





**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

# **DISEÑO DE PRODUCTOS DE PAPEL ELABORADO CON FIBRA DE PIÑA**

Tesis Profesional para obtener el Título de Ingeniero en Diseño

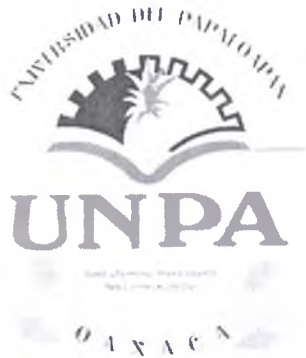
Presenta:

**ALMA ROSA VELASCO ROSALES**

Asesor de tesis

D.I. Alejandro Antonio Dávila Palmieri

LOMA BONITA, OAXACA, FEBRERO 2016.



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN INGENIERÍA EN DISEÑO

LA PRESENTE TESIS TITULADA "DISEÑO DE PRODUCTOS DE PAPEL ELABORADO CON FIBRA DE PIÑA", PRESENTADA POR LA PASANTE ALMA ROSA VELASCO ROSALES, BAJO LA ASESORÍA DEL D.I. ALEJANDRO ANTONIO DÁVILA PALMIERI, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO.

**JURADO EXAMINADOR**

D.I. ALEJANDRO ANTONIO DÁVILA PALMIERI  
ASESOR

*Laura Patricia Rivas Vázquez*

DRA. LAURA PATRICIA RIVÁS VÁZQUEZ  
REVISOR

DR. ROBERTO SUÁREZ ORDUÑA  
REVISOR

M.D.I. ARTURO ESTRADA RUIZ  
REVISOR

M.B.A. ENRIQUE VALDES PLIEGO  
REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, FEBRERO 2016.

# DEDICATORIA

A **Dios**, por protegerme, darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A **mi madre**, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores, pero más que nada por su amor.

A **mi padre**, porque desde pequeña me enseñó a luchar por alcanzar mis metas, por todos esos ejemplos de perseverancia y constancia, que me han motivado a salir adelante a pesar de nuestra distancia física, está conmigo cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mi hermano **Omar**, por el apoyo incondicional durante mi estancia en la universidad y sus consejos, donde por momentos tuvo que ocupar el papel de padre.

A mi hermano **Silvio** por ser mi cómplice en todas aquellas aventuras que pasamos juntos, hasta la hora que Dios decidió volverte un ángel que hoy cuida de mí desde el cielo.

A mi hermanito **Aarón**, que siempre me ha brindado un amor puro, inocente e incondicional.

A **Josimar**, por estar siempre a mi lado en todo momento, por su comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos para seguir adelante.

# AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad del Papaloapan** por permitirme ser parte de una generación de triunfadores, apoyándome en mi formación profesional.

Agradezco la oportunidad de realizar este trabajo a mi Director de Tesis el **D.I Alejandro Antonio Dávila Palmieri**, por todo su apoyo, motivación, confianza y paciencia para concluir esta etapa de mi vida.

Gracias al **Dr. Guillermo Juárez López** por su asesoría, apoyo y realización de pruebas experimentales en el Centro de Estudios de Nuevos Materiales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Un agradecimiento al **M.A.V. Alejandro Alberto Bravo Guzmán** por su apoyo durante mi licenciatura, así como para el desarrollo de esta tesis.

Gracias a **C. Enrique Ramírez Castellanos** por sus conocimientos y asesorías para la elaboración de papel artesanal.

A mis revisores de tesis la **Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez**, **Dr. Roberto Suárez Orduña**, **M.C. Arturo Estrada Ruiz** y **M.B.A. Enrique Valdes Pliego** por el apoyo y recomendaciones para el término de este trabajo.

# RESUMEN

En recientes años, se han desarrollado estudios y tecnologías para la reutilización de desechos agroindustriales, generando diversas aplicaciones, principalmente para la industria del papel, debido a la celulosa contenida en las fibras.

De tal forma, que en el presente trabajo, se enfocó a utilizar los desechos generados por la industria piñera en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca, los cuales provocan serios problemas ambientales, generando desechos como cáscara, bagazo, corazón y corona. Para ello, se propuso una metodología, donde se reutilizan todos los componentes de la piña.

Las etapas que se desarrollaron en esta investigación, incluyen la recolección, separación, mezcla, elaboración, secado del papel. Los resultados alcanzados, presentan características y propiedades adecuadas, que mediante la combinación de estas fibras, se obtuvieron tres tipos, siendo claro, medio y oscuro. Aunado a esto, se propone también la elaboración de objetos utilitarios y decorativos, utilizando los papeles elaborados, tales como: lámparas, bolsas comerciales y como uso de papel para impresión.

Lo anterior, es debido a que las características y pruebas realizadas al papel elaborado con desechos de piña, presentan las propiedades mecánicas y físicas requeridas para este tipo de aplicación.

# ABSTRACT

Recently, studies and technologies have been developed for the recycling of agro industrial waste. This generates diverse applications, mainly for the paper industry because of the cellulose contained in the fibers.

The present work focus on the use of the peel, pulp, heart and crown considered as a waste of the pineapple industry in Loma Bonita City, Oaxaca which causes serious environmental problems. For this reason, this methodology has been proposed where all components of the pineapple can be recycled.

The stages developed in this investigation include recollection, separation, making of mixture, elaboration and paper drying. The results obtained from the fibers present suitable properties for the production of paper. And three types of paper have been produced; the colors are light, medium and dark, for the purpose of being used in useful and decorative issues: as well as for lamps, commercial bags and printer paper.

The above information results of the tests applied at the pineapple waste paper that has the necessities mechanical and physical properties for this kind of application.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE PLANOS	VIII
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
<b>2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
2.1 Antecedentes	4
2.2 Origen de la piña	6
2.2.1 Clasificación taxonómica	6
2.2.2 Composición química	8
2.2.3 Contenido de minerales	8
2.2.4 Descripción botánica	8
2.2.5 Fruto	10
2.2.6 Ecología, clima y suelo	10
2.3 Producción mundial	12
2.4 Producción nacional	13
2.5 Producción municipal	13
2.6 Municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México	14
2.6.1 Localización Loma Bonita Oaxaca	15
2.6.2 Clima	16
2.6.3 Flora	16
2.6.4 Fauna	16
2.7 Variedades de la piña cultivada	16
2.7.1 Cayena Lisa	17
2.7.2 Híbrido MD-2	18
2.8 Importancia del aprovechamiento de los desechos de piña	19
2.9 Propiedades de las fibras de piña	19
2.9.1 Corona	19
2.9.2 Bagazo	20
2.9.3 Corazón o centro	20
2.9.4 Cáscara	21
2.9.5 Contenido de fibra en la piña	21

2.10 Aplicaciones	22
2.10.1 Piñatex	22
2.10.2 Otras aplicaciones	23
2.10.3 Taller Arte Papel Oaxaca	24
<b>3 DESARROLLO EXPERIMENTAL, MATERIALES Y EQUIPO</b>	<b>25</b>
3.1 Metodología	25
3.2 Materiales y equipo	27
3.3 Condiciones experimentales	27
3.3.1 Recolección	28
3.3.2 Cocción de fibras	28
3.3.3 Elaboración de mezcla	30
3.3.4 Elaboración de papel	32
3.3.5 Secado	34
3.4 Características mecánicas y físicas	34
3.4.1 Doble	35
3.4.2 Porcentaje de humedad	35
3.4.3 Gramaje	36
3.4.4 pH	36
3.4.5 Absorción de agua	37
3.4.6 Hongos	39
<b>4 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>40</b>
4.1 Recolección de desechos	40
4.2 Fibras de piña	41
4.2.1 Corona	41
4.2.2 Bagazo	42
4.2.3 Corazón o centro	43
4.2.4 Cáscara	43
4.4 Cocción de las fibras	44
4.5 Elaboración de mezcla	45
4.6 Elaboración de papel	46
4.7 Secado	49
4.8 Características mecánicas y físicas	49
4.9. Mecánicas	50
4.9.1. Doble	50
4.9.2 Absorción de agua	52
4.9.3 Absorción de tinta	53
4.10 Físicas	55
4.10.1 Espesor	55
4.10.2 Gramaje	56
4.10.3 Humedad	57
4.10.4 Densidad aparente	59
4.10.5 Volumen específico	60

4.10.6 Lisura	60
4.10.7 pH	61
4.10.8 Hongos	63
4.10.9 Orientación de las fibras	65
4.10.10 Impresión en laser	67
4.10.11 Serigrafía	68
4.11 Diseño de objetos	69
4.11.1 Diseño de lámpara	70
4.11.2 Diseño de bolsa	80
4.11.3 Encuadernación	82
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>85</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>89</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema de los diferentes brotes o hijuelos de una planta de piña	10
Figura 2.2	Principales países productores	12
Figura 2.3	Rendimiento de los países productores de piña (t/ha.)	12
Figura 2.4	Localización Municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México	15
Figura 2.5	Piñatex	23
Figura 2.6	Aplicaciones de Piñatex	23
Figura 3.1	Metodología	26
Figura 3.2	Recolección cáscara y pulpa.	28
Figura 3.3	Recolección de corona	28
Figura 3.4	Separación de hojas	29
Figura 3.5	Molienda de fibras cocidas	30
Figura 3.6	Reposado del nopal en agua	30
Figura 3.7	Algodón comercial utilizado	31
Figura 3.8	Agregando el polímero	31
Figura 3.9	Agregando la fibra molida	31
Figura 3.10	Malla interna #5	32
Figura 3.11	Malla externa #20	32
Figura 3.12	Marco sin malla	32
Figura 3.13	Sumergido de bastidor	33
Figura 3.14	Escurrimiento	33
Figura 3.15	Acomodo de hoja	33
Figura 3.16	Colocación de fieltro	33
Figura 3.17	Secado de papel	34
Figura 3.18	Separación de hoja	34
Figura 3.19	Ruptura de papel	35
Figura 3.20	Calibración pH metro	37
Figura 3.21	Tamaños de papel 10x10 cm	38
Figura 3.22	Segmento trazado en el papel	38
Figura 3.23	Papel sumergido en agua	38
Figura 4.1	Fibras de la corona de piña observada a 40x	42
Figura 4.2	Pared celular de corona observada a 40x	42
Figura 4.3	Fibras del bagazo de piña, observadas a 40x	42
Figura 4.4	Fibras del bagazo de piña, observadas a 70x	42
Figura 4.5	Fibras del corazón de piña, observadas a 40x	43
Figura 4.6	Fibras del corazón de piña, observadas a 40x	43
Figura 4.7	Fibras cáscara de piña, observadas a 40x	44
Figura 4.8	Fibras cáscara de piña, observadas a 40x	44

Figura 4.9	Molienda de fibras	46
Figura 4.10	Corte de nopales para la extracción del aglutinante	46
Figura 4.11	Malla externa #20	47
Figura 4.12	Malla interna #5	47
Figura 4.13	Marco sin malla	48
Figura 4.14	Papel: (a) claro, (b) medio y (c) oscuro	48
Figura 4.15	Exposición de pliegos de papel al sol	49
Figura 4.16	Papel seco	49
Figura 4.17	Doblez con la el sistema de Ori Miura en el papel medio	51
Figura 4.18	Absorción de agua para el papel medio	52
Figura 4.19	Papel claro	54
Figura 4.20	Papel medio	54
Figura 4.21	Papel oscuro	54
Figura 4.22	Medición de espesor	56
Figura 4.23	Lado liso	61
Figura 4.24	Lado rugoso	61
Figura. 4.25	Agitación del papel claro en agua desionizada	62
Figura. 4.26	Vaso de precipitados con 100 gr de muestra de papel claro diluida en 20 ml de agua desionizada	62
Figura 4.27	Papeles sobre portaobjetos con la solución de azul de lactofenol	64
Figura 4.28	Papel claro	64
Figura 4.29	Papel medio	64
Figura 4.30	Papel oscuro	64
Figura 4.31	Papel claro a 40x	66
Figura 4.32	Papel claro con foco de 60 W	66
Figura 4.33	Papel medio a 40x	66
Figura 4.34	Papel medio con foco de 60 W	66
Figura 4.35	Papel oscuro a 40x	67
Figura 4.36	Papel oscuro con foco de 60 W	67
Figura 4.37	Impresión en papel claro	68
Figura 4.38	Impresión en papel medio	68
Figura 4.39	Impresión en papel oscuro	68
Figura 4.40	Impresión en tinta serilustre	69
Figura 4.41	Impresión en tinta kartel	69
Figura 4.42	Cara lateral	70
Figura 4.43	Cara superior	70
Figura 4.44	Boceto de lámpara uno	71
Figura 4.45	Boceto de lámpara dos	71
Figura 4.46	Vista superior	72
Figura 4.47	Vista lateral	72
Figura 4.48	Vista isométrica	73

Figura 4.49	Vista isométrica dos	73
Figura 4.50	Superficie de pegado	74
Figura 4.51	Pegado de hoja a la madera	74
Figura 4.52	Despiece de lámpara	74
Figura 4.53	Estructura de madera	74
Figura 4.54	Interior de lámpara	75
Figura 4.55	Exterior de instalación eléctrica	75
Figura 4.56	Boceto de bolsa uno	80
Figura 4.57	Boceto de bolsa dos	80
Figura 4.58	Propuesta final de bolsa	81
Figura 4.59	Cubiertas con papel claro y oscuro	82
Figura 4.60	Libretas tamaño un cuarto de carta y media carta	83
Figura 4.61	Libretas tamaño carta con aplique en encaje y listón azul	83

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Clasificación taxonómica científica	7
Tabla 2.2	Producción nacional	13
Tabla 2.3	Producción por municipio	14
Tabla 2.4	Comparación de la composición química de los desechos de piña	22
Tabla 4.1	Elementos para la preparación de mezclas	45
Tabla 4.2	Elaboración de diferentes tipos de papel	48
Tabla 4.3	Dobleces realizados a los diferentes tipos de papel	51
Tabla 4.4	Absorción de agua en papel elaborado con desechos de piña	52
Tabla 4.5	Absorción de tinta en papel elaborado con desechos de piña	54
Tabla 4.6	Espesores de papel con desechos de piña	56
Tabla 4.7	Gramaje del papel elaborado con residuos de piña	57
Tabla 4.8	Porcentaje de humedad	58
Tabla 4.9	Densidad aparente	59
Tabla 4.10	Volumen específico	60
Tabla 4.11	pH	62

# ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Vista de lámpara 1	76
Plano 2	Vista de lámpara 2	77
Plano 3	Diagrama de instalación eléctrica	78
Plano 4	Ensamblés	79
Plano 5	Desarrollo de prototipo de bolsa	84

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

**E**n las últimas décadas, la piña es utilizada principalmente para consumo humano ya sea procesada o en forma natural. Esta fruta es producida en países con zonas tropicales, como Tailandia, Brasil, Costa Rica, Filipinas, China y México ocupando el noveno lugar a nivel mundial. Los estados de mayor producción de piña en México, como lo menciona el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera son: Veracruz, Oaxaca y Tabasco (SIAP, 2013). En el estado de Oaxaca, el municipio de mayor producción es Loma Bonita, donde su aportación sólo es utilizada para la producción de enlatados en trozos, rebanadas y para jugo en pequeñas empresas. Éstas, destinan en su mayoría los desechos como alimento para ganado en temporadas de sequía. Pero en la actualidad no se cuenta con un plan de desarrollo para tratar los desechos que la piña genera por su consumo, ya que a nivel mundial es una de las principales frutas tropicales en abundancia por su aportación nutricional que ésta proporciona al ser humano; más sin embargo, no se han reportados muchos estudios científicos que proporcionen alguna aplicación industrial. Como alternativas se encuentra la fabricación de cartón a partir de cáscara y planta, pero sin utilizar todos los elementos que la piña contiene (Hernández, 2014), además el diseño de muebles a partir de cáscara de piña (Castro, 2009), por mencionar algunos. De tal manera, que el presente proyecto, comienza por la

experiencia obtenida en el taller Arte Papel Vista Hermosa de San Agustín Etla, Oaxaca, donde se elabora papel utilizando como materia prima fibras naturales de la región. (<http://www.arquitectura.uia.mx>). Por lo anterior, surge la iniciativa de proponer el aprovechamiento para la utilización de los desechos de la piña, ya que estos están en forma de fibra, así como el diseño de productos utilitarios elaborados con fibra de la cáscara, bagazo, corazón y corona, localizada en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca. Para ello, es necesaria la realización de pruebas físicas, químicas y mecánicas, lo cual permitirá la elaboración de papel que podrá ser utilizado en la elaboración de piezas artesanales y otros productos.

## 1.2 Justificación

En el municipio de Loma Bonita Oaxaca, se produjeron 76,156.50 toneladas de piña en el año 2103, esto de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013), lo cual generó residuos agroindustriales de cáscara, bagazo, corazón, corona y planta, desechos que son almacenados en la industria por cortos periodos de tiempo, debido a que la población se encarga de recolectarlos para utilizarlo como alimento de ganado. Por otro lado, existen pocos reportes de investigación para el aprovechamiento y utilización de estos residuos como productos alternativos. De tal forma, que en este trabajo de investigación, se propone la elaboración de papel artesanal a partir del desecho de piña, para el diseño de productos que contribuya a la generación de empleos y desarrollar el progreso del municipio de Loma Bonita, Oaxaca.

Además, la producción artesanal de objetos a partir de papel de fibra de piña, coadyuvará a fortalecer una identidad cultural. Así como también impulsará la

innovación y producción eficiente del municipio, buscando aumentar la comercialización y competitividad de productos elaborados con la materia prima del lugar.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Hasta el momento, existen pocas alternativas para el aprovechamiento de los desechos generados por la producción industrial de la piña, por lo que se propone la fabricación de papel artesanal a partir de éstos, asimismo el diseño y elaboración de objetos utilizando el papel obtenido.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Mediante la elaboración de papel utilizando desechos de fibra de piña, se diseñarán productos encaminados a la producción de objetos artesanales.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Elaboración de papel con desechos de piña generados por la industria conservadora y microempresas de jugos de piña, utilizando cáscara, bagazo, corazón y corona.
- Diseño de objetos utilizando papel de fibra de piña

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

La piña (*Ananas comosus*), ha sido durante mucho tiempo una de las frutas más apreciadas de las zonas tropicales y subtropicales, debido a su atractivo sabor refrescante y equilibrio de azúcar-acidez, además de ser por mucho tiempo un importante cultivo comercial producido en más de 80 países. El cultivo de las distintas variedades es para consumo humano, siendo estas: Smooth Cayenne, Roja Española, Perolera, Pernambuco y de la reina. Smooth Cayenne representa aproximadamente el 70% de la producción mundial de piña y es el progenitor de las variedades más importantes que se utilizan para jugo y como consumo de fruta (Janick y Moore, 1996). También, es la variedad de piña principal actualmente cultivada en Costa de Marfil. Pertenece a la familia de las bromeliáceas, del orden Bromeliales y a la especie *Ananas comosus*. La familia Bromeliáceae se caracteriza por tener flores de tres piezas, escamas foliares exclusivas y con la propiedad de retener agua. Las hojas de la planta están dispuestas en espiral, por lo general en capas, que actúan como pendientes de captación del agua y el depósito como reserva. El embrión de las plantas tiene un solo cotiledón (Hassan et al. 2011). Las piñas se propagan tradicionalmente por los retoños. La ventaja de utilizar las plantas del cultivo de tejidos para la producción de piña se ha demostrado en los últimos años (Mariska y Roostika, 2003).

Por otro lado, según estimaciones de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013), se calcula que para 2014 la producción mundial de frutas tropicales llegará a 82 millones de toneladas; de donde el 78% corresponde a “frutas principales” (mango, piña, aguacate y papaya) y el 22% a “frutas secundarias” (litchi, rambután, guayaba y maracuyá) (FAOSTAT, 2013).

La producción de piña, es de gran importancia económica para las zonas tropicales y subtropicales del mundo, ya que es el segundo fruto tropical producido después del mango. Se prevé, que la producción de piña para 2014, alcance aproximadamente 18.7 millones de toneladas, lo que representa el 23% de la cosecha mundial de frutas tropicales. Los principales países productores de piña se encuentran en Asia-Pacífico (Tailandia, India, Filipinas, China, Vietnam y Malasia), con el 47% de la producción mundial. En América Latina, los principales productores son Brasil y Costa Rica, ocupando el segundo y tercer lugar a nivel mundial, respectivamente; México, ocupa el décimo lugar como productor de piña, ya que en el año 2012, la superficie total cultivada fue de aproximadamente 17 mil hectáreas, con una producción aproximada de 760 mil toneladas, siendo los principales productores los estados de Veracruz, Oaxaca, Nayarit y Tabasco (FAOSTAT-SIAP, 2013).

