Propel Mendoza S.R.L. (2018). Propel. Obtenido de <http://www.propel.com.ar/productos-frutas-4sulfitofrutero.htm>

Ramírez, M. (1989). Clasificación de Genotipos de Chile Serrano (Capsicum annum L.) Según la Resistencia y Susceptibilidad a Temperaturas Altas, Tesis Maestría. México: UAAAN.

Reales, J., Castaño, H., & Zapata, J. (2016). Evaluación de tres mpetodos de pretratamiento químico sobre la deslignificación de tallos de Yuca. Información tecnológica, 11-22.

Riscart, R. (2014). Recuperación de residuos de cartón para la fabricación de prototipos de mobiliario para paliar la deforestación mundial y la generación y acumulación de residuos plásticos. España: Escuela Politénica Superior de Sevilla. Obtenido de [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10933/mod\\_resource/content/1/FABRICACION%20DE%20PAPAEEL.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10933/mod_resource/content/1/FABRICACION%20DE%20PAPAEEL.pdf)

Roberto Huerga, I. (2010). Producción de biodiesel a partir de cultivos alternativos: Experiencia con Jatropha Curcas. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, Facultad de ingeniería química.

Rosenthal, Andrew (2001) Textura de los alimentos. Medida y percepción. Acribia. España, paginas 264, 268

Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación.

Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1994) Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamericana S. A. de C. V. México, 71-441

Sartorius AG. (2017). BDC Serralles SRL. Obtenido de <http://www.bdcint.com.do/wp-content/uploads/2015/11/Sartorius-Papel-Filtro-Espa%C3%b1ol.pdf>

Sauberlich H. Ascorbic Acid. Present Knowledge in nutrition, 6th Ed. International Science Institute. Nutrition Foundation. Washington D.C.1990; pp. 132-141.

SCA. (Marzo de 2010). Publication papers. Obtenido de <https://www.sca.com/globalassets/papper/media/brochyre/papermaking-esp>

Scopel, E. (1996). Memoria del taller. Transferencia de labranza de conservación para maíz de temporal en Jalisco. México: CIMMYT, INIFAP, CIRAD, SDR.

Serratos Hernández, J. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. México: Greenpeace México.

Sordo, Juan (2014) Papel Antioxidante de Antocianinas presentes en la Col Morada (*Brassica oleracea*), en Sistemas Oxidantes de fecl3/Ac. Ascórbico en la Peroxidación del Ácido Linoleico. Universidad de las Américas Puebla, México.

Teniente Oviedo, R., Tapia Vargas, L., Zamarripa Colmenero, A., González Ávila, A., Solis Bonilla, J., Martínez Valencia, B., & Hernández Martínez, M. (2011). Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas*) en Michoacán. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Teschke, K., & Demers, P. (2005). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. En Industria del papel y de la pasta de papel (págs. 72.2, 72.3, 72.5). Madrid: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

Textos científicos. (31 de Diciembre de 2005). Proceso de obtención de pulpa al sulfato o kraft. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/kraft>

Toral, O., Iglesias, J., Montes de Oca, S., Sotolongo, J., García, S., & Torsti, M. (2008). *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. Pastos y forrajes, 205.

Torres, M. (2000). Normalización del proceso de elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz. Colombia: Universidad de la sabana.

Torres Uribe, M. (2000). Elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz (Zea mays). Cundinamarca: Universidad de la Sabana.

Treviño, J., Hernández, T. y Caballero R. (2018) Estudio del valor nutritivo de las hojas y tallo del maíz híbrido de tallo azúcarado E-10. Instituto de alimentación y productividad animal. Madrid. 289

Universidad Autónoma de Nuevo León, (2018)

Valero Ubierna, c. y Ruiz Altisent, m. 1996. Técnicas de medida de la calidad de frutas. Dpt. Ingeniería Rural, Univ. Politécnica de Madrid, Madrid. Disponible en: <http://www.iru16.iru.etsia.upm.es/pdf/2000%20Ctmcs.PDF>(consultada en noviembre 11 de 2006).

Vázquez García, E., Ramírez Meraz, M., Mata Vázquez, H., Ariza Flores, R., & Alía Tejacal, I. (2010). Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. Revista fitotecnia mexicana, 79-82.

Vaurant, Carlos (2012), Arándanos: avances científicos y tecnológicos en la región de salto grande. Facultad de ciencias de la alimentación, argentina paginas 176-178

Velázquez G., J., Salinas G., J., Potter, K., Gallardo V. , M., Caballero H., F., & Díaz M., P. (2001). Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. México: Terra 20.

Vila, Rosario. (2006) Caracterización físico-química del membrillo Japonés (Chaenomeles sp. Lindl.). Desarrollo fisiológico y conservación frigorífica. Universidad de Murcia, Murcia, paginas 195

Zamarripa Colmenero, A., Pecina Quintero, V., Avendaño Azarrate, C., Solís Bonilla, J., & Martínez Valencia, B. (2010). Genetic diversity of Mexican germplasm collection of Jatropha curcas L. Lyon, France: 18th European biomass conference and exhibition.

Zúñiga, V. (1989). Botánica sistemática. Universidad Nacional de Piura.