



# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA  
EL CORTE DE LA PITAYA