La variedad que más se cultiva en México es “Cayena Lisa”, con 80% de la superficie sembrada (Rebolledo et al. 2006). Sin embargo en las últimas dos décadas, las dos principales empresas productoras de piña en el mundo “Del Monte y Dole”, además de que dieron lugar a un nuevo cultivo de piña, el híbrido MD2 (en México conocido como “Piña miel”), originado en Hawái; también han realizado campañas para su ingesta en los principales países consumidores como Estados Unidos y la Unión Europea, a través de las cadenas de supermercados. El atractivo de sembrar MD2 es porque los frutos tienen la

pulpa más amarilla, más dulce y con menor acidez que otra variedad, posee de 15 a 17° Brix de sólidos solubles totales, mientras que “Cayena Lisa” tiene de 12 a 15°; también cuenta con un mayor contenido de vitamina A y C, además de que el fruto adquiere una forma más cilíndrica y no con forma de botella, lo que para la agroindustria es muy apreciado debido a existe menor desperdicio al ser peladas para su industrialización (Espinosa et al. 2014).

## 2.2 Origen de la piña

Se origina principalmente en las tierras altas y secas, de la región de Matto Grosso de Brasil y Paraguay, donde aún se encuentran diferentes especies de piñas silvestres. En 1493, durante el segundo viaje, Cristóbal Colon descubrió este fruto en la isla de Guadalupe, donde los indígenas ya tenían domesticado este cultivo. En 1535, la piña fue introducida a España y para 1548 ya era conocida en la India y otros países del Oriente y a finales del siglo XVII era conocido en todas las regiones tropicales del mundo (Espinosa, 2014).

### 2.2.1 Clasificación taxonómica

La piña pertenece a la familia Bromeliaceae (Tabla 2.1), una familia muy grande oriunda de América, con solamente una especie originaria de África (Espinosa, 2014). El fruto, es una pequeña baya, que se fusiona tempranamente con las adyacentes en un sincarpio o infrutescencia, grande y de forma ovoide. El corazón del sincarpo que es más fibroso, se forma a partir del tallo axial engrosado, las paredes del ovario, la base de la bráctea y los sépalos se transforman en una pulpa amarilla, apenas fibrosa, dulce y ácida, muy fragante, que no guarda rastro de los frutos que la compusieron. La flor propiamente

dicha, se transforma en un escudete octogonal de cubierta dura, formada por la fusión del ápice de la bráctea y los tres sépalos, que formará la dura piel cerúlea y espinosa del fruto. La cavidad de la flor endurece sus paredes; según el cultivar, aparece como una celdilla vacía junto a la piel, en la que se conservan los restos duros y filiformes de los estambres o se reduce a unas ranuras. Más hacia el interior, las celdas del ovario, que contienen las semillas en el raro caso de fertilización, también se estrechan considerablemente. Estas últimas son de tamaño bimilimétrico, arrugadas, de forma amigdaloides y de color pardo más o menos oscuro. Su aroma se debe al acetato de etilo.

Es importante señalar que la piña presenta distintos sinónimos, entre los principales se encuentran: *Ananas ananas*, *Ananas bracteatus hondurensis*, *Ananas paraguayensis*, *Ananas sativa*, *Ananas sativus*, *Ananassa sativa*, *Bromelia ananas*, *Bromelia comosa*.

Tabla 2.1 Clasificación taxonómica científica.

CLASIFICACIÓN	FAMILIA
<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Tracheobionta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Subclase</b>	Commelinidae
<b>Orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Bromeliaceae
<b>Subfamilia</b>	Bromelioideae
<b>Género</b>	Ananas
<b>Especie</b>	Comosus

Fuente: Espinosa, 2014.

### 2.2.2 Composición química

La porción comestible de la piña, contiene el 81.2-86.2% de humedad y 13-19% de sólidos totales. Los carbohidratos representan hasta el 85% de los sólidos totales y la fibra del 2-3%. De los ácidos orgánicos, el ácido cítrico es el más abundante. La pulpa se caracteriza por la presencia de bajas cantidades de cenizas, compuestos nitrogenados y grasa en 0.1%. Del 25-30% de los compuestos nitrogenados corresponden a la proteína. De esta proporción casi el 80% tiene actividad enzimático proteolítica conocida como Bromelina (Bartholomew et al. 2003).

### 2.2.3 Contenido de minerales

Estudios realizados por Kruege, para diferentes tipos de fruta de piña, mencionan que los componentes elementales presentes en la fruta son K, Ca, Mg, P, Al, Fe, Na y Zn, los cuales están presentes en pequeñas cantidades, sin alcanzar a detectar Pb (Krueger, 1992). Es importante destacar, que las concentraciones minerales de los elementos que conforma la fruta de piña, varían de acuerdo con el modo inicial de propagación de la planta.

### 2.2.4 Descripción botánica

El fruto de piña es una planta herbácea, cuya altura es de aproximadamente de 1 metro. Posee de 30 a 40 hojas tiesas, puntas sobre un tallo formando una roseta gruesa; el grosor de sus hojas, le confiere una gran capacidad para retener agua y resistir la pérdida de la misma. El sistema radicular de la piña es muy superficial, generalmente las raíces se localizan en los primeros 15 cm. del suelo, aunque pueden profundizarse hasta 60 cm. o más. El tallo se encuentra cubierto de hojas lanceoladas, es carnoso y se encarga de almacenar los nutrientes de la planta, que son desarrollados por las hojas, las cuales son

envolventes dispuestas en forma de espiral. Una planta adulta presenta de 70 a 80 hojas por planta. Los bordes de éstas pueden estar provistas de espinas o libres, según la variedad. Son nombradas de acuerdo a su posición en el tallo, las que se localizan en la parte más baja son las A, B y C; las localizadas en la parte superior son nombradas D, E, y F. Para el análisis foliar, se debe tomar la hoja D por ser la más madura y la más larga; en el análisis foliar se le suele dividir en 3 secciones (la base, el centro y la punta): de estas, la base es la sección utilizada para medir los sistemas de potasio, fosforo, magnesio y calcio y la sección central, que sirve para determinar azufre, nitrógeno y hierro. Las hojas poseen venas paralelas y tienen espinas en la punta. Están compuestas por un polvo blancuzco que las protege de la pérdida de agua (Anderson, 1991).

La inflorescencia contiene de 100 a 200 flores dispuestas en forma de espiral fusionadas entre sí y con el tallo central, dando origen a un fruto partenocárpico del cual la cáscara está formada por los sépalos y brácteas de la flor. El fruto es no climatérico y su forma varía de cilíndrico hasta forma piramidal, dependiendo la variedad. Del tallo central, brotan los diferentes tipos de materiales que se pueden utilizar para propagar la piña, estos son: basales que se forman en la base del fruto; los hijuelos de tallo (Figura 2.1) que se desarrollan a partir de yemas axilares del tallo y los retoños que se originan en la base de éste, por la proximidad al suelo presentan raíces propias, cualidad que los convierte en aptos para una segunda cosecha; y la corona que se ubica en la parte superior del fruto. Para propagar la piña, el material más recomendable son los hijuelos que se desarrollan a partir de las yemas axilares del tallo (<http://www.botanical-online.com/pina.htm>).

### 2.2.5 Fruto

El fruto de la piña es compuesto por un racimo de frutículos individuales, que son como la extensión del tallo por la forma en que se aloja sobre un pedúnculo de 100 a 150 milímetros de largo. Su peso alcanza hasta 8 libras en piñas grandes, pero comercialmente es preferible la piña de tamaño mediano, aproximadamente de cuatro libras.

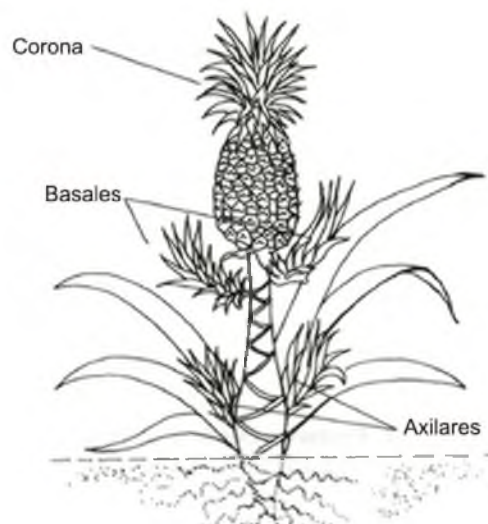


Figura 2.1 Esquema de los diferentes brotes o hijuelos de una planta de piña.

Fuente: Domínguez, 2013.

### 2.2.6 Ecología, clima y suelo

#### Clima

El cultivo de la piña se desarrolla en condiciones favorables en altitudes que van desde 100 hasta 600 msnm, considerándose como óptimas y de 50 a 200 msnm, como buenas. Los factores climáticos más relevantes son la temperatura, la precipitación y la luminosidad.

## Temperatura

La temperatura juega un papel fundamental en el desarrollo de la planta y fruta, así como de factores de diferenciación y calidad. Los rangos favorables oscilan entre los 20 y 30 °C, aunque temperaturas de 25 a 27 °C son las óptimas.

## Precipitación

La precipitación es uno de los elementos climáticos más importantes del cultivo. Debe considerarse la cantidad o intensidad de lluvia así como la distribución de los 12 meses del año. Comercialmente se estima que es necesario disponer de 1,200 a 2,500 milímetros anuales de lluvia para garantizar el crecimiento normal del cultivo y en los periodos secos utilizar riego complementario para no detener su desarrollo y en condiciones de exceso de humedad, habilitar drenajes para evacuar el exceso de agua de los campos. Durante su ciclo de producción la planta de piña puede consumir aprox. 60 litros de agua (Preteltde, 1999).

## Suelo

Suelos con muy buen drenaje y profundidad de más de un metro, con textura arenosa, migajón-arenoso o migajón areno-arcilloso y pH entre 4.5 y 5.5, valores mayores de pH, resultan en alta incidencia de pudriciones de raíz y cogollo por hongos del género *Phytophthora*, especialmente en este híbrido que es doblemente susceptible en comparación con el clásico clon Cayena Lisa (Espinosa, 2014).

## 2.3 Producción mundial

La producción mundial de piña para el año 2011 fue de aproximadamente 21.5 millones de toneladas. Los principales países productores son Tailandia, Brasil y Costa Rica con el 33% de la producción; México ocupa el noveno lugar con 742,926 toneladas (Figura 2.2). El rendimiento más alto (Figura 2.3), lo tiene Indonesia con 137.6 t/ha, México tiene un rendimiento de 42.95 t/ha ocupando el octavo lugar (FAOSTAT, 2013).

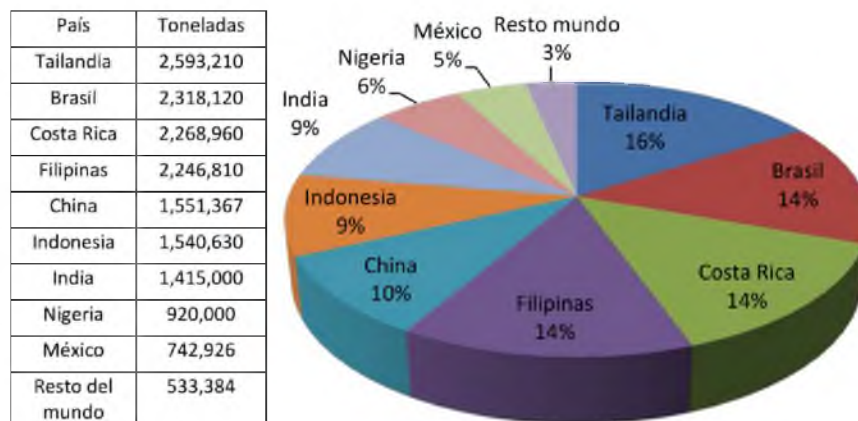


Figura 2.2 Principales países productores.  
Fuente: FAOSTAT, 2013.

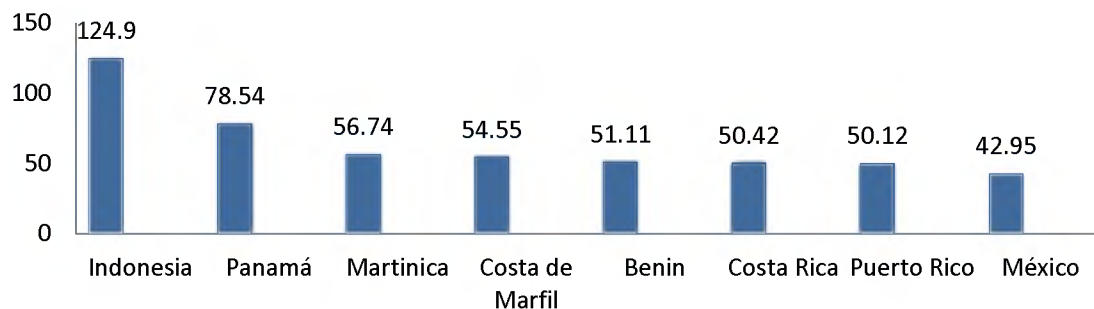


Figura 2.3 Rendimiento de los países productores de piña (t/ha).  
Fuente: FAOSTAT, 2013.

## 2.4 Producción nacional

México produjo 771,941.85 toneladas de piña en fresco, en el año 2013. Los principales estados productores de piña fueron Veracruz, Oaxaca y Tabasco, en donde sólo el estado de Veracruz aportó el 71% de la producción nacional (Tabla 2.2). La mayor parte de la producción nacional es destinada para el mercado interno, debido a que los frutos no alcanzan los estándares de calidad exigidos por el mercado internacional (SIAP, 2013).

Tabla 2.2 Producción nacional.

UBICACIÓN	PRODUCCIÓN (Ton)	PRODUCCIÓN (%)
<b>Veracruz</b>	542,657.25	70.30
<b>Oaxaca</b>	107,145.00	13.88
<b>Tabasco</b>	47,530.00	6.16
<b>Nayarit</b>	28,356.15	3.67
<b>Colima</b>	16,710.00	2.16
<b>Quintana Roo</b>	11,308.00	1.46%
<b>Jalisco</b>	10,777.00	1.40%
<b>Chiapas</b>	6,567.00	0.85%
<b>Guerrero</b>	523.45	0.07%
<b>Tamaulipas</b>	200	0.03%
<b>México</b>	100	0.01%
<b>Campeche</b>	68	0.01%
<b>TOTAL:</b>	771,941.85	100.00%

Fuente: SIAP, 2013.

## 2.5 Producción municipal

El estado de Oaxaca produjo 107,145.00 toneladas de piña en fresco en el año de 2013. Los principales municipios productores fueron Loma Bonita, San Juan

Bautista Tuxtepec y Santa María Zaniza, en donde el municipio de Loma Bonita aportó el 71.08% de la producción estatal (Tabla 2.3) (SIAP, 2013).

Tabla 2.3 Producción por municipio.

MUNICIPIO	PRODUCCIÓN (Ton)	PRODUCCIÓN (%)
<b>Loma Bonita</b>	76,156.50	71.08
<b>San Juan Bautista Tuxtepec</b>	30,510.00	28.48
<b>Santa María Zaniza</b>	152.5	0.14
<b>San Lorenzo Texmelúcan</b>	110.5	0.10
<b>Santo Domingo Tejomulco</b>	110.5	0.10
<b>San Juan Guichicovi</b>	105	0.10
<b>TOTAL:</b>	107,145.00	100

Fuente: SIAP, 2013.

## 2.6 Municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México

Loma Bonita es un municipio que pertenece al estado de Oaxaca y se ubica en la región Papaloapan, distrito Tuxtepec. Debido a la posición territorial que está señalada en el mapa de México, colinda al norte con el estado de Veracruz, al sur con el municipio de Santiago Jocotepec y San Juan Lalana, al poniente con San Juan Bautista Tuxtepec y con Santiago Jocotepec, finalmente al oriente colinda nuevamente con el estado de Veracruz. Es importante saber que el municipio de Loma Bonita se encuentra ubicado bajo las coordenadas geográficas 18° 06' latitud norte y 95° 53' longitud oeste. La superficie que cubre a todo el municipio se extiende a unos 507.02 km<sup>2</sup> (INAFED, 2015).

Es fundamental conocer, que debido a que el municipio de Loma Bonita se localiza en una región montañosa, la gran variedad de elevaciones que se

pueden encontrar en su territorio provoca que su altitud promedio sea de 30 metros sobre el nivel del mar (msnm). El Instituto Nacional de Estadística y Geografía mejor conocido por sus iniciales INEGI, realizó el conteo de población en el 2010 en el municipio de Loma Bonita, publicó los resultados obtenidos y éstos mostraron que dicho lugar cuenta con 41,527 habitantes (INEGI, 2015).

### 2.6.1 Localización Loma Bonita Oaxaca

Se localiza en la parte norte en la región de Papaloapan del estado, en las coordenadas  $95^{\circ} 53'$  longitud oeste y  $18^{\circ} 06'$  latitud norte, a una altura de 30 m.s.n.m., limita al norte con el estado de Veracruz, al sur con el municipio de Santiago Jocotepec y San Juan Lalana, al poniente con los municipios de san Juan Bautista Tuxtepec y Santiago Jocotepec y al oriente con el estado de Veracruz, (Figura 2.4) (INAFED, 2015).

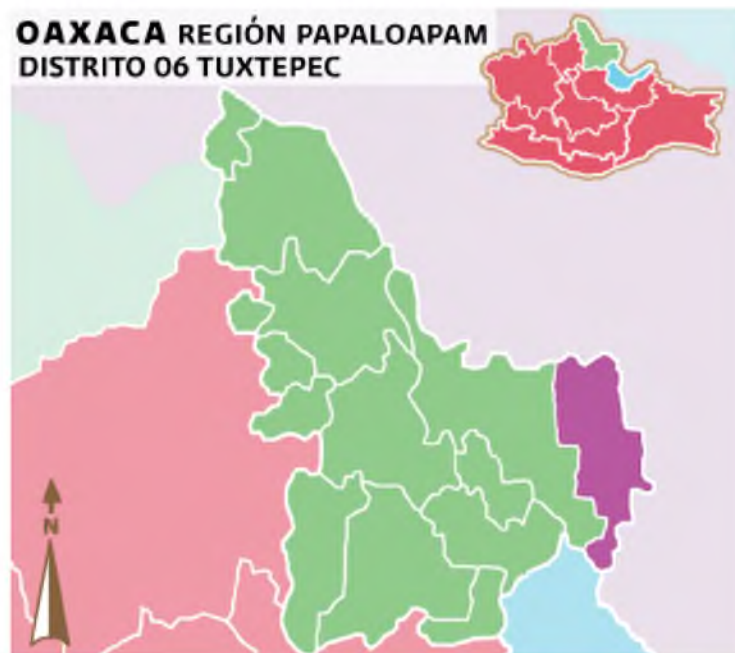


Figura 2.4 Localización Municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México.

Fuente: INAFED, 2015.

### 2.6.2 Clima

Su clima es cálido, con oscilación térmica anual corta. Lluvias abundantes durante el otoño y principios de invierno, en este último periodo se deben fundamente a la influencia de vientos nortes moderados.

### 2.6.3 Flora

La flora del municipio es característica de la selva media, se encuentran especies como el ámate, higo, aguacatillo, caoba, roble, cedro, limaloe, palma, ceiba y hormiguillo.

### 2.6.4 Fauna

La fauna es de tipo silvestre, existen especies como el venado, temazate, jaguar, venado cola blanca, zorro gris, puerco espín, armadillo, mapache, aguilillas y gavilán.

## 2.7 Variedades de la piña cultivada

La piña es uno de los mejores frutos tropicales, razón por la cual ocupa junto con el banano, uno de los principales cultivos de importancia mundial (IMA, 2008). Por el fruto de este híbrido, se obtienen mejores precios en el mercado mundial, que con las variedades tradicionalmente comercializadas. Por ello, en este municipio se cultivan dos diferentes variedades, que lo hace ver como uno de los mejores productores privilegiados a nivel nacional.

### 2.7.1 Cayena Lisa

Es la principal variedad cultivada en este municipio y su producción es destinada para el mercado doméstico y para la industrialización. Es la variedad más importante del mundo, ya que tiene buenas cualidades para la industria de enlatados y néctares. Posee de 60 a 80 hojas sin espinas a excepción de la parte terminal de la hoja, fruta cilíndrica, ojos poco profundos, con un peso entre los dos a cuatro kilogramos, con una escasa producción de hijuelos, de corazón pequeño. Su principal desventaja es la de ser poco resistente al transporte y manejo. Muy susceptible al Wilt pero resistente a la gomosis de los frutos (*Thielanopsis paradoxa*). Sus hojas son de color verde oscuro y anchas con espinas en los bordes de acuerdo al proceso de adaptación a la región donde se esté cultivando, a menor precipitación mayor generación de espinas, el fruto maduro es de color naranja rojizo de gran tamaño, el color de la pulpa varía de amarillo pálido a dorado y tiene alto contenido de azúcares. Las hojas tienen los márgenes lisos y con color verde o rojizo y las hojas del fruto no tienen espinas. Los frutos pesan alrededor de 3.2 kilogramos. Se caracterizan por su forma cilíndrica alargada con pulpa de color blanco que pueden ser utilizadas en conservas y consumo en fresco. Con una maduración entre junio y julio, y con producción de hijuelos baja (<http://www.proyefin.com/>). De hojas inertes con algunas espinas en las extremidades, color verde oscuro, con manchas pardo rojizas moderadamente largas, flores con pétalos azul pálidos tendiendo a púrpura; fruto cilíndrico de color naranja rojizo al llegar a la madurez. Cayena Lisa tipo Martinica: se cultivó en Panamá, pero fue eliminada por su bajo rendimiento. Champaca: proviene de una selección masal de la Cayena lisa realizada en Costa Rica. Posee un procedimiento vigoroso como respuesta a la fertilización; ofrece hasta un 90% de fruto de calidad exportable; es muy susceptible a deficiencia de hierro.

### 2.7.2 Híbrido MD-2

El MD-2 es un híbrido originalmente denominado 73-114 por el Instituto de Investigaciones en Piña (Pineapple Research Institute- PRI) (Domínguez, 2013). Planta de crecimiento rápido y una rápida obtención de fruta comercial, ganando a la Champaca hasta tres meses en periodo de maduración. Fruta de hombros cuadrados sobre un pedúnculo corto y dos o más retoños. La pulpa es firme con alta pigmentación, diferente a los clones de Cayena Lisa. El MD-2 es más susceptible a la pudrición del tallo y raíces, causadas por *Phytophthora parasitica* y *Phytophthora cinnamomi*, que otros tipos de piña y es más exigente en potasio. Sus flores son amarillas y el peso de la fruta alcanza de cuatro a ocho libras. Este es un híbrido que existe desde hace más de 30 años en un banco de germoplasma, la empresa "Del Monte" la sacó al mercado con ayuda de investigadores franceses y ha sido un éxito enorme. Dicho híbrido fue conseguido de la variedad Cayena Lisa por medio de selección, después fue modificada genéticamente y mejorada en laboratorio. Aunque por su generalidad es bastante susceptible a hongos, aún así tiene propiedades de resistir la enfermedad de Wilt. Esta nueva variedad de piña es de color amarillo, que crece sin espinas y sobre todo tiene tolerancia a ciertas plagas y enfermedades. Sus flores son de color amarillo con peso promedio de 1.8 a 2.0 kilos por fruto. También es conocida como "Golden Ripe". Extra Sweet", y "Maya Gold", es un híbrido desarrollado por el Instituto de Investigaciones de Hawái y por la multinacional Del Monte. Se cultiva en Costa Rica desde hace más de 20 años. Ha sido muy bien recibida en el mercado Europeo por su buena coloración y sabor. Por su presentación y aroma, está catalogada como una fruta de lujo en los mercados externos.

## 2.8 Importancia del aprovechamiento de los desechos de piña

La industrialización de la piña genera una gran cantidad de lo que hasta ahora se le ha llamado desecho, con importantes impactos negativos al ambiente, tales como generación de plagas, contaminación de aguas, y malos olores, entre otros. Los desechos de la industrialización de la piña constituyen hasta el 65% del fruto. Además de la corona (parte superior del fruto), el corazón y las cáscaras, se genera el rastrojo, el cual corresponde al material vegetal de la planta y se elimina después del ciclo comercial (Quesada et al. 2005).

Los desechos de piña pueden ser malignos para la tierra debido a su acidez. El pH de la piña es muy ácido y los suelos para ese cultivo tienen que ser ácidos, provocando en ellos erosión y al paso de los años dejan de ser productivos, son contaminados por el uso constante de fertilizantes altamente tóxicos. Al final sólo quedan suelos porosos que permiten la filtración de químicos que alteran las propiedades nutritivas del suelo y que llegan a las corrientes subterráneas, produciéndose una fuerte contaminación (Jiménez, 2014).

## 2.9 Propiedades de las fibras de piña

### 2.9.1 Corona

Estudios realizados por De la Cruz y García (2005), menciona que la piña es el segundo cultivo tropical de importancia mundial, de composición de la variedad Cayena Lisa con: Pulpa 33% (constituida por el 2% de fibra por cada 100 g de piña), Corazón 6%, Cáscara 41% y Corona 20%.

Las fibras de la corona de piña son las más grandes y delgadas longitudinalmente comparadas con las fibras no maderables; es decir, las fibras del bambú son muy semejantes a las de la corona de piña. Por otra parte, el diámetro total de la fibra de piña, es menor al que presentan otro tipo de fibras, lo que se ve reflejado en el tamaño del lumen y pared celular. De tal manera, que al ser menor el ancho de la fibra, esta va a influir en las propiedades físicas del papel, provocando que no exista una mayor rigidez, lo que hace que exista una disminución considerable a la resistencia al rasgado. Por otro lado, al tener un volumen muy delgado va a disminuir también la capacidad de impregnación durante la mezcla.

### **2.9.2 Bagazo**

Se denomina bagazo al residuo de materia después de ser extraído su jugo. El cual ésta compuesto por fibras y médula. La fibra es de pared gruesa y relativamente larga (1.4 mm) (Aigbodion, 2010). Estas fibras por ser de tipo natural, se han utilizado ampliamente como refuerzos en matrices de polímeros debido a su baja densidad, buenas propiedades mecánicas, abundante disponibilidad y sobre todo por ser biodegradable (Bibo et al, 2010) (Agunsoyeyá y Aigbodionb, 2013).

### **2.9.3 Corazón o centro**

Los residuos de piña, son los productos que resultan de los procesos de enlatado de piña principalmente, conteniendo componentes nutrientes valiosos, como sacarosa, glucosa y fructosa. Los análisis de estos contenidos son importantes para su posterior procesamiento, como es la fermentación. De tal modo, que es importante determinar la cantidad de azúcar en diferentes partes de los residuos de piña (cáscara, corazón y corona). Estudios realizados por Siti Roha, A.M, et al, (Roha, 2013), determinaron que el contenido de fructosa fue mayor en el

corazón (2.24%), seguido de la cáscara (2.04%) y corona (0.87%), así como el contenido de glucosa que fue mayor en el corazón (2.56%), seguido de la cáscara (2.18%) y corona (0.53%). Del mismo modo, para los contenido de sacarosa entre el corazón y cáscara de piña fue de 8.92% y 3.87%, respectivamente.

#### 2.9.4 Cáscara

Para usar las cáscaras de piña, se debe de conocer primero su composición. Así, se tiene que dichas cáscaras cuentan con una gran cantidad de fibra, llamada celulosa, misma que se usa para hacer papel. Es por eso que surge la propuesta de fabricar papel reforzado, realizando diferentes tipos de mezclas con los desechos de piña, debido a que el contenido de fibra en bruto osciló entre 24.14%, en la pulpa 65%. El contenido de fibra cruda de la fracción de residuo es 2.5 veces mayor que la fracción comestible (pulpa), valores encontrados por Larrauri et al. (Larrauri, 1997) y Bartolomé y Rupérez (Bartolome et al, 1995), que también estudiaron cáscaras de piña.

#### 2.9.5 Contenido de fibra en la piña

La Tabla 2.4, muestra los resultados obtenidos para las diferentes fracciones de fibra, el análisis estadístico mostró que existen diferencias significativas entre la corona, cáscara y corazón. El contenido total de fibra en los desechos, depende de la fuente de la que se extrajo, de tal manera que estudios realizados por Pardo, M.E.S., et al, (Pardo, 2014) (Chau y Huang, 2003) (Figuerola et al, 2005), determinaron que la cáscara es la que presenta el mayor contenido de fibra, siendo estas de 81.8 g/100 g de muestra seca, que corresponden a la media de tres determinaciones independientes.

Por otra parte, también determinaron que la fracción principal de fibra que se encuentra en los residuos estudiados fueron los insolubles y los de menor contenido fueron las fibras solubles. Estos resultados indicaron que las muestras ensayadas fueron compuestas principalmente de microfibrillas de celulosa que contiene hemicelulosa y lignina (Pawinee et al, 2001).

**Tabla 2.4** Comparación de la composición química de los desechos de piña (g/100g peso en seco).

FIBRA	BRACTEAS FOLIARES	CÁSCARA	CORAZÓN
<b>Insoluble</b>	43.53 ± 0.93	46.20 ± 0.50	42.92 ± 0.09
<b>Soluble</b>	29.16 ± 0.46	35.67 ± 0.37	21.27 ± 0.61
<b>Fibra total</b>	74.69	81.8	64.19
<b>Semicelulosa</b>	21.88 ± 0.22	28.69 ± 0.35	28.53 ± 1.37
<b>Celulosa</b>	43.53 ± 1.17	40.55 ± 1.02	24.53 ± 1.68
<b>Lignina</b>	13.88 ± 1.70	10.01 ± 0.38	5.78 ± 0.429
<b>Pectina</b>	2.32 ± 0.37	2.49 ± 0.20	1.58 ± 0.17

Fuente: Pardo, M.E.S., et al., 2014.

## 2.10 Aplicaciones

### 2.10.1 Piñatex

Uno de los productos en el que se utiliza la piña es Piñatex™, el cual se produce de las fibras de las hojas de la piña, que son un subproducto de la cosecha. Las fibras se someten a un proceso industrial para convertirse en un textil no tejido (Figura 2.5). El producto implica una tecnología patentada que proteja el proceso y acabado. El trabajo de desarrollo se originó en Filipinas y ahora se está emprendiendo entre el Reino Unido y España. Piñatex™ se puede utilizar también como una alternativa textil de cuero en los mercados por ser un material transpirable, suave, ligero, flexible, moldeable y de fácil teñido. Totalmente

probado con las especificaciones de los clientes (zapatos, bolsos y tapicería) (Figura 2.6). Se produce un tamaño de 2.18 m o 1.50 m. Piñatex™, se rige de acuerdo a las normas internacionales ISO para rotura de la costura, resistencia al desgarro, resistencia a la tracción, luz, solidez del color y resistencia a la abrasión (<http://www.ananas-anam.com/pinatex/>).



Figura 2.5 Piñatex.

Fuente: <http://www.ananas-nam.com/pinatex/>



Figura 2.6 Aplicaciones de Piñatex.

Fuente: <http://www.ananas-nam.com/pinatex/>

### 2.10.2 Otras aplicaciones

Entre otras aplicaciones que se han realizado a los desechos de piña se encuentran el aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado que consta de la producción de carbón activado a partir de los residuos celulósicos de la piña (*Ananas comosus* L.), cáscara y corona, mediante su activación química utilizando como agente activante ácido fosfórico (Jiménez, 2014), además la utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comosus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster (Quesada et al. 2005) y la obtención de bromelina a partir de residuos de piña, enzima de acción proteolítica semejante a la papaína, con uso amplio en la industria alimenticia (coagulación de la leche, maduración de las carnes y

demás) y en la industria farmacéutica (anticancerígeno). ([http://ucvvirtual.edu.pe/campus/HDVirtual/700426354/Teoría/7000001834/TecNoAI\\_05.pdf](http://ucvvirtual.edu.pe/campus/HDVirtual/700426354/Teoría/7000001834/TecNoAI_05.pdf)).

### 2.10.3 Taller Arte Papel Oaxaca

El Taller Arte Papel Oaxaca se inauguró en agosto de 1998, en San Agustín Etla, Oaxaca, en lo que fue el edificio de la hidroeléctrica La Soledad. El proyecto es iniciativa del Instituto de Artes Gráficas de Oaxaca, el INBA, Conaculta, Prooax, el Centro de Papel Arte Finlandia, Vaiski Putkonen y artistas oaxaqueños, entre los que resalta el maestro Francisco Toledo, reconocido por su constante preocupación y apoyo al desarrollo de la creatividad artesanal. El Taller tiene dos áreas: producción, donde se elaboran los pliegos, portadas y se experimenta con el papel para obtener cada día una mejor calidad; y encuadernación, en la que se elaboran libretas, sobres, joyería en papel, así como papel para invitaciones, cuadernos para dibujo, cajas de artista y papelería en general ([http://www.fondodeculturaeconomica.com/subdirectorios\\_site/Prensa/Oficina\\_Virtual/C1517.pdf](http://www.fondodeculturaeconomica.com/subdirectorios_site/Prensa/Oficina_Virtual/C1517.pdf)).

La producción de papel se realiza de la manera tradicional: pila holandesa, bastidores, baldes, ollas, fieltros, prensa, tendedores. Se puede extraer la fibra de varias fibras naturales, aquí se utilizan el chichicaste – fibra usada desde tiempos prehispánicos para la elaboración de huipiles y otros usos sociales – el algodón ixtle, extraído del agave mezcalero, jonote, majahua, pita, piña, platanillo, mora y sus diferentes combinaciones. (<http://www.arquitectura.uia.mx/boletines/11/Enero/2428%20enero/Anexo21.pdf>).

# CAPÍTULO III

## DESARROLLO EXPERIMENTAL, MATERIALES Y EQUIPO

### 3.1 Metodología

La metodología que se utilizó para la elaboración de papel, fue tomada bajo los principios de producción del “Taller Arte Papel Vista Hermosa”, empresa ubicada en la antigua hidroeléctrica “La Soledad” en San Agustín Etla, Oaxaca. Esta pequeña empresa se dedica a la elaboración de papel hecho a mano, utilizando fibras naturales (chichicastle, ixtle, algodón blanco, coyuche, pochote, etc.), para producir libretas de dibujo, bolsas, cajas, origami, joyería, entre otros (<http://www.arquitectura.uia.mx/boletines/11/Enero/2428%20enero/Anexo21.pdf>). Por lo que, el alcance del presente trabajo de investigación, consistió en desarrollar una metodología de operación para utilizar los desechos de la piña, generados por la producción de néctares en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca. Para ello, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica, evaluando las posibles condiciones de operación y elementos que podrían afectar o mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del papel. Además, se consideraron los componentes necesarios para lograr una consistencia adecuada, durante la preparación de la pulpa hasta el momento de realizar el prensado. La metodología a seguir en este trabajo, se representa gráficamente en la Figura 3.1, la cual comprendió en una serie de experimentos desarrollados bajo la

siguiente secuencia: recolección, cocción de fibras, elaboración de la mezcla, elaboración del papel, secado, diseño de producto y producto terminado.

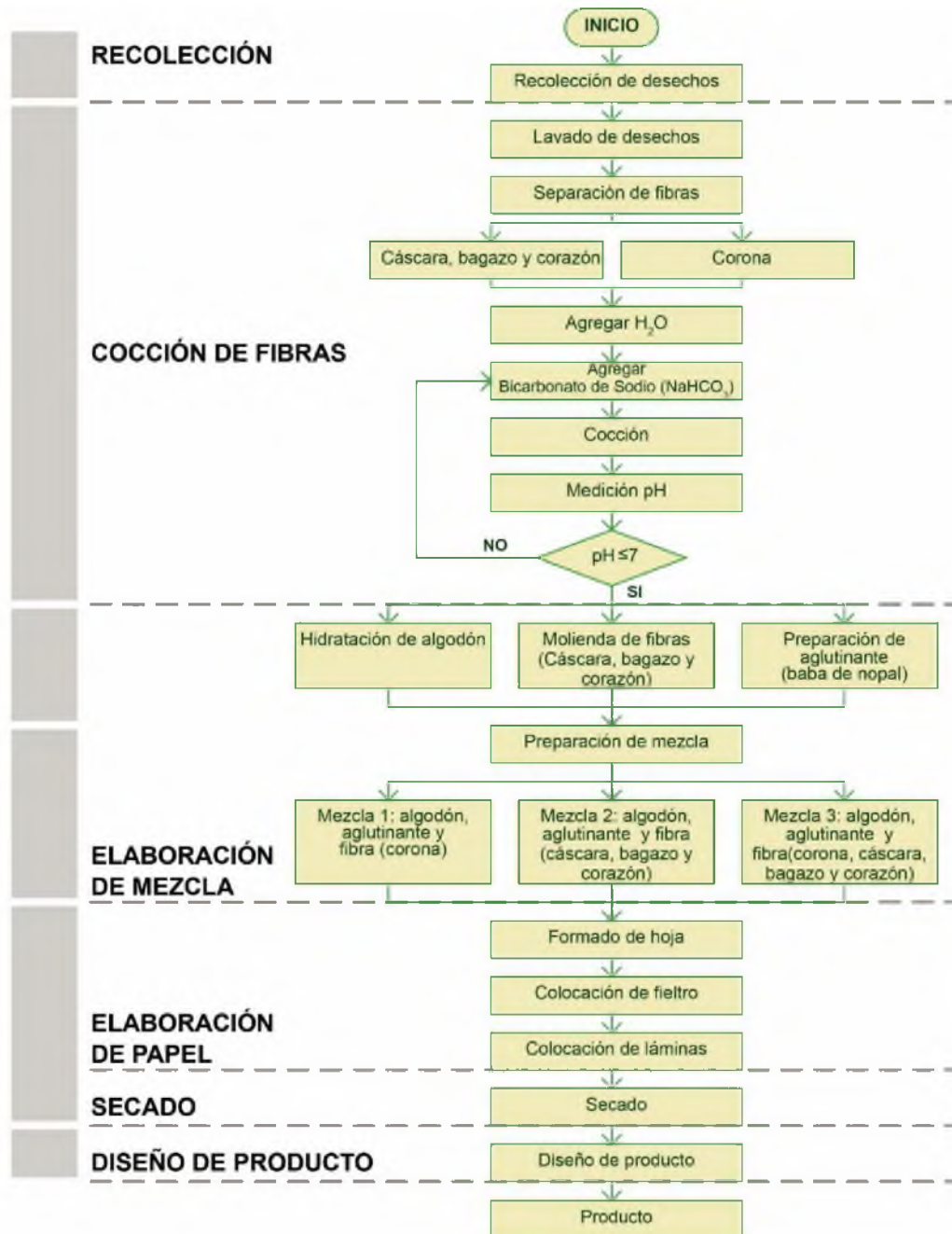


Figura 3.1 Metodología.

Fuente: Propia.

## 3.2 Materiales y equipo

Para la elaboración de papel a partir de desechos de piña, se utilizaron los materiales y equipos de acuerdo a cada una de las etapas mostradas en la Figura 1.

Recolección: Dos contenedores de 50 litros

Cocción: Estufa comercial con cuatro quemadores, dos cacerolas de 10 litros y para controlar el pH se utilizaron tiras indicadoras de pH

Mezcla: Licuadora Marca TAPISA Modelo T2L capacidad 1.75 litros, cuchillos de uso doméstico, contenedor de 20 litros y un colador.

Elaboración de papel: Bastidor con marco de madera de 45 x 35 cm con malla interna #5 y malla externa #20, bastidor sin malla, láminas de acero galvanizado y dos telas tipo fieltro de 50 x 40 cm.

Equipo; pHmetro Thermo Scientific Orion Star A211, estufa y licuadora convencional.

## 3.3 Condiciones experimentales

La recolección de los residuos de piña, se realizó en una microempresa localizada en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca, la cual es dedicada a la producción de néctares, donde los desechos generados por su proceso son almacenados por separado, para posteriormente realizar las etapas mencionadas en la Figura. 3.1.

### 3.3.1 Recolección

Debido a la forma de cómo esta empresa los almacena, fue más fácil la recolección ya que la separación lo hacen de forma selectiva; es decir, que en un espacio ya destinado, se encontró la corona (Figura 3.2) y en otro cáscara, bagazo y corazón (Figura 3.3). Recolectando 14 kg de corona y 26 kg de cáscara, gabazo y corazón.



Figura 3.2 Recolección cáscara y pulpa.

Fuente: Propia.



Figura 3.3 Recolección de corona.

Fuente: Propia.

### 3.3.2 Cocción de fibras

Una vez recolectados los desechos, se prosiguió al lavado de las fibras, utilizando agua potable, con la finalidad de eliminar todos elementos que pudiesen contaminar la producción de papel, tales como polvo y jugo, por mencionar algunos. En el caso de la corona se desprendieron las hojas, para su fácil cocimiento, lo cual se lleva a cabo de forma manual (Figura 3.4).



**Figura 3.4** Separación de hojas.

Fuente: Propia.

Después del lavado, se realiza la separación de las fibras. La cocción de los desechos se dividió en: recipiente uno donde se coloca cáscara, bagazo y corazón, en el recipiente dos se coloca sólo la corona. En ambos recipientes se le agregó agua para su cocción en una estufa convencional calentado a 100 °C y agregando bicarbonato de sodio para ayudar a agilizar el cocimiento, además para neutralizar el pH en la mezcla. El tiempo aproximado de cocimiento fue de dos a cuatro horas, que va depender del desecho utilizado en cuestión. Durante el proceso, se monitorea el pH, el cual se controla igual o mayor que 7 agregando bicarbonato de calcio y dejándolo calentar durante 10 min, esto se realiza hasta que el pH queda neutro. Durante las pruebas de pH, se determinó que para el 100% en peso de cáscara, bagazo y corazón se le deberá agregar el 15% en peso de bicarbonato de sodio debido a su alto contenido en ácido y para la corona el 10% en peso.

### 3.3.3 Elaboración de mezcla

La cantidad de muestra recolectada fue de 14 kg de corona y 26 kg de cascara, bagazo y corazón, homogenizando bien todo para el estudio. Después del cocimiento, se da un tiempo de enfriamiento, para posteriormente iniciar con la molienda, (Figura 3.5). Para lograr unir las fibras, se utilizan los aglutinantes, que para efectos de este estudio, el polímero más fácil de obtener en el municipio fue el nopal, del cual solo se utiliza el mucílago (baba), agregando en una relación de cinco kilogramos de nopal para un volumen de 20 litros de agua, que para lograr obtenerlo se deja reposar durante 10 min en agua (Figura 3.6).



Figura 3.5 Molienda de fibras cocidas.

Fuente: Propia.



Figura 3.6 Reposado del nopal en agua.

Fuente: Propia.

Simultáneamente, se dejó reposando algodón comercial en agua para hidratarlo, las fibras de algodón son puras en celulosa y aportan a los papeles durabilidad, resistencia, volumen específico y opacidad, (Figura 3.7) agregando el 3% del peso total de la muestra recolectada. Una vez realizado lo anterior se procede a mezclar en un contenedor, vertiendo fibra, algodón y el polímero en un contenedor con agua con la finalidad de dispersar las fibras, (Figuras 3.8 y

3.9). Se realizaron tres tipos de mezclas donde las variantes surgieron a partir de:

- Mezcla uno: agua, algodón, baba de nopal, fibra (corona).
- Mezcla dos: agua, algodón, baba de nopal, fibra (cáscara, bagazo y corazón).
- Mezcla tres: agua, algodón, baba de nopal, fibra (corona, cáscara, bagazo y corazón).



Figura 3.7 Algodón comercial utilizado.

Fuente: Propia.



Figura 3.8 Agregando el polímero.

Fuente: Propia.



Figura 3.9 Agregando la fibra molida.

Fuente: Propia.

### 3.3.4 Elaboración de papel

Después de haber realizado la mezcla se pasó a elaborar las hojas de papel con un bastidor de 45 x 35 cm, que consiste en dos marcos de madera, donde uno lleva engrapado dos mallas metálicas, una malla interna número 20 (Figura 3.10) y otra malla externa número 5 (Figura 3.11) y el segundo marco sin malla (Figura 3.12).



Figura 3.10 Malla interna #5.

Fuente: Propia.



Figura 3.11 Malla externa #20.

Fuente: Propia.



Figura 3.12 Marco sin malla.

Fuente: Propia.

El bastidor con malla es sumergido en el contenedor con la mezcla (Figura 3.13), para atrapar la mayor cantidad de pulpa posible, para después retirar y sostener el bastidor de forma horizontal (Figura 3.14). Posterior a ello, se filtra el exceso de agua quedando atrapadas las fibras sobre la superficie del bastidor, para después retirar el marco colocando el bastidor boca abajo sobre una lámina metálica (Figura 3.15). Finalmente, se coloca tela tipo fieltro presionando para absorber la mayor cantidad de humedad posible (Figura 3.16).



**Figura 3.13** Sumergido de bastidor.

Fuente: Propia.



**Figura 3.14** Escurrimiento.

Fuente: Propia.



**Figura 3.15** Acomodo de hoja.

Fuente: Propia.



**Figura 3.16** Colocación de fieltro.

Fuente: Propia.

### 3.3.5 Secado

Para llevar a cabo esta etapa, se colocan las láminas con el papel al aire libre dando un tiempo de secado de aproximadamente cuatro a cinco horas. Posteriormente de una forma cuidadosa y mediante el uso de una espátula, la cual se va introduciendo por una de las esquinas, se retira la hoja de papel con la finalidad de evitar que al desprender la hoja de la lámina, esta no se fisure. Al final se obtiene papel con dimensiones de 45x35 cm. (Figuras 3.17 y 3.18).



Figura 3.17 Secado de papel.

Fuente: Propia.



Figura 3.18 Separación de hoja.

Fuente: Propia.

## 3.4 Características mecánicas y físicas

En el estudio realizado, se determinaron algunas propiedades físicas como las dimensiones y peso del papel fabricado a base de desechos de piña, de igual manera para la mezcla de sus componentes (corona, cascara, bagazo y corazón). Para realizar las mediciones se emplearon instrumentos básicos,

cuantificando el porcentaje de humedad, doblez, gramaje, acidez, velocidad de absorción y el contenido de hongos.

### 3.4.1 Dobleces

Para realizar la prueba mecánica, se midió la resistencia del papel antes de romperse, considerando la cantidad de dobleces. Está muy relacionada con la flexibilidad de los papeles, un papel rígido resistirá mucho menos dobleces que uno flexible. Esta resistencia también está en función con la estructura del papel y por una refinación impropia, una diezmada composición o un secado excesivo bajará su resistencia de forma exagerada. La prueba se realizó determinando el número de dobleces hasta llegar a la fractura del papel (Figura 3.19), efectuándose sobre un tramo de papel de 10 x 2.5 cm.



Figura 3.19 Ruptura de papel.

Fuente: Propia.

### 3.4.2 Porcentaje de humedad

En este análisis, se cortó un trozo de papel de desecho de pinya en tamaño de 10 x 10 cm y se pesó en la balanza ACCULAB Sartorius Group ALC, para ser considerado como peso inicial, después se puso a secar el papel durante 5 horas

a una temperatura de 100 °C, este peso fue considerado como peso final. Los cálculos para el porcentaje de humedad del papel se realizaron con la ecuación uno.

$$\text{Porcentaje de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial (gr)} - \text{Peso final (gr)}}{\text{Peso inicial (gr)}} \times 100 \quad (1)$$

### 3.4.3 Gramaje

El gramaje del papel es considerado como el peso en gramos en un metro cuadrado de papel. Esta evaluación se realizó después de acondicionar la muestra en el laboratorio, para lo cual se pesó en gramos en una balanza, para después medir el área de cada muestra. Los datos obtenidos se registraron para realizar los cálculos necesarios basados en la ecuación dos.

$$\text{Gramaje (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

### 3.4.4 pH

Durante el proceso de fabricación del papel, se añaden sustancias que pasan a formar parte de la masa fibrosa y que determinan la acidez o alcalinidad de un papel. En la actualidad los papeles se fabrican en medio neutro, que bien puede oscilar en un rango de seis a ocho. Por lo que, para realizar esta prueba se cortaron trozos de papel de aproximadamente 0.5 x 0.50 cm, después de pesaron 100 gr de papel, agregándole 20 mililitros de agua desionizada y agitándose vigorosamente a una velocidad de 200 rpm, por un tiempo de 10 min. Posteriormente se midió el pH con el pHmetro Thermo Scientific Orion Star A211, calibrándose previamente con soluciones estándar de 4, 7 y 10 (Figura 3.20).



Figura 3.20 Equipo utilizado para la medición de pH

Fuente: Propia.

### 3.4.5 Absorción de agua

Este ensayo demuestra, que la cantidad de agua que puede absorber un papel, lo cual depende de los tipos de fibras e ingredientes no fibrosos que lo constituyan (largas, cortas y aglutinantes). De hecho, el agua puede ser absorbida por el papel a nivel físico por efecto capilar, penetrando entre las fibras, además se presenta cuando el agua se aloja en los huecos o poros grandes que existen entre ellas, saturando todos los espacios disponibles. El contenido de humedad es la cantidad de agua que posee un papel, expresada como porcentaje de su peso.

#### Tiempo

Para realizar esta prueba, se cortaron trozos de papel de 10 x 10 cm, se marcó un segmento de cinco centímetros al centro de la hoja y se expusieron en contacto en un recipiente con agua, donde a partir de este instante se comienza a medir el tiempo, tal como se muestra en las Figuras 3.21, 3.22 y 3.23.

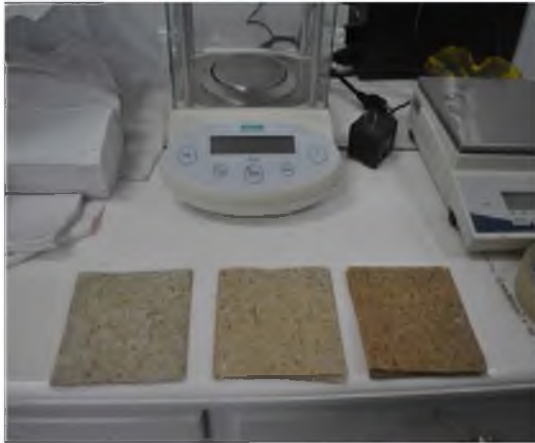


Figura 3.21 Tamaños de papel 10x10 cm.

Fuente: Propia.

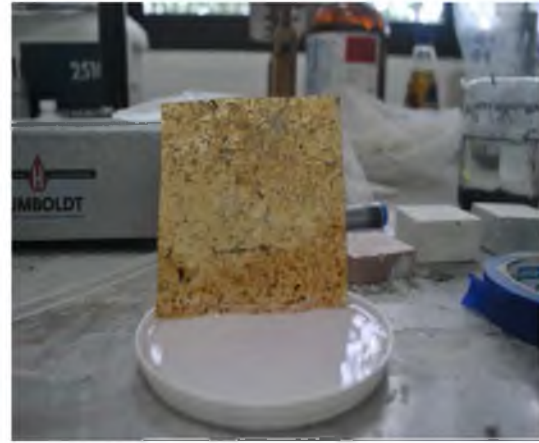


Figura 3.22 Segmento trazado en el papel.

Fuente: Propia.

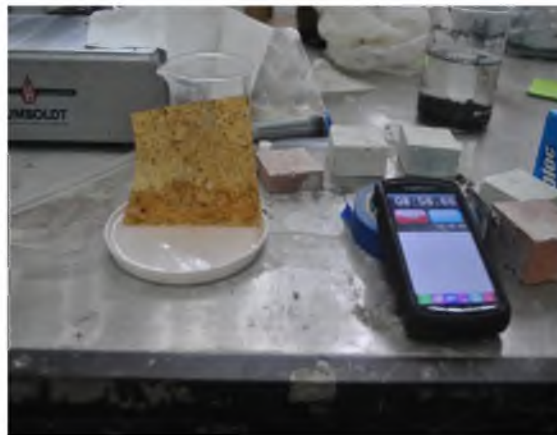


Figura 3.23 Papel sumergido en agua.

Fuente: Propia.

## Velocidad

La velocidad de absorción es un indicio de porosidad, si la velocidad de absorción es rápida significa que es muy poroso. Los cálculos se realizaron en función del tiempo y la distancia marcada en las hojas, parámetros considerados en la ecuación tres.

$$Velocidad (m/seg) = \frac{Distancia (m)}{Tiempo(seg)} \quad (3)$$

### 3.4.6 Hongos

El moho es el término más común para describir el crecimiento de hongos y es una de las causas de daño más serias en el papel. Este tipo de hongo crece sobre cualquier superficie orgánica, incluyendo papel y cuero. Las esporas causantes del crecimiento de los hongos se encuentran en el ambiente debido a un cambio de humedad. Los hongos tienen dos estructuras básicas la vegetativa y reproductiva. La manera de identificar su presencia es por forma y color.

# CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Recolección de desechos

**P**ara efectos descriptivos, los resultados obtenidos se muestran siguiendo las etapas propuestas en el diagrama de flujo presentado en la metodología, así como también se toma como referencia la producción de papel con fibras naturales que se desarrolla en el Taller Arte Papel Vista Hermosa.

La recolección de los desechos en las empresas se da de forma habitual de acuerdo a la producción, separando los residuos de dos maneras: secos y húmedos. Por un lado la corona (seco), mientras que la cáscara, bagazo y corazón (húmedos) son depositados en otro contenedor. Actualmente estos residuos son vendidos como alimento para ganado diariamente.

Sin embargo, para el desarrollo de este trabajo, se tuvo la necesidad de realizar esta separación y clasificación de los desechos de piña, ya que de ello dependerá fuertemente el tipo de papel a fabricar. Esta clasificación se realizó separando la cáscara, gabazo, corona y corazón, para posteriormente realizar diferentes tipos de mezclas. Por otro lado y debido a la cantidad de procesos a los que es sometida la fibra para la elaboración de papel, pero sobre todo a la

gran variedad de tipos encontrados en el mercado, resulta un poco complicado describir todas las propiedades características de un papel, por lo que durante el desarrollo de este capítulo sólo se describirán las características más importantes.

## 4.2 Fibras de piña

Las fibras, son los principales componentes resistentes utilizados para reforzar a un material, ya que definen la mayor parte de las características mecánicas para la aplicación final que se puede dar al mismo. De tal modo, que al trabajar con estos materiales compuestos reforzados, es necesario caracterizar las fibras, para determinar que parte de los desechos pueden ser utilizados. Además, se debe considerar también, que al trabajar con materiales de origen natural, gran parte de las propiedades de las fibras se ven influenciadas por los aspectos de la variedad de la planta, clima, altitud, entre otros aspectos.

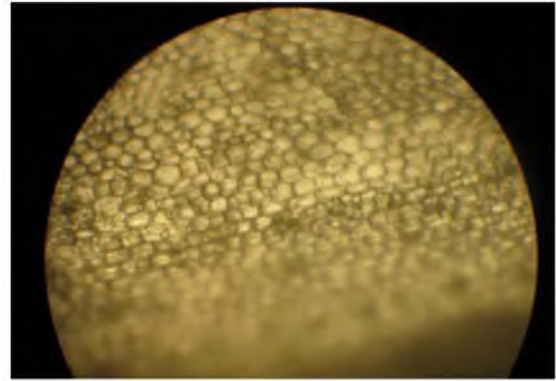
### 4.2.1 Corona

La fibra de la corona de piña observada a 40x (Figura 4.1), son las más grandes longitudinalmente y tienen un diámetro menor en comparación con las otras fibras de piña, estas son recubiertas por una pared celular (Figura 4.2) de tipo hexagonal con tamaño irregular. De tal manera, que al ser menor el diámetro de la fibra, esta influye en las propiedades físicas del papel, provocando que no exista una mayor rigidez, lo que hace que exista una disminución considerable a la resistencia al rasgado. Por otro lado, al tener un volumen muy delgado va a disminuir también la capacidad de absorción de líquido en el papel.



**Figura 4.1** Fibras de la corona de piña observada a 40x.

Fuente: Propia.

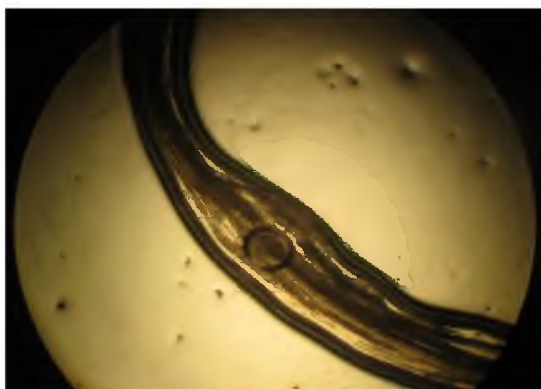


**Figura 4.2** Pared celular de corona observada a 40x.

Fuente: Propia.

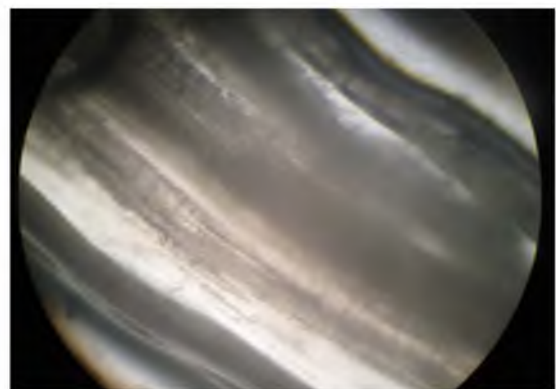
#### 4.2.2 Bagazo

La Figura 4.3, muestra los resultados observados a 40x de un hilo de bagazo, presentando fibras largas y orientadas en una sola dirección, mientras que la (Figura 4.4) es observada a 70x, donde muestra gran cantidad de fibras finas. De tal manera que estas favorecen a las propiedades físicas del papel, debido al alto contenido de hilos.



**Figura 4.3** Fibras del bagazo de piña, observadas a 40x.

Fuente: Propia.



**Figura 4.4** Fibras del bagazo de piña, observadas a 70x.

Fuente: Propia.

### 4.2.3 Corazón o centro

Las Figuras 4.5 y 4.6, observadas a 40x, muestran las fibras contenidas en el corazón de la piña, observando fibras alargadas y delgadas, similares a las fibras de bagazo. Estas fibras muestran menor cantidad de hilos que la fibra del bagazo.

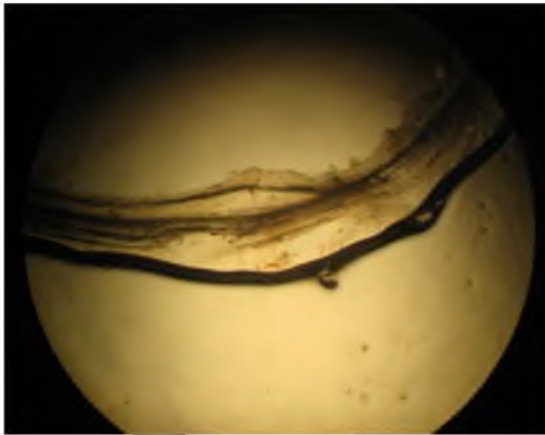


Figura 4.5 Fibras del corazón de piña, observadas a 40x.

Fuente: Propia.

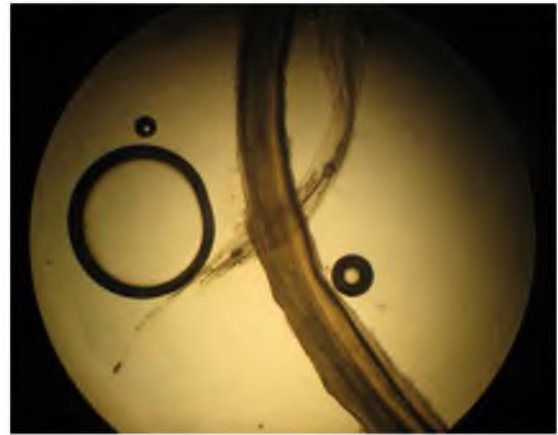
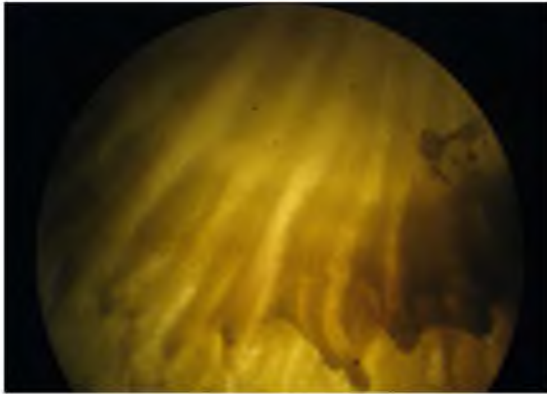


Figura 4.6 Fibras del corazón de piña, observadas a 40x.

Fuente: Propia.

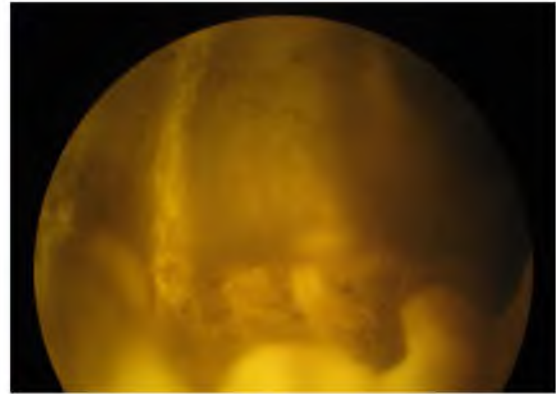
### 4.2.4 Cáscara

La fibra de la cáscara de piña observada a 40x (Figuras 4.7 y 4.8), muestra pequeñas y gruesas fibras orientadas a un centro, las cuales están organizadas de manera regular, proporcionando propiedades físicas que favorecen al papel, debido a que están unidas a un punto.



**Figura 4.7** Fibras cáscara de piña, observadas a 40x.

Fuente: Propia.



**Figura 4.8** Fibras cáscara de piña, observadas a 40x.

Fuente: Propia.

## 4.4 Cocción de las fibras

Una vez realizado lo anterior, se colocan las fibras en cacerolas, con la finalidad de dar cocción, agregándole los contenidos de agua y  $\text{NaHCO}_3$  de acuerdo a la relación establecida en la Tabla 4.1. Para la mezcla uno, se agregó agua + bicarbonato + fibra (corona), demorándose en la cocción un tiempo de cuatro horas aproximadamente. Para la mezcla dos, se agregó agua + bicarbonato + fibra (Cáscara, bagazo y corazón), llevándose en la cocción un tiempo de dos horas aproximadamente. Ambas mezclas, se dejan a punto de ebullición del agua ( $100^\circ\text{C}$ ) y de manera manual se tomó una muestra del sólido hasta que se parta o desbarate con facilidad, lo cual es indicativo de que la mezcla ya estaba cocida. Durante la cocción se da seguimiento al pH, midiéndolo con papel indicador de pH, con la finalidad de que la solución este en un pH básico o neutro, si las mezclas están con un pH ácido, se agrega bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), con la finalidad de mantener la solución a un pH básico. La dosificación para la mezcla de cáscara, bagazo y corazón se agrega el 15%

debido a su alto contenido en ácido y para la mezcla de corona se añade el 10%, esta relación está en función del volumen de agua a utilizar. Concluido este procedimiento, se dejan enfriar ambas mezclas hasta temperatura ambiente.

**Tabla 4.1** Elementos para la preparación de mezclas.

Mezcla	Agua (l)	Algodón (Kg)	Baba de Nopal (l)	Fibras (Kg)
1	23	0.24	7	8 (corona)
2	23	0.60	7	20 (cáscara, bagazo, corazón)
3	23	0.36	7	12 [6( corona)] + [6 (cáscara, bagazo, corazón)]

Fuente: Propia.

## 4.5 Elaboración de mezcla

Una vez clasificadas las fibras, se procede a iniciar con dos diferentes moliendas, las cuales se realizaron tal como se recolecto la fibra; es decir, la primera molienda fue sólo para corona y la segunda molienda fue para cáscara, bagazo y corazón (Figura 4.9). Para realizar la molienda, se utilizó una licuadora industrial, obteniendo fibras de tamaños menores a un centímetro de largo. Al mismo tiempo, se preparó el aglutinante donde se ocuparon cinco kilogramos de nopal cortados por mitad (Figura 4.10), colocándolos en un contenedor en un volumen de 21 litros de agua y dejándolos reposar por un tiempo de 10 min, que después de este tiempo se retiran los sólidos de nopal, con la finalidad de obtener la baba del nopal, la cual se ocupara como aglutinante durante la fabricación del papel. Por otro lado, también se deja reposar 1.20 kg de algodón comercial en un volumen de agua de cinco litros por un tiempo de 10 min, con la finalidad de que el algodón quede hidratado ya que esto facilitara la

unión de las fibras. Una vez concluida la molienda de las fibras, extracción del aglutinante e hidratación del algodón, se procede a la realización de las mezclas uno y dos, agregando el aglutinante y el algodón. La mezcla tres, se obtiene tomando seis kilogramos de fibra de cada una de las moliendas, tal como se mostró en la Tabla 4.1, así como los contenidos para cada una de las mezclas realizadas.



Figura 4.9 Molienda de fibras.

Fuente: Propia.



Figura 4.10 Corte de nopales para la extracción del aglutinante.

Fuente: Propia.

## 4.6 Elaboración de papel

En esta etapa, se realizaron variantes para obtener tres diferentes tipos de papel, las tres mezclas contienen los mismos elementos (aglutinante y algodón). Con estas tres mezclas se procede a filtrarlas por separado, utilizando un bastidor, donde uno de los marcos lleva engrapado dos mallas metálicas, una interna de #20 (Figura 4.11) y otra externa #5 (Figura 4.12) y el segundo marco sin malla (Figura 4.13), la cual se coloca del lado externo con su marco de tipo macho.

Ambos marcos se ensamblan y sumergen para tomar la mayor cantidad posible de mezcla, retirándola con cuidado y de manera horizontal, para evitar que las fibras se concentren más sobre un lado y de esta manera tratar de obtener un papel con espesor homogéneo. Posteriormente, el bastidor con las fibras sobre la malla, se deja filtrar por cinco segundos aproximadamente, tiempo suficiente para retirar el exceso de agua contenida sobre la malla. Después de esta acción, el bastidor es colocado sobre una superficie plana, que bien puede ser de acero y con la finalidad de retirar el marco, para que de forma invertida se desprendan las fibras húmedas sobre la lámina y queden las hojas de papel con dimensiones de 35 x 43 cm. Los excesos de humedad son absorbidos colocando una tela tipo fieltro. Este procedimiento es realizado para las tres mezclas y para la obtención de los diferentes tipos de papel, obteniendo una cantidad considerable de cada uno de ellos, diferenciándose por los contenidos de fibra utilizados y nombrándolos como se observa en la Tabla 4.2 y Figura 4.14.



Figura 4.11 Malla externa #20.

Fuente: Propia.



Figura 4.12 Malla interna #5.

Fuente: Propia.



Figura 4.13 Marco sin malla.

Fuente: Propia.

Tabla 4.2 Elaboración de diferentes tipos de papel.

MEZCLA	TIPO DE PAPEL	FIBRA	NO DE PLIEGOS
1	Claro	Corona	17
2	Medio	Cáscara, bagazo y corazón	43
3	Obscuro	Cáscara, bagazo, corazón y corona	25

Fuente: Propia.

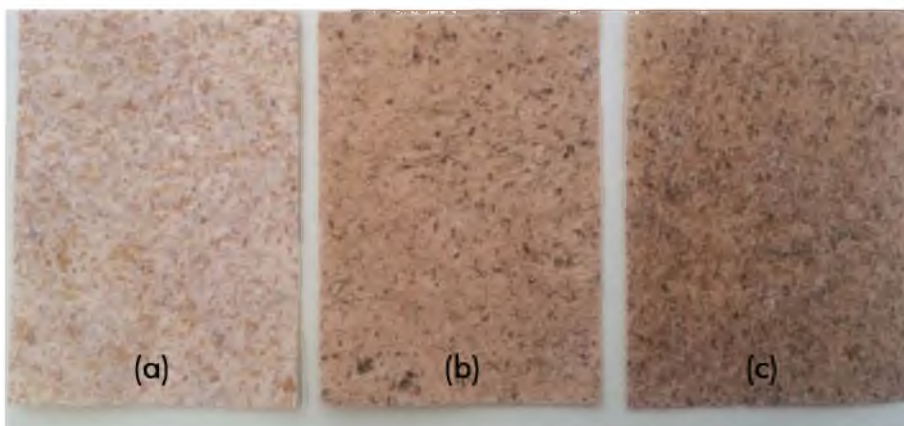


Figura 4.14 Papel: (a) claro, (b) medio y (c) obscuro.

Fuente: Propia.

## 4.7 Secado

Esta etapa es realizada para eliminar la humedad que el papel fieltro no pudo absorber, procediendo a colocar los pliegos de papel obtenidos sobre una superficie plana para exponerlos al sol, a una temperatura de 30 °C y por un tiempo de cuatro a cinco horas aproximadamente, tiempo necesario para que las hojas no sufran deformación por arrugamiento, debido a que éstas quedan adheridas sobre la superficie de la lámina, que para retirarlas se requiere de una espátula y un procedimiento de forma manual, ya que se debe comenzar a retirar la hoja con cuidado, iniciando por una de las esquinas del pliego de papel. Lo anterior se puede observar en las Figuras 4.15 y 4.16.



Figura 4.15 Exposición de pliegos de papel al sol.

Fuente: Propia.



Figura 4.16 Papel seco.

Fuente: Propia.

## 4.8 Características mecánicas y físicas

Para la fabricación del papel, se utilizaron fibras con propiedades especiales, como alto contenido en celulosa, bajo costo y de fácil obtención, por lo que las utilizadas fueron los desechos de piña que cumplen estas propiedades. También

se agregaron otros materiales, como algodón y aglutinante (baba de nopal). Dependiendo del tipo de materia prima utilizada y del proceso al que ésta haya sido sometida, los productos obtenidos serán distintos en cuanto a calidad. Respecto a las propiedades mecánicas del papel, se realizaron el dobléz, capacidad de absorción de agua y tinta, características que convierten al papel en un material apropiado para diversos usos. Dentro de las propiedades físicas que se realizaron fueron: espesor, gramaje, humedad, densidad aparente, volumen específico, lisura, pH, hongos, porosidad, orientación de las fibras e impresión en laser y serigrafía.

## 4.9 Mecánicas

El papel muestra atributos como la resistencia al desgaste, que le permiten soportar los esfuerzos a los que se ve sometido durante su transformación y uso; además, de que también determinan su durabilidad. Las propiedades básicas de resistencia mecánica que se le hicieron al papel elaborado con residuos de piña, fueron: dobléz, absorción de agua y tinta.

### 4.9.1 Doblez

Esta resistencia mecánica, mide la cantidad de dobleces que resistirá un papel antes de romperse. Está relacionada con la flexibilidad, un papel rígido resiste mucho menos dobleces que uno flexible. Esta propiedad se relaciona con la estructura del papel ya que una mala formación o un secado excesivo bajará exageradamente su resistencia. Es una propiedad importante, puesto que durante el uso se verán sometidos a un número elevado de dobleces o gran manipulación. Esta resistencia se debe medir en los dos sentidos del papel. De

tal modo, que para esta prueba, se realizaron determinado número de dobleces de forma manual sobre un mismo punto, hasta conseguir la factura en cada uno de los tipos de papel elaborados, efectuándose sobre un segmento de papel con dimensiones de 10 x 2.5 cm. Los resultados obtenidos fueron comparados con un papel del tipo bond con las mismas dimensiones, el cual soporto menos dobleces que los fabricados con los desechos de piña. Lo anterior puede ser observado con claridad en la Tabla 4.3. Donde el papel con menor resistencia al dobléz fue el papel claro, llegando a soportar 460 dobleces, esto si se compara con los dobleces que resiste el papel bond (425 dobleces), se puede concluir que resiste menos el papel bond que el más débil de los tres (papel claro). La forma en que se realizaron el dobléz sobre el papel, fue como se observa en la Figura 4.17.

**Tabla 4.3** Dobleces realizados a los diferentes tipos de papel.

PAPEL	DOBLEZ
Claro	460
Medio	1050
Oscuro	2160
Bond	425

Fuente: Propia.



**Figura 4.17** Dobleces con la el sistema de Ori Miura en el papel medio.

Fuente: Propia.

#### 4.9.2 Absorción de agua

La velocidad de absorción en agua es un indicio de porosidad y entonces se dice que mientras un material sea más poroso la velocidad de absorción es rápida; es decir, que el recorrido de agua absorbida en un segmento de papel, está dado por la capilaridad en un tiempo específico y medido en mm. De tal manera, que las pruebas realizadas en las muestras de papel elaborado con desechos de piña, fue tomando un trozo de papel con dimensiones de 10 x 10 cm, midiendo el tiempo en que la hoja se humedeció por completo, tal como se observa en la Figura 4.18 y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.4.

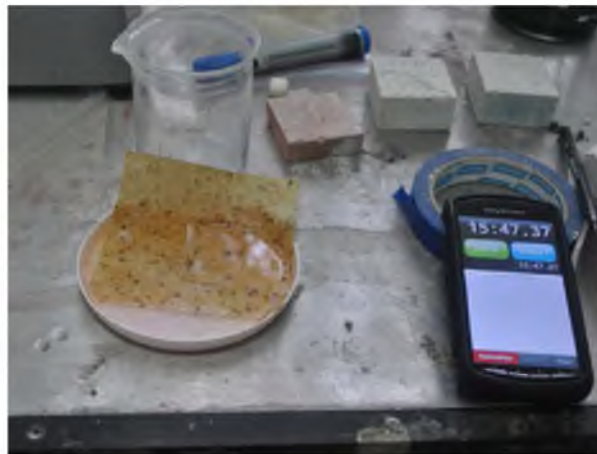


Figura 4.18 Absorción de agua para el papel medio.

Fuente: Propia.

Tabla 4.4 Absorción de agua en papel elaborado con desechos de piña.

PAPEL	TIEMPO DE ABSORCIÓN (s)	VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (m/s)
Claro	3 min 41.65	$2.2 \times 10^{-4}$
Medio	15 min 47.37	$5.2 \times 10^{-5}$
Oscuro	24 min 57.32	$3.3 \times 10^{-5}$

Fuente: Propia.

### 4.9.3 Absorción de tinta

Para esta prueba, es necesario establecer de forma clara y precisa, el procedimiento a seguir para la determinación de absorción de tinta en papel, lo cual está en función del desprendimiento por elevación del alcohol etílico por capilaridad en un tiempo determinado. Además también depende de la superficie que constituye una capa que entra en la composición del papel, la cual queda impregnada en la superficie y esta no sea raspada fácilmente. Por lo que, para la realización de esta prueba, se colocaron los tres tipos de papel obtenidos con dimensiones de 10 x 10 cm. Marcando un segmento de tres milímetros de espesor con plumón base aceite a 2.5 cm arriba de la base de la hoja. Después, se colocó la base de la hoja sobre un recipiente con alcohol etílico, el tiempo a medir es considerado desde el momento en que la hoja entra en contacto con el alcohol, finalizando cuando queda totalmente húmeda la hoja. La medición de absorción de tinta es tomada con respecto a la deformación sufrida de la línea trazada hasta el punto más alto deformado con respecto al segmento trazado. Los resultados obtenidos son presentados en la Tabla 4.5 y Figuras 4.19, 4.20 y 4.21, observando claramente la deformación sufrida del segmento trazado, el cual es mayor para la muestra uno (papel claro) y en menor proporción para la muestra dos (papel medio), mientras que para la muestra tres (oscuro), el desplazamiento de la tinta es menor. A lo cual, es recomendable proporcionar un tiempo suficiente para el secado, ya que esta prueba fue realizada de forma inmediata a la aplicación de la tinta.

Tabla 4.5 Absorción de tinta en papel elaborado con desechos de piña.

PAPEL	TIEMPO DE ABSORCIÓN (s)	VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE TINTA (m/s)
Claro	207.50	$2.4 \times 10^{-4}$
Medio	915.00	$5.46 \times 10^{-5}$
Oscuro	1374.29	$3.63 \times 10^{-5}$

Fuente: Propia.

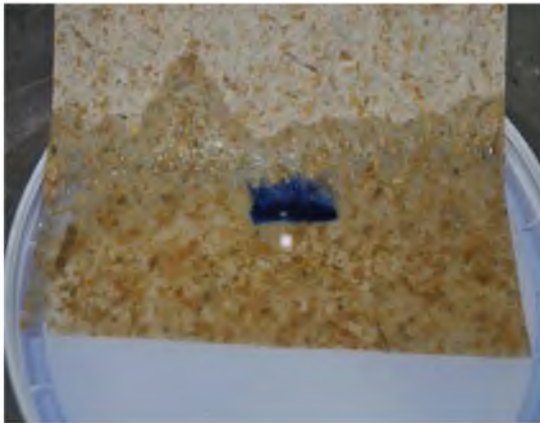


Figura 4.19 Papel claro.

Fuente: Propia.



Figura 4.20 Papel medio.

Fuente: Propia.



Figura 4.21 Papel oscuro.

Fuente: Propia.

## 4.10 Físicas

La caracterización del papel se efectúa en base a sus propiedades físicas, que influyen sobre su comportamiento en uso. Estas propiedades están definidas por las características físicas y químicas de las fibras celulósicas, los tratamientos a que éstas se someten y las condiciones del proceso de formación de los distintos tipos de papeles que se fabrican. Por lo que, las pruebas físicas que se realizaron a los diferentes tipos de papel obtenidos fueron: Espesor, gramaje, humedad, densidad aparente, volumen específico, lisura, pH, hongos, porosidad, orientación de la fibra, impresión en laser y serigrafía.

### 4.10.1 Espesor

El espesor, es la medida de la distancia perpendicular que existe entre las dos caras del papel, bajo condiciones específicas. En la práctica industrial y comercial es también conocido como calibre según la norma NMX- N-104-SCFI-2009. Esta prueba se realizó utilizando tres papeles del mismo tipo con dimensiones de 10 x 10 cm, colocándolos apilados uno sobre de otro, posteriormente y utilizando un vernier digital (Figura 4.22), se midieron realizándolo por cada lado del apilamiento. Los resultados obtenidos fueron promediados entre el número de mediciones realizadas y el número de hojas utilizadas. Este procedimiento fue realizado para obtener los espesores para cada tipo de papel de desecho de piña obtenido, tal como se muestra en la Tabla 4.6. Estos resultados demuestran que el papel con menor espesor, fue para la mezcla uno (claro), mientras que el de mayor espesor es para la mezcla tres (oscuro) siendo este de 0.19 mm, mientras que un papel comercial cuanta con 0.10 mm, lo que indica que se obtuvieron papeles con valores mayores y menores al espesor de uso comercial.

Tabla 4.6 Espesores de papel con desechos de pña.

PAPEL	ESPESOR (mm)
Claro	0.06
Medio	0.14
Oscuro	0.19
Bond	0.10

Fuente : Propia.



Figura 4.22 Medición de espesor.

Fuente: Propia.

#### 4.10.2 Gramaje

El gramaje de un papel, está dado por el peso medido en gramos en un metro cuadrado de papel. Para ello, las pruebas se realizaron utilizando los tres tipos de papel con dimensiones de 10 x10 cm. Seguido de ello, se pesaron y se consideró el área de cada una de las hojas de papel, para posteriormente aplicar la ecuación dos, correspondiente a gramaje. Presentando en la ecuación cuatro, la forma de cómo se aplica el cálculo para uno de ellos. Los resultados obtenidos son presentados en la Tabla 4.7. Estos resultados demuestran que si se tiene un pliego de un metro cuadrado del papel claro el peso corresponderá a 69.8 gramos, demostrando con esto que este papel está por debajo del peso del papel comercial, el cual oscila entre los 75 y 80 g/m<sup>2</sup>.

$$\text{Gramaje } \left( \frac{g}{m^2} \right) = \frac{1.4922 \text{ g}}{0.01 \text{ m}^2} = 149.2 \text{ g/m}^2 \quad (4)$$

Tabla 4.7 Gramaje del papel elaborado con residuos de piña.

PAPEL	PESO (g)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	GRAMAJE (g/m <sup>2</sup> )
Claro	0.6987	0.01	69.8
Medio	0.8321	0.01	83.21
Oscuro	1.4922	0.01	149.2

Fuente: Propia.

#### 4.10.3 Humedad

Los papeles tienden a ser higroscópicos, porque tienen la capacidad de absorber o perder humedad, dependiendo del medio en que se encuentren. Es por ello, la importancia de medir la cantidad de agua que llega a almacenarse entre las fibras de un papel, dada en porcentaje de agua evaporable contenida en el mismo (PROY-NMX-N-100-2008). Los problemas que puede presentar la producción de papel, es que exista ondulación, grietas o roturas, entre otros; estos problemas tienen una causa común, provocada por las bajas humedades relativas en el interior, ya que el aire circundante rige el contenido de humedad del papel. Las fibrillas del papel absorben la humedad, cuando el papel está más seco que el aire circundante y la expelen cuando las condiciones son inversas. Un contenido de humedad del papel oscila entre el 5%-7%, que es esencial para mantener la solidez y manejabilidad satisfactorias del papel. Esto requiere una humedad relativa en el interior de 40%-50%, pero los contenidos de humedad están en función a la composición del papel. Los cambios en el contenido de humedad, causan que el papel se vuelva más grueso o más fino, más liso o más ondulado, más duro o más suave, más grande o pequeño,

flexible o frágil.([http://www.devatec.com/humidificacion/pdf/Learn\\_more\\_on\\_Humidification-esp.pdf](http://www.devatec.com/humidificacion/pdf/Learn_more_on_Humidification-esp.pdf))

De tal manera, que la prueba de humedad para el papel elaborado a partir de los desechos de piña, fue realizada tomando fragmentos de papel con dimensiones de 10 x 10 cm, pesándolos en una balanza analítica, dicho peso es considerado como peso inicial; posterior a ello, las muestras son colocadas en un horno mufla a una temperatura de 100°C por un tiempo de 24 horas. Una vez secadas las muestras son pesadas nuevamente y es considerado como peso final. Los resultados obtenidos fueron realizados mediante la ecuación uno, que al sustituir los valores se obtiene la ecuación cinco, los cuales son presentados en la Tabla 4.8, donde se calculó la humedad para la muestra tres (oscuro) y de forma similar se realizaron para todas las demás muestras. Por otro lado, se observa también que el papel con mayor porcentaje de humedad es el de la mezcla tres (oscuro) seguido por la mezcla dos (medio), lo que indica que son papel grueso, robusto, duro y seco. Sin embargo, pese a la alta humedad contenida en la mezcla uno (claro), este papel presenta ser un papel fino, ligeramente liso por una de sus caras, flexible y suave, aunque esto dependerá también donde se encuentre almacenado el papel.

$$\text{Porcentaje de humedad papel oscuro (\%)} = \frac{1.4772 \text{ gr} - 1.3142 \text{ gr}}{1.4772 \text{ gr}} = 11.03 \% \quad (5)$$

Tabla 4.8 Porcentaje de humedad.

PAPEL	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)
Claro	0.8516	0.7658	10.07
Medio	0.9536	0.8527	10.58
Oscuro	1.4772	1.3142	11.03

Fuente: Propia.

#### 4.10.4 Densidad aparente

La densidad es una de las propiedades más importante que se le realiza al papel, ya que proporciona información de la estructura de la hoja, la cual está relacionada con la porosidad y rigidez, excepto con el gramaje. También afecta la absorción y la facilidad para ser impreso. Los cálculos son realizados dividiendo el gramaje entre el espesor de papel de acuerdo a la ecuación seis (Sixta, 2006). De tal manera que los cálculos se realizaron tomando los datos obtenidos de gramaje y espesor, tal como se observa en la ecuación seis, que al sustituir los valores se obtiene la ecuación siete y los resultados son mostrados en la Tabla 4.9. Estos resultados muestran que para la mezcla uno (claro), la densidad es mayor a las mezclas dos y tres, debido a que la masa en cada tipo de papel con respecto al gramaje es diferente; es decir, esta diferencia de densidades es debida a que la masa es mayor para la mezcla uno.

$$\text{Densidad aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Gramaje (g/m}^2\text{)}}{(1000 * \text{Espesor (mm)})} \quad (6)$$

Sustituyendo valores en ecuación (6) para la mezcla 3 (oscuro):

$$\text{Densidad aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{149.2 \text{ g/m}^2}{(1000 * 0.19 \text{ mm})} = 0.78 \text{ g/cm}^3 \quad (7)$$

Tabla 4.9 Densidad aparente.

PAPEL	GRAMAJE (g/m <sup>2</sup> )	ESPESOR (mm)	DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )
Claro	69.8	0.06	1.16
Medio	83.21	0.14	0.59
Oscuro	149.2	0.19	0.78

Fuente: Propia.

#### 4.10.5 Volumen específico

Para los cálculos realizados de volumen específico, se toma en cuenta la ecuación ocho para obtener la ecuación nueve, que relaciona el inverso de la densidad aparente (Sixta, 2006). Este valor en la industria papelera, es normalmente conocido como “mano”, lo que indica el volumen específico. Habitualmente, se dice que un papel tiene “más mano” o “menos mano” que otro, cuando se le realiza la prueba de manera manual, indicando que al tacto se puede sentir mayor o menor sensación de volumen. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.10.

$$\text{Volumen específico (cm}^3/\text{g)} = \frac{(1000 * \text{Espesor (mm)})}{\text{Gramaje (g/m}^2\text{)}} \quad (8)$$

Sustituyendo valores en ecuación (8) para la mezcla 3 (oscuro):

$$\text{Volumen específico (cm}^3/\text{g)} = \frac{(1000 * 0.19 \text{ mm})}{149.2 \text{ g/m}^2} = 1.27 \text{ cm}^3/\text{g} \quad (9)$$

Tabla 4.10 Volumen específico.

PAPEL	ESPESOR (mm)	GRAMAJE (g/m <sup>2</sup> )	VOLUMEN ESPECIFICO (cm <sup>3</sup> /g)
Claro	0.06	69.8	0.85
Medio	0.14	83.21	1.68
Oscuro	0.19	149.2	1.27

Fuente: Propia.

#### 4.10.6 Lisura

La lisura es una propiedad que influye tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel, un papel puede tener superficie lisa o rugosa. Los

factores que ocasionaron la rugosidad en los papeles de fibra de piña, fueron variados en relación al tipo de mezcla realizada y además debida a que el prensado en húmedo del papel no se realizó con el equipo necesario, ya que no se contaba con él. Sin embargo, se obtuvo una cara más lisa que la otra en los tres diferentes tipos de papel, ocasionado tal vez por la manera de colocar el papel sobre la lámina metálica durante el proceso de la elaboración del papel (Figura 4.23) y la cara expuesta al fieltro fue de manera rugosa (Figura 4.24).



Figura 4.23 . Lado liso.

Fuente: Propia.



Figura 4.24 Lado rugoso.

Fuente: Propia.

#### 4.10.7 pH

El controlar el pH en cualquier solución, es importante debido a que indica la acidez o alcalinidad de las sustancias; más sin embargo, durante la fabricación de papel representa ser un análisis que se debe controlar de forma precisa, ya que es indicativo de que un valor de pH menor a siete sea considerado como ácido y un pH mayor a siete se consideran alcalinos. Por lo tanto, cuando la pulpa del papel se encuentra a un  $\text{pH} \geq 7$  asegura que estos papeles conservarán sus propiedades y características tanto físicas como químicas a través del tiempo. Por lo contrario, si un  $\text{pH} < 7$  indica que la acidez será de forma agresiva, lo que ocasiona un grave y rápido deterioro al papel. Por lo anterior, durante la fabricación del papel a partir de desechos de piña, el pH se monitoreo durante

todo el proceso de cocción de las fibras, controlándolo mediante la adición de  $\text{NaHCO}_3$ , hasta obtener valores superiores a siete, la medición se realizó utilizando papel indicador de pH. Para corroborar los datos obtenidos, durante la elaboración de los tres tipos de papel, se realizó una prueba de pH, la cual consistió en colocar 100 gr de muestra (mezclas uno, dos y tres por separado) en un volumen de 20 ml de agua desionizada en un vaso de precipitado de 100 ml, agitándolas a  $200 \text{ min}^{-1}$  por un periodo de tiempo de 10 min y colocado sobre una parrilla de calentamiento y agitación magnética (Figuras 4.25 y 4.26), la medición se realizó con un pH metro, el cual fue calibrado anteriormente con soluciones reguladoras de 4, 7 y 10 para estandarizar el equipo. Los resultados de esta prueba son presentados en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 pH.

PAPEL	pH
Claro	9.24
Medio	9.80
Oscuro	9.81

Fuente: Propia.



Figura. 4.25 Agitación del papel claro en agua desionizada.

Fuente: Propia.



Figura. 4.26 Vaso de precipitados con 100 gr de muestra de papel claro diluida en 20 ml de agua desionizada.

Fuente: Propia.

#### 4.10.8 Hongos

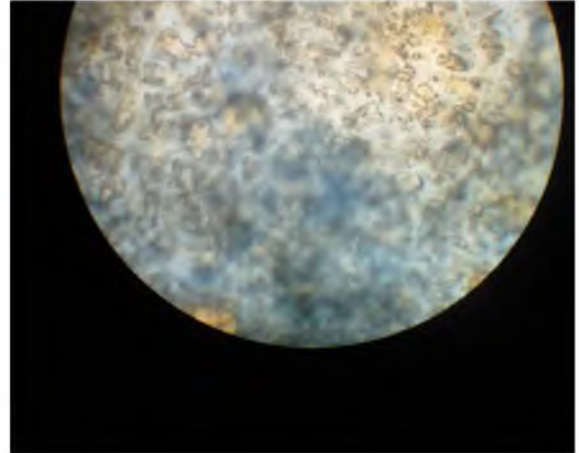
Son microorganismos del reino Fungi, su nutrición es por absorción a través de la pared celular, contribuyen a invadir hábitats muy diversos y cumplen una función en el ecosistema, la degradación de material orgánico y la descomposición de la celulosa al degradar papel, telas, cuero, hidrocarburos y otros productos, excepto plásticos y pesticidas (Uribarren T. et al. 2015). Crecen bien en medios artificiales y presentan una fuente de carbono orgánico, generalmente azúcar y nitrógeno. Los hongos toleran mejor el medio ácido, alterando el pH durante el deterioro del material. Por consiguiente, es importante mencionar que para realizar esta prueba, se utilizó un microscopio biológico (marca Iroscope, modelo MG-11T) y muestras preparadas con los tres tipos de papel obtenidos, con dimensiones de 2 x 0.5 cm; a las cuales, se les agrego mediante la técnica de tinción simple (utilizada para destruir la flora acompañante), un colorante de azul de lactofenol, solución utilizada para permitir identificar la existencia de hongos, se agregó una gota de azul lactofenol a cada uno de los papeles colocados sobre portaobjetos (Figura 4.27) y dejando actuar la solución de azul por un tiempo de 30 segundos, para posteriormente observarlos en el microscopio a 40x (Figuras 4.28, 4.29 y 4.30), donde se observó la ausencia de hongos, debido a que no se encontraron estructuras filamentosas características de los mismos y solo se observó la tinción de las fibras, lo cual demuestra que no existe presencia ni indicios de hongos sobre la superficie de ninguno de los tres tipos de papel elaborados. Este análisis, se realizó tres meses posteriores a la fabricación del papel y expuestos al medio ambiente, midiendo primeramente el pH de las mezclas uno, dos y tres, obteniendo valores de pH de 9.24, 9.8 y 9.81, respectivamente, que a manera de comprobar, esta prueba se realizó a las mismas mezclas después de 4 años

de su elaboración, encontrando que no existió alteración en ninguna parte de la superficie de los tres tipos de papel.



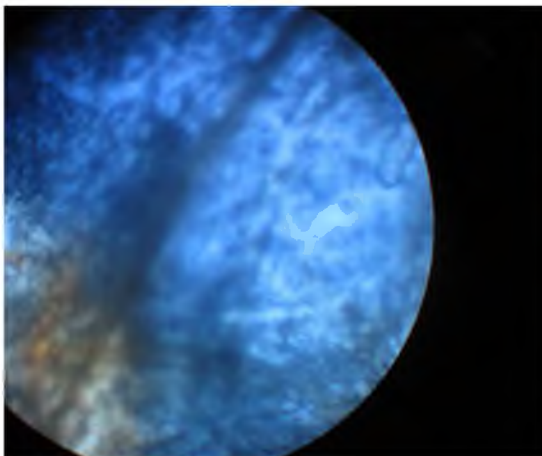
**Figura. 4.27** Papeles sobre portaobjetos con la solución azul de lactofenol.

Fuente: Propia.



**Figura 4.28** Papel claro.

Fuente: Propia.



**Figura 4.29** Papel medio.

Fuente: Propia.



**Figura 4.30** Papel oscuro.

Fuente: Propia.

#### 4.10.9 Orientación de las fibras

Cuando se fabrica papel, las fibras se orientan principalmente sobre la dirección de la banda del papel o de fabricación. La mayoría de las fibras están orientadas en esa misma dirección, lo que hace más fácil doblar el papel. Se expresa mediante un número de dos cifras. La primera cifra indica siempre el lado opuesto a la dirección de fibra de un papel con la indicación 210x297 mm, significa que el lado opuesto a la dirección de fibra viene dado por los 210mm. En cambio si la indicación fuera 297x210mm, el significado sería que el lado opuesto a la dirección de fibra es de 297mm. Para ello, se corta un papel en forma de cuadrado y se coloca sobre una mesa, de manera que sobresalga del borde de la misma (primero en un sentido y luego girándolo 90 grados) el sentido del papel que más se arquea es transversal a la dirección de la fibra. También se puede describir la dirección de fibra de un papel, apretando fuertemente el borde de una hoja entre la yema de un dedo y una uña, deslizándolos a lo largo de dos bordes consecutivos: el borde que queda más ondulado es transversal a la dirección de fibra. Este hecho permite deducir cual es la dirección de fibra de cualquier papel.

Este análisis, consistió en realizar la observación de los tres tipos de papeles en un microscopio biológico (marca Iroscope, modelo MG-11T) a 40x y también se realizó a simple vista auxiliándose de un soporte provisto de un foco de 60 W, con la finalidad de realizar un estudio comparativo de la dirección de las fibras, observándose las siguientes descripciones de cada tipo de papel.

**Papel claro:** se visualizaron fibras largas y finas orientadas de forma horizontal a 40x (Figura 4.31), aunque también se ven a simple vistas y con el foco de 60 W partes de pared celular de la corona (Figura 4.32).

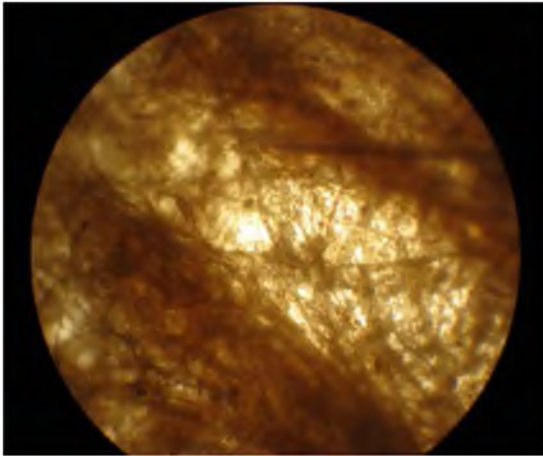


Figura 4.31 Papel claro a 40x.

Fuente: Propia.

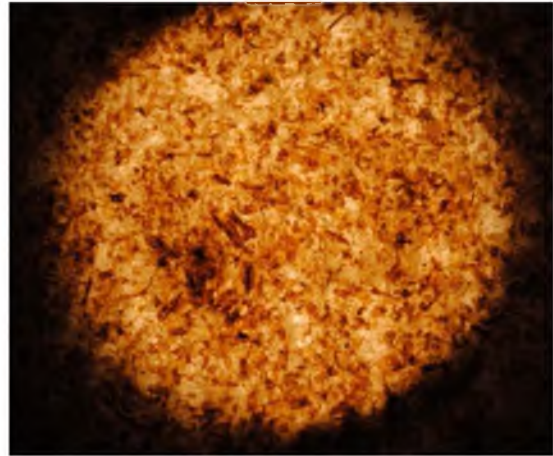


Figura 4.32 Papel claro con foco de 60 W.

Fuente: Propia.

**Papel medio:** Se visualizaron fibras de mayor tamaño (Figuras. 4.33 y 4.34), con una orientación de fibras no definidas, aunque predominan de manera horizontal. Esto se observa en ambos casos.

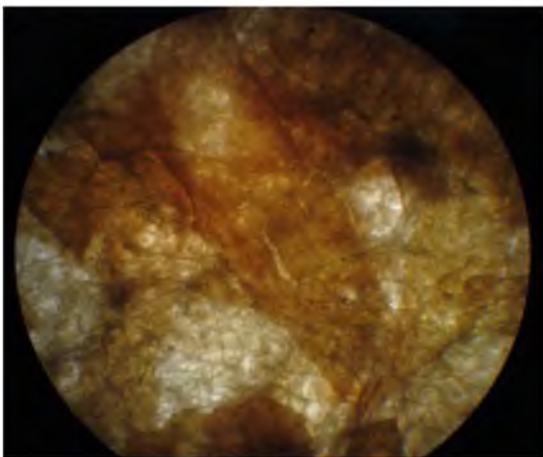


Figura 4.33 Papel medio a 40x.

Fuente: Propia.

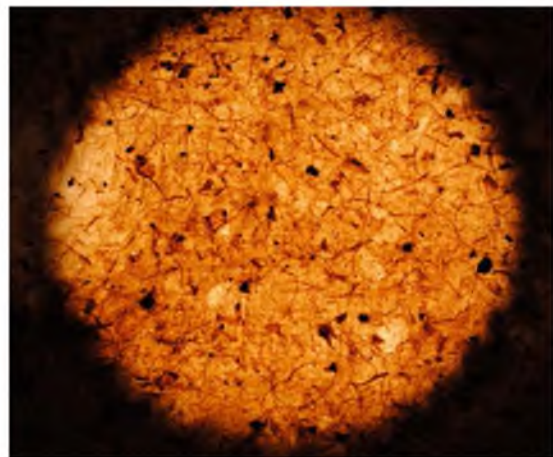


Figura 4.34 Papel medio con foco de 60 W.

Fuente: Propia.

**Papel oscuro:** se observó variantes en forma, longitud y grosor de las fibras, sin una orientación bien definida y también con aglomeraciones en determinadas zonas aunque preponderan las que van de manera vertical (Figuras.4.35 y 4.36). Esto se puede observar a 40x y con foco de 60 W.



Figura 4.35 Papel oscuro a 40x.

Fuente: Propia.

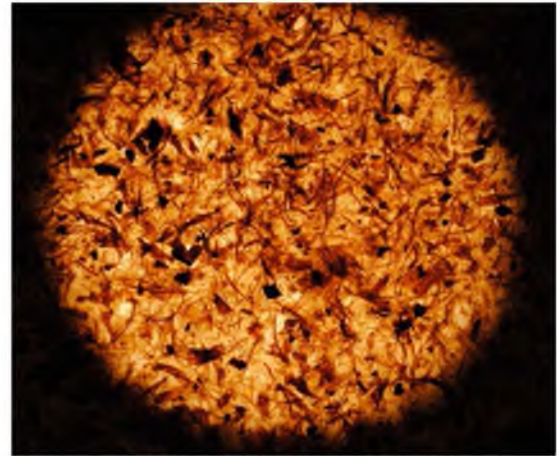


Figura 4.36 Papel oscuro con foco de 60 W.

Fuente: Propia.

#### 4.10.10 Impresión en láser

Para realizar esta prueba, se utilizó una impresora tipo HP laserjet 1015 monocromática, imprimiendo por el lado más liso de las hojas. Durante la impresión se mostraron características diferentes, como la mejor calidad de impresión, ya que se obtuvo la mejor en el papel claro (Figura 4.37), mientras que en el papel medio, se mostraron deficiencias en algunas zonas, ya que la impresión fue de forma discontinua (Figura 4.38), por otro lado, en el papel oscuro se observa la misma forma de impresión (Figura 4.39).

De tal manera que durante la impresión en los tres tipos de papel, se determinó que se presentan problemas durante el registro de impresión, dando como resultado un indicio de alta rugosidad en papel medio y oscuro, lo que se puede

concluir que el papel menos rugoso es el papel claro y es el idóneo para impresión.



Figura 4.37 Impresión en papel claro.

Fuente: Propia.



Figura 4.38 Impresión en papel medio.

Fuente: Propia.



Figura 4.39 Impresión en papel oscuro.

Fuente: Propia.

#### 4.10.11 Serigrafía

Es un sistema de impresión, que consiste en el paso de tinta a través de una plantilla que sirve como enmascaramiento, incorporada a una malla tensada en un bastidor ([http://www proveedoradelasartesgraficas.com/pdf/CURSO%20BASICO%20DE%20SERIGRAFIA.pdf](http://www.proveedoradelasartesgraficas.com/pdf/CURSO%20BASICO%20DE%20SERIGRAFIA.pdf)). Esta prueba se realizó para los tres tipos de

papel, utilizando dos diferentes tintas comerciales para papel, siendo estas Serilustre y Kartel de la empresa Sánchez. La primera es una tinta de secado lento con brillo y forma una película flexible, la segunda es una tinta de secado rápido, utilizada solo para papel y tiene un acabado satinado mate (www.sanchez.com.mx).

Durante la prueba, se realizaron impresiones sobre los tres tipos de papeles en forma de rectángulos de dos por ocho centímetros, con la finalidad de visualizar la calidad de impresión con ambas tintas, logrando observar que la tinta Serilustre se adhiere, dejando una película impregnada sobre el papel (Figura 4.40), en comparación con la tinta Kartel, la cual logra penetrar al papel que hace visualizar las fibras con claridad (Figura 4.41).



Figura 4.40 Impresión en tinta serilustre.

Fuente: Propia.



Figura 4.41 Impresión en tinta kartel.

Fuente: Propia.

## 4.11 Diseño de objetos

El diseño de los objetos que se propone, es con la finalidad de utilizar los diferentes tipos de papel obtenido con los desechos de fibra de piña, en aplicaciones de uso común, ya que las pruebas realizadas durante este estudio

así lo permiten. Estos productos fueron diseñados basándose en los principios de la geometría básica, para obtener lámparas de mesa, bolsas de uso ornamental.

#### 4.11.1 Diseño de lámpara

Las lámparas de mesa, usualmente ofrecen una iluminación puntual y agradable. Estas constituyen un elemento fundamental como apoyo lumínico principal de una estancia o como luminaria aislada para luz de ambiente o lectura. Para este diseño, se realizaron propuestas basadas en el geometrismo característico por acomodo de formas básicas, así como descomposición de la forma en múltiples partes, todas ellas geométricas. Para estas propuestas se utilizaron nueve cuadros donde se ordenaron de diferentes maneras, teniendo un patrón que se ocupó en cuatro caras laterales y una diferente para la cara superior (Figuras 4.42 y 4.43). A partir de estos patrones, se proponen dos bocetos.

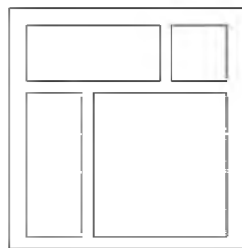


Figura 4.42 Cara lateral.

Fuente: Propia.

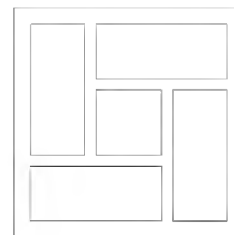


Figura 4.43 Cara superior.

Fuente: Propia.

#### Boceto 1:

En la Figura 4.44 se muestra un boceto con dimensiones de 24 x 24 x 44 cm considerando que tiene un soporte que surge del mismo concepto, de la parte superior de la lámpara. Este soporte se propone con una altura de 20 cm.

## Boceto 2:

En la Figura 4.45 se muestra un boceto con dimensiones de 21 x 21x 26 teniendo un soporte de cinco centímetros en la parte inferior de la lámpara, este soporte surge de la misma estructura de una de las caras laterales.

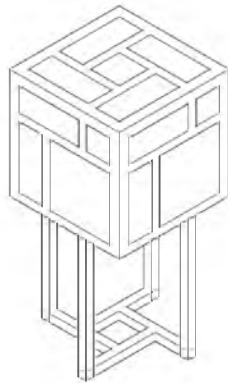


Figura 4.44 Boceto de lámpara uno.

Fuente: Propia.

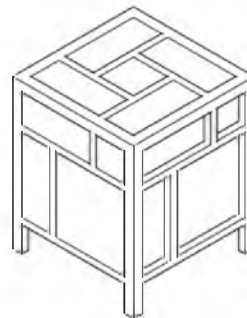


Figura 4.45 Boceto de lámpara dos.

Fuente: Propia.

## Elaboración de prototipo

Al finalizar la etapa de boceto, se determinó utilizar la propuesta dos, ya que proporcionó una geometría conveniente, puesto que la propuesta uno, no presenta estabilidad debido a la forma de la base. La elaboración de la lámpara se realizó en madera de pino con acabado en color marrón oscuro y recubriendo las áreas con papel medio de desechos de piña. Esta lleva una lámpara de espiral de bajo consumo de 60 W con luz cálida, también conocida como amarilla y recomendado para utilizar en áreas de descanso, como por ejemplo en recámara y sala (Figuras. 4.46, 4.47, 4.48 y 4.49).

El software AutoCAD se utilizó para el dibujo de planos y modelado en 3D de las propuestas de lámparas.

En las Figuras 4.52 y 4.53 muestra la secuencia de ubicación de las piezas que conforman la lámpara. El software SolidWorks se utilizó para realizar la perspectiva explosiva de la lámpara así como las Figuras 4.54 y 4.55 muestran la instalación eléctrica de la misma.



**Figura 4.46** Vista superior.

Fuente: Propia.



**Figura 4.47** Vista lateral.

Fuente: Propia.



Figura 4.48 Vista isométrica.

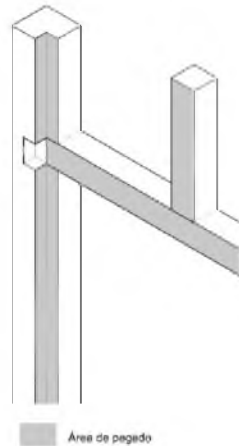
Fuente: Propia.



Figura 4.49 Vista isométrica dos.

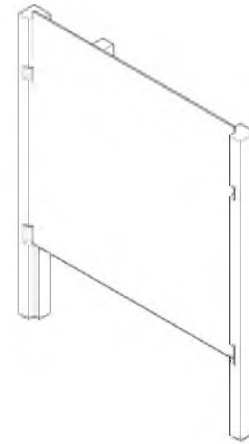
Fuente: Propia.

El pegado del papel de piña a la estructura de la lámpara, se realiza adhiriéndolo con pegamento comercial para madera, en la superficie destinada para la colocación del papel tal como se muestra en las Figuras 4.50 y 4.51, de esta forma se hace con cada una de las caras de la lámpara.



**Figura 4.50** Superficie de pegado.

Fuente: Propia.



**Figura 4.51** Pegado de hoja a la madera.

Fuente: Propia.



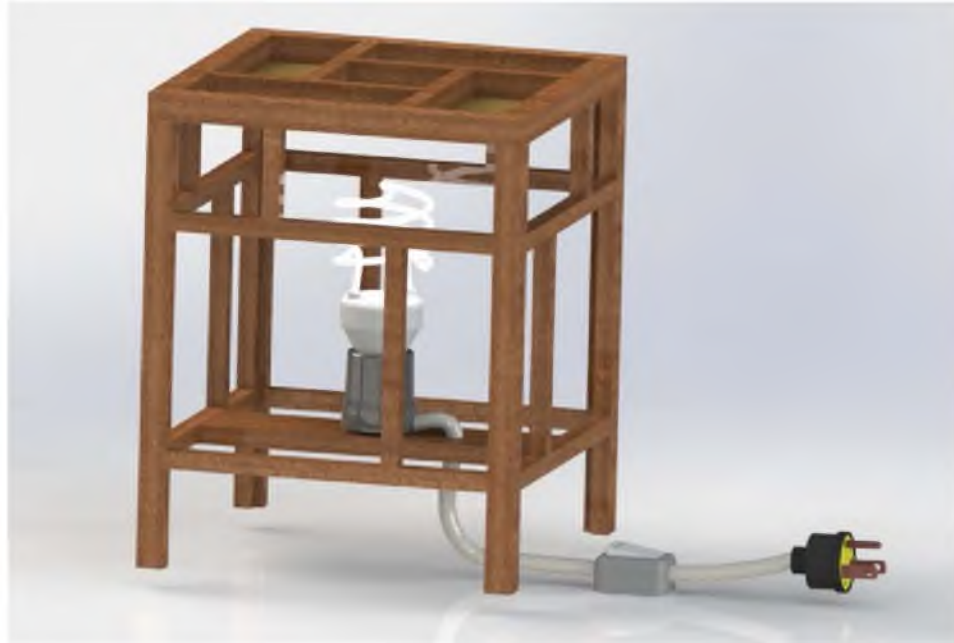
**Figura 4.52** Despiece de lámpara.

Fuente: Propia.



**Figura 4.53** Estructura de madera.

Fuente: Propia.



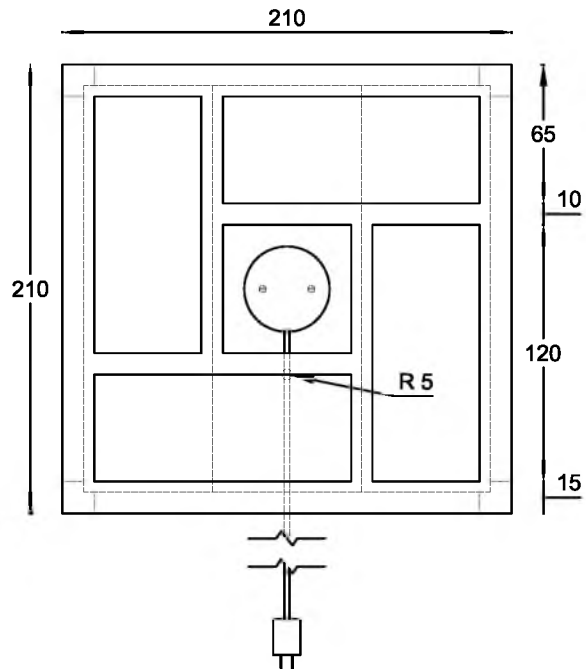
**Figura 4.54** Interior de lámpara.

Fuente: Propia.

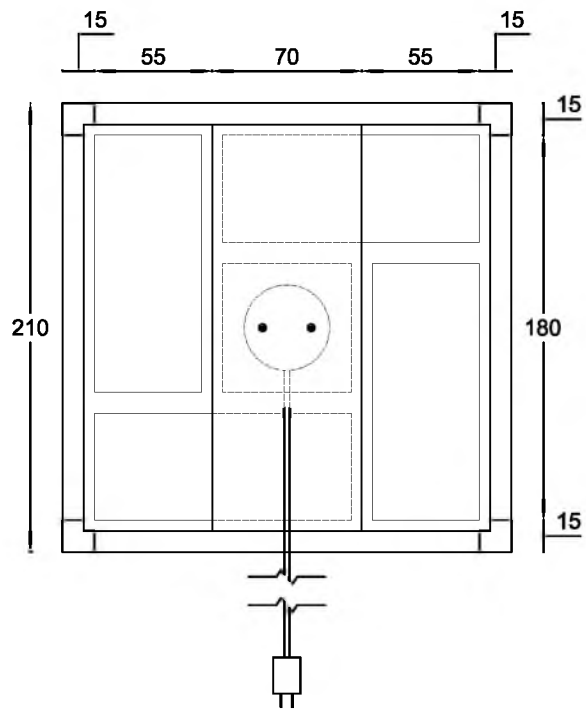


**Figura 4.55** Exterior de instalación eléctrica.

Fuente: Propia.

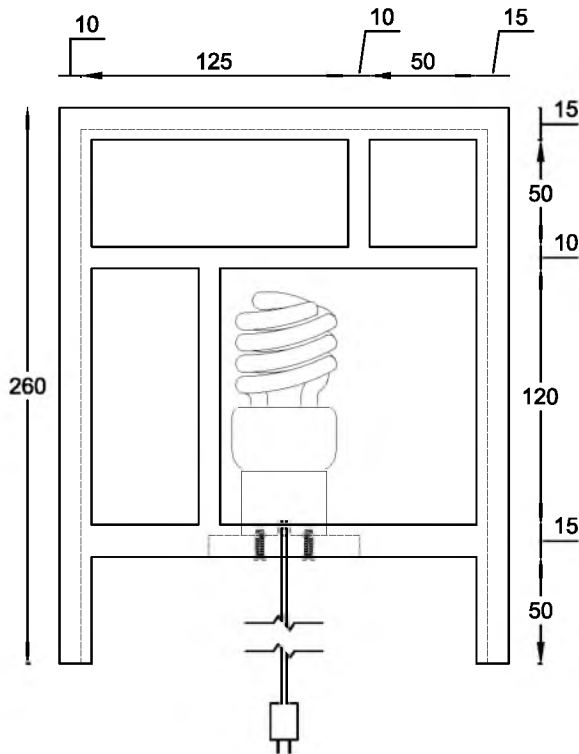


Vista superior

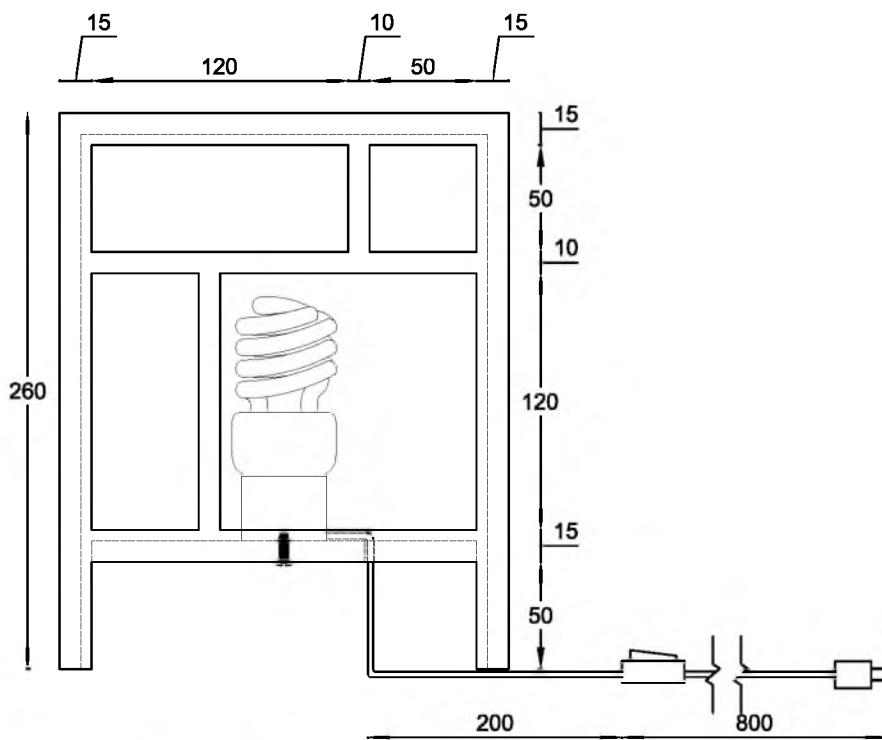


Vista inferior

	<b>Título</b> VISTAS DE LÁMPARA 1	<b>Fecha:</b> 15/01/16 <b>Esc.:</b> S/E	<b>No. Plano</b> 1
	<b>Diseño</b> ALMA ROSA VELASCO ROSALES	<b>Cota:</b> mm	

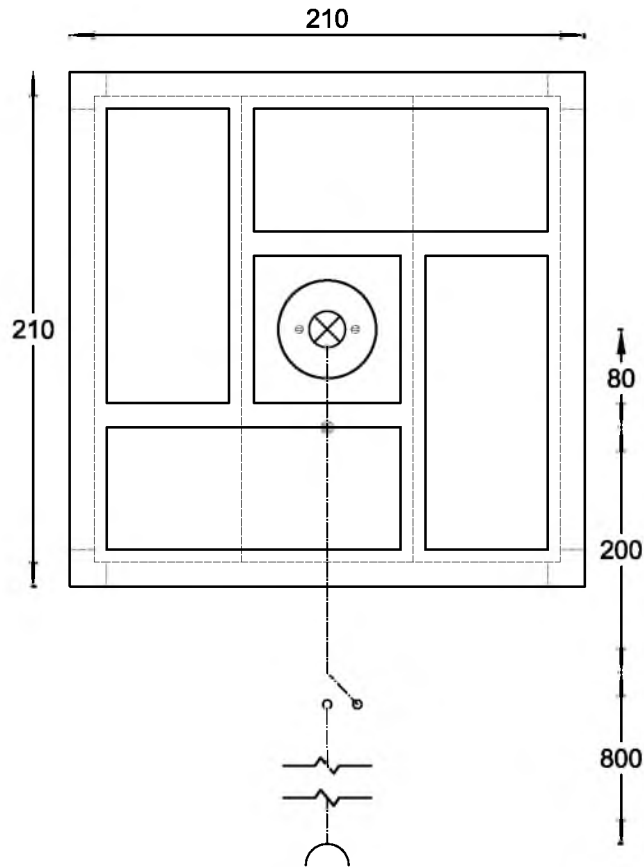


Lateral izquierda y derecha

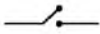
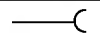





Frontal y posterior

	<b>Título</b> <b>VISTAS DE LÁMPARA 2</b>	<b>Fecha:</b> 15/01/16 <b>Esc.:</b> S/E	<b>No. Plano</b> 2
	<b>Diseño</b> <b>ALMA ROSA VELASCO ROSALES</b>	<b>Cota:</b> mm	



**SIMBOLOGÍA**

	Interruptor
	Clavija macho
	Lámpara de 60 W
	Tomillo cabeza redonda 1/2"
	Cable calibre 14



Título  
DIAGRAMA DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Diseño  
ALMA ROSA VELASCO ROSALES

Fecha: 15/01/16

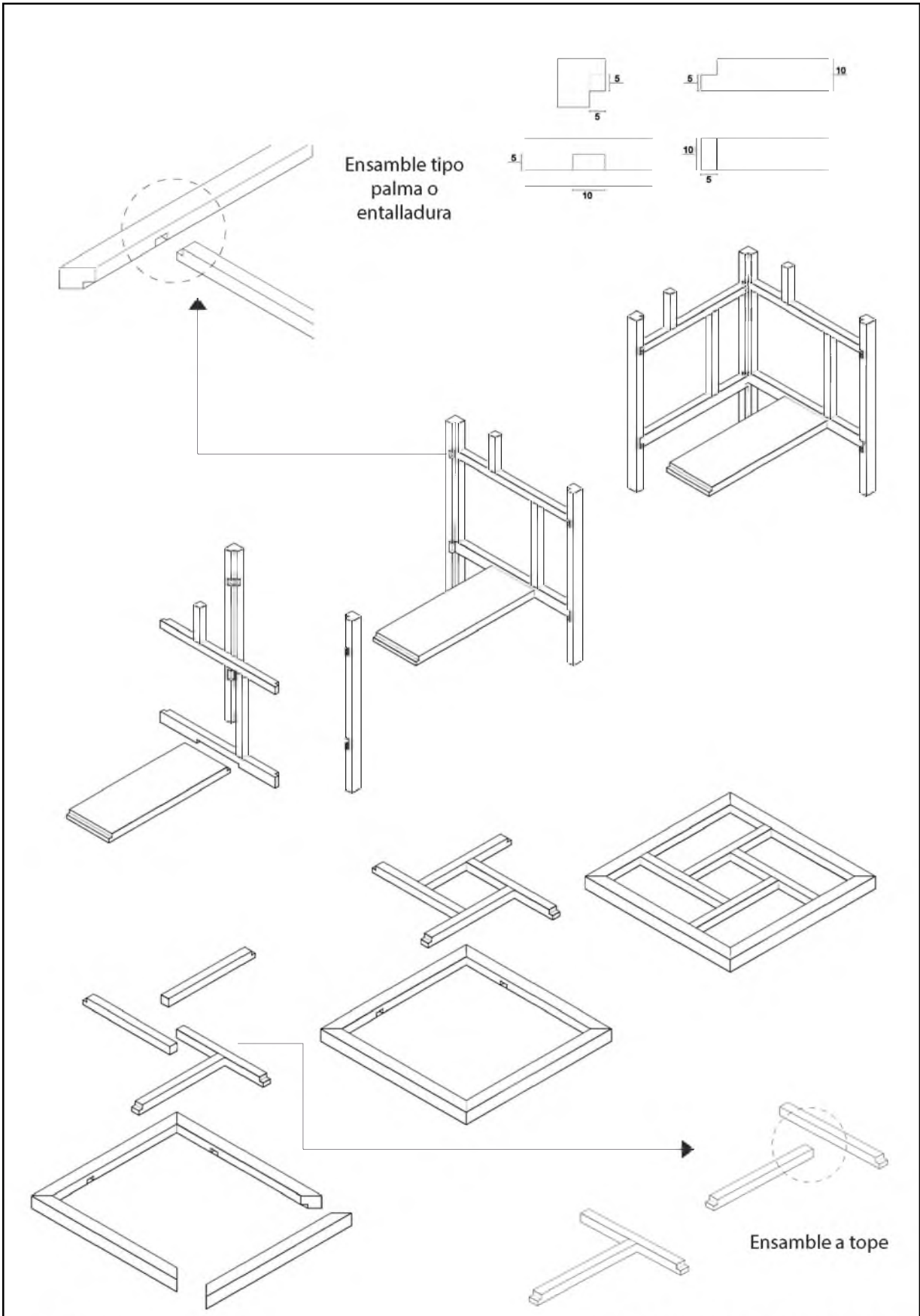
Esc.: S/E



Cota:  
mm



No. Plano  
3

**A4**



	Título ENSAMBLES	Fecha: 15/01/16	No. Plano 4
	Diseño ALMA ROSA VELASCO ROSALES	Esc.: S/E	
	Cota: mm		<b>A4</b>

### 4.11.2 Diseño de bolsa

Hoy en día, las bolsas de papel se usan para transportar mercancía, este material empezó a retomar importancia ante la preocupación del uso de la bolsa de polímeros y sobre su degradabilidad. Es por eso, que se propone la elaboración de bolsas de papel con desechos de paja, ya que cumple con la característica de ser biodegradable. Las propuestas se realizan bajo la influencia del origami, que es una técnica para realizar figuras u objetos con hojas de papel, doblándolas en repetidas ocasiones. Para ello, se plantearon dos propuestas con dimensiones aproximadas de 14 x 20 x 6 cm que permiten realizar esta acción. Lo anterior se muestra en las Figuras 4.54 y 4.55, tomando como propuesta definitiva la presentada en la Figura 4.56.

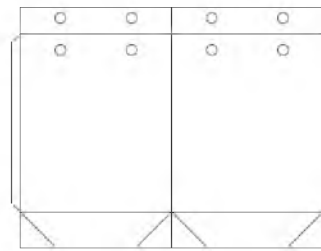


Figura. 4.56 Boceto de bolsa uno.

Fuente: Propia.

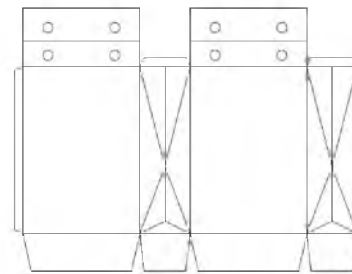


Figura. 4.57 Boceto de bolsa dos.

Fuente: Propia.

El software AutoCAD se utilizó para el dibujo de planos de las propuestas de bolsas de papel.

### Propuesta

Esta propuesta de bolsa se realizó con papel medio y oscuro (Figura 4.56), ya que presentan mayor resistencia a doblar, aunque el papel oscuro solo se utilizó para reforzar la base de la bolsa y el área de las asas. Esta propuesta se realizó

con al menos 20 dobleces, unos en valle y otros en montaña. Se utilizó adhesivo blanco comercial para pegar el papel. Y se le colocó en la parte superior una asa en cada extremo de la bolsa con ixtle comercial, este se trenzó a manera de que tuviera resistencia con los tres hilos trensados, esto con la finalidad de poder tomar la bolsa de forma adecuada.



Figura 4.58 Propuesta final de bolsa.

Fuente: Propia.

### Capacidad:

La bolsa propuesta cuenta con un largo de 14 cm, ancho de 6 cm y una profundidad de 20 cm teniendo una capacidad volumétrica de 1680 cm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se realizó la prueba de capacidad máxima de carga para la bolsa, el procedimiento de esta prueba se llevo a cabo mediante la adición de diferentes cargas que se incrementan cada 500 gramos hasta llegar a un

máximo de 5000 gramos, donde se evaluaron tres bolsas idénticas con la misma carga, con el propósito de evaluar su capacidad máxima, dando como resultado que la bolsa soporta hasta 4500 gramos sin llegar a presentar deformaciones ni ruptura de la asas.

#### 4.11.3 Encuadernación

Otra de las aplicaciones para el uso del papel elaborado a partir de los desechos de piña, fue el diseño para encuadernación de tamaño: carta, media carta y un cuarto de carta, que puede ser utilizado como cubierta de empastado. Esto con la intención de mostrar la aplicación en un objeto que podemos utilizar de manera cotidiana, objetos como libreta de apuntes, álbum de recuerdos, libros y demás. Lo anterior es observado en las Figuras 4.57, 4.58 y 4.59.



**Figura 4.59** Cubiertas con papel claro y oscuro.

Fuente: Propia.



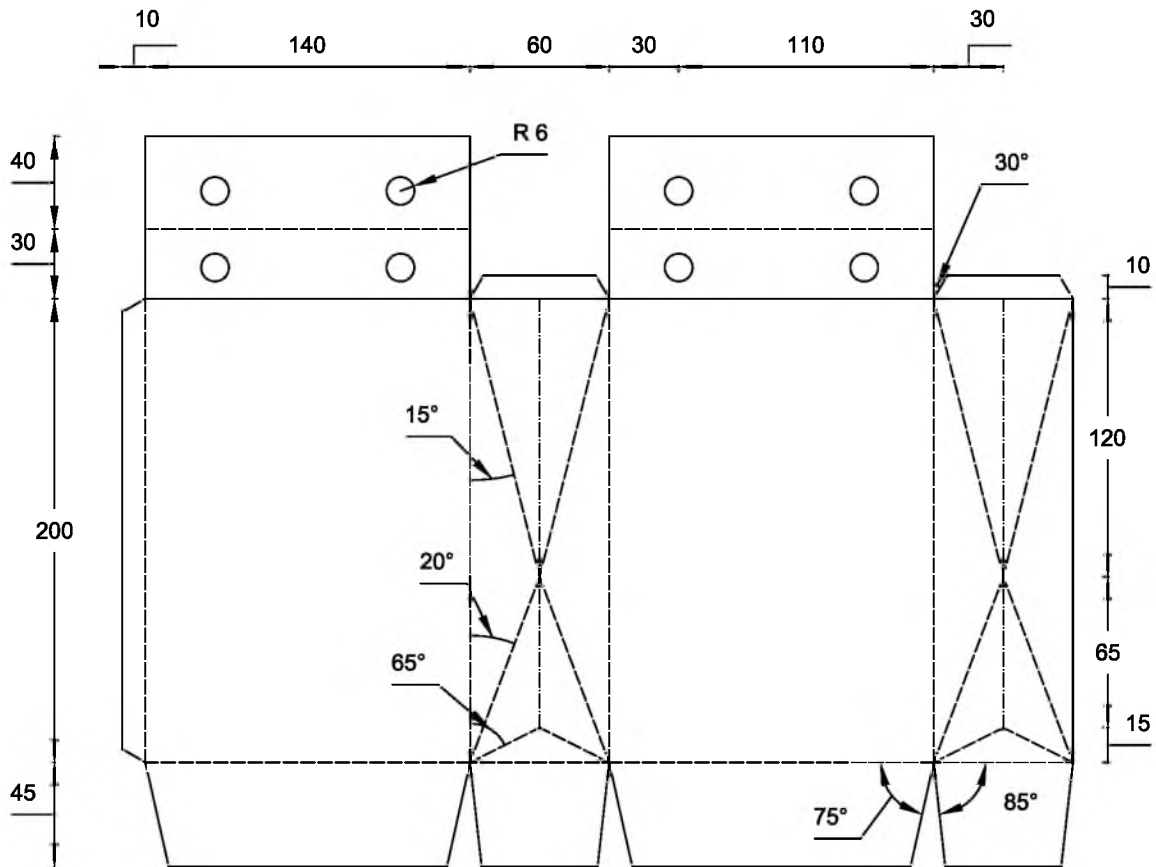
Figura 4.60 Libretas tamaño un cuarto de carta y media carta.

Fuente: Propia.





Figura 4.61 Libretas tamaño carta con aplique en encaje y listón azul.

Fuente: Propia.



----- Línea valle  
 - - - - - Línea montaña

	Título	Fecha: 19/01/16	No. Plano 5
	DESARROLLO DE PROTOTIPO DE BOLSA	Esc.: S/E	
Diseño	Cota:		A4
ALMA ROSA VELASCO ROSALES	mm		

# CONCLUSIONES

Se logró la obtención de papel de fibra con los desechos producidos por la industrialización de la piña en el municipio de Loma Bonita Oaxaca.

Se produjo papel de fibra de piña utilizando los principios de la metodología del taller Arte Papel Vista Hermosa, basada en la recolección, clasificación, cocción de fibras, mezcla, elaboración y secado del papel.

Para lograr una regulación del pH en la cocción de las fibras para la elaboración del papel, fue necesario añadir bicarbonato de sodio en proporción al tipo de desecho utilizado (10% para la corona y 15% para la cáscara, bagazo y corazón en peso) debido a sus contenidos ácidos.

Se logró obtener con los desechos de piña tres tipos de papel: claro (corona), medio (cáscara, bagazo y corazón) y oscuro (corona, cáscara, bagazo y corazón).

De los tres tipos de papel de fibra de piña elaborados (claro, medio y oscuro), el oscuro alcanza la menor velocidad de absorción de agua (mayor a 24 minutos), esto debido a que existe una buena distribución del tamaño de fibras, lo cual evita que contenga demasiada porosidad.

Los tres tipos papeles elaborados resultaron con espesores de 0.06, 0.14 y 0.19 mm, siendo el oscuro y el medio mayores al de un papel bond comercial (0.10 mm).

En función a la cantidad de fibra utilizada el gramaje de los papeles tiene una variación. Donde del papel medio tiene un gramaje similar al de un papel bond comercial (oscilando entre los 75 y 80 g/cm<sup>3</sup>), en tanto que en el claro es menor y en el oscuro es mayor.

Los resultados obtenidos de la mezcla uno (claro) muestran que la densidad aparente es mayor a la de las mezclas dos (medio) y tres (oscuro), debido a que conforme aumenta el espesor también aumenta el gramaje en cada mezcla.

Se determinó a partir de pruebas de doblez, que el papel de piña presenta una alta resistencia a la fractura, en comparación con un papel tipo bond. Esto se debe a que las fibras presentes en la estructura aumentan la flexibilidad del papel de piña, el papel que presento menor resistencia al doblez fue el claro.

El porcentaje de humedad de los papeles tiende a ser higroscópico, debido a la capacidad de absorber o perder humedad, ya que está en función de la composición del papel. Observando que el papel con mayor porcentaje de humedad es el de la mezcla tres (oscuro) seguido por la mezcla dos (medio), lo que indica que son papeles grueso, robusto, duro y seco, sin embargo pese a la alta humedad contenida en la mezcla uno (claro), este papel presenta ser un papel fino, ligeramente liso por una de sus caras, flexible y suave.

Los resultados obtenidos de la mezcla uno (claro) muestran que la densidad aparente es mayor a la de las mezclas dos (medio) y tres (oscuro), debido a que conforme aumenta el espesor también aumenta el gramaje en cada mezcla.

La prueba de hongos determinó que no existe presencia o indicios de hongos en los tipos de papel después de cuatro años de su elaboración. Debido a sus altos contenidos de pH en las mezclas (mayores a nueve).

El papel claro fue el que tuvo mejores resultados en impresiones en laser y serigrafía, debido a que presenta menor rugosidad que los papeles medio y oscuro.

Se propusieron diseños de uso cotidiano utilizando el papel de desecho de piña con la finalidad de utilizar los tres tipos de papel elaborados en los objetos. Siendo estos, lámpara de mesa, bolsa de uso ornamental y material para encuadernación.

Se propuso el diseño de una lámpara con dimensiones de 21 x 21 x 26 cm, elaborada en madera de pino con acabado en color marrón oscuro y papel medio, utilizando un lámpara de espiral de luz cálida.

La propuesta de bolsa se realizó con papel medio y oscuro, debido a que presentan mayor resistencia a dobléz, cuenta con al menos 20 dobleces para la elaboración. Esta tiene una dimensión de 14 cm de largo, 6 cm de ancho y una profundidad de 20 cm. Teniendo una capacidad máxima de carga de 4500 gramos, sin llegar a la ruptura.

Se planteó el uso de los tipos de papel como material de encuadernación, en diferentes tamaños, permitiendo encuadernar formatos tales como carta, media y cuarto de carta. Esto con finalidad de mostrar la aplicación en un objeto de uso cotidiano, objetos como libreta de apuntes, álbum de recuerdos, libros y demás.

# BIBLIOGRAFÍA

- Agunsoyea J.O. y Aigbodionb V.S. 2013. Bagasse filled recycled polyethylene bio-composites: Morphological and mechanical properties study. University of Lagos. Results in Physics 3, pp. 187–194.
- Aigbodion V.S. et al. 2010. Potential utilization of solid waste (Bagasse Ash). Ahmadu Bello University. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, pp. 67–77. Nigeria.
- Ananas anam. Piñatex. <http://www.ananas-anam.com/pinatex/>. Consultado el 15 de mayo de 2015.
- Anderson K. 1991. Ethephon and causes of ethephon uptake in pineapple. Acta Horticulturae 334: pp. 83 – 92. Estados Unidos.
- Bartholomew et al. 2003. The Pineapple. University of Hawaii at Manoa Honolulu. CABI Publishing. Estados Unidos.
- Bartolome P. et al. 1995. Polysaccharides from the cell walls of pineapple fruit. Instituto del Frío. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 43: pp. 608 – 612. España.
- Bibo G. A. et al. 1997. Mechanical characterization of glass and carbon fiber reinforced composites made with non-crimp fabrics Composite Science and Technology, pp. 1221–1241. Reino Unido.

- Botanica online. Propiedades de la piña. <http://www.botanical-online.com/pina.htm>. Consultado 20 noviembre de 2015.
- Castro R. C. 2009. Utilización de fibra de piña como reemplazo de madera comprimida en el diseño de muebles. Tesis de Ingeniero en Diseño. UNPA. México.
- Chau, C. F. y Huang, Y. L. 2003. Comparison of the Chemical Composition and Physicochemical Properties of Different Fibers Prepared from the Peel of Citrus sinensis L. cv. Liucheng. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, pp. 2615 – 2618. República de China.
- Curso básico de serigrafía. Medio tono soluciones gráficas. <http://www.proveedoradelasartesgraficas.com/pdf/CURSO%20BASICO%20DE%20SERIGRAFIA.pdf>. Consultado el 27 de junio de 2015 en (<http://www.proveedoradelasartesgraficas.com/pdf/CURSO%20BASICO%20DE%20SERIGRAFIA.pdf>).
- De la Cruz M. y García H. 2005. Operaciones postcosecha de la Piña. Instituto Tecnológico de Veracruz. México.
- Domínguez Barradas, D. (2013). Potencial del cultivo de piña MD-2 Ananas Comosus en el municipio de Juan Rodríguez Clara Veracruz. Tesis de ingeniero Agronomo. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Espinosa R. C. 2014. Etiología de la pudrición de cogollo de piña (Ananas comosus L. Merrill) en Isla, Veracruz México. Colegio de postgraduados Montecillo.
- Espinosa R. C. 2015. Etiología de la pudrición del cogollo de la piña (Ananas comosus L. Merrill) cultivar MD2 en Isla, Veracruz, México.

Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Revista Mexicana de Fitopatología 33: pp. 104 – 115. México.

- Figuerola F. et al. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. Universidad Austral de Chile. Food Chemistry, pp. 395-401. Chile.
- Francisco Toledo. 2009. Museo de Arte Popular de Oaxaca, A.C. y el Fondo de Cultura Económica. [http://www.fondodeculturaeconomica.com/subdirectorios\\_site/Prensa/Oficina\\_Virtual/C1517.pdf](http://www.fondodeculturaeconomica.com/subdirectorios_site/Prensa/Oficina_Virtual/C1517.pdf). Consultado el 25 de mayo de 2015.
- Hassan N. et al. 2012. A Mathematical Model of Nutrient Management for Pineapple Cultivation in Malaysia. School of Mathematical Sciences. Malasia.
- Hernández C. C. A. 2014. Diseño del prototipo de una caja para embalaje utilizando el residuo de la industrialización del fruto de piña (ananas sativus). Tesis de ingeniero en Diseño. UNPA. México.
- Humedad en el papel. [http://www.devatec.com/humidificacion/pdf/Learn\\_more\\_on\\_Humidification-esp.pdf](http://www.devatec.com/humidificacion/pdf/Learn_more_on_Humidification-esp.pdf). Consultado el 23 de junio 2015.
- IMA. 2008. El cultivo de la Piña. Consultores Postcosecha. Costa Rica.(IMA 2008)
- Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED). 2015. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20044a.html>. Consultado 30 de mayo de 2015.

- Janick J. y Moore J. N. 1996. Pineapple In: Fruit Breeding, Wileys and Sons, New York, pp. 515 – 557.
- Jiménez J. M. B. 2014. Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- Krueger D. y Krueger R. 1992. Composition of pineapple juice. J AOAC. Int 75: pp. 28 – 32.
- Larrauri A. J. et al.1997. Pineapple shell as a source of dietary fiber with Associated Polyphenols. Instituto del Frío. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45(10): pp. 4028 – 4031. España.
- Mariska I. y Roostika I. 2003. In vitro culture of pineapple by organogenesis and somatic embryogenesis: its utilization and prospect. Buletin AgroBio 6(1): pp. 34 – 40.
- Norma NMX- N-104-SCFI-2009 Determinación de la resistencia del papel a la compresión de canto por el método del anillo con soporte rígido.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2013, <http://www.fao.org/home/es/> Consultado 20 de mayo de 2013.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Dirección de estadística (FAOSTAT), 2013. <http://faostat3.fao.org/home/S> Consultado el 10 de junio de 2013.

- Pardo M. et al. 2014. Chemical characterisation of the industrial residues of the pineapple (*Ananas comosus*). Instituto Politécnico Nacional. Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 3: pp. 53-56.
- Pardo, M.E.S., et al. (2014) Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 3, 53-56
- Pawinee C. et al. 2001. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of pineapple cannery wastes. BIOTEC. International Journal Science Technology, 6: pp. 1-9. Tailandia.
- Preteltd P. 1999. Establecimiento de un sistema de Vigilancia Fitosanitaria en el cultivo de la Piña. OIRSA - VIFINEX. Panamá
- Proyecto de norma PROY-NMX-N-100-2008 Industrias de Celulosa y Papel –Determinación de la Humedad en pacas de materia prima recuperada (Cartón, Cartoncillo, Papel, Archivo, Viruta y afines.), para la fabricación de papel- método de prueba.
- Proyefin. 2010. <http://www.proyefin.com/>. Consultado 15 de octubre de 2015.
- Quesada et al. 2005. Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comosus*, variedad hampaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. Revista Iberoamericana de Polímeros 6(2): pp. 157 – 179. México. (Quesada et al. 2005)
- Rebolledo M. A. et al. 2006. Rendimiento y calidad de fruto de cultivares de piña en densidades de plantación. INIFAP. Revista Fitotec. Mex. 29: pp. 55 – 62. México.

- Residuos agrícolas y residuos agroindustriales de origen agrícola. Universidad César Vallejo. Perú. [http://ucvvirtual.edu.pe/campus/HDVirtual/700426354/Teoría/7000001834/TecNoAI\\_05.pdf](http://ucvvirtual.edu.pe/campus/HDVirtual/700426354/Teoría/7000001834/TecNoAI_05.pdf). Consultado el 17 de agosto de 2015.
- Roha S. et al. 2013. Determination of sugar content in pineapple waste variety N36. University Technology MARA. International Food Research Journal 20(4): pp. 1941 – 1943. Malasia.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>. Consultado 25 de mayo de 2015.
- Sixta H. 2006. Handbook of Pulp. Ed. Wiley. Capítulo 8. Estados Unidos
- Taller Arte Papel Vista Hermosa. <http://www.arquitectura.uia.mx/boletines/11/Enero/24-28%20enero/Anexo21.pdf>. Consultado el 25 de mayo de 2015.
- Tintas para papel. [www.sanchez.com.mx](http://www.sanchez.com.mx). Consultado el 25 de junio de 2015 ([www.sanchez.com.mx](http://www.sanchez.com.mx))
- Uribarren T. et al. 2015. Generalidades de micología. Departamento de Microbiología y Parasitología. UNAM. <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/micologia/generalidades.html>. Consultado el 25 junio 2015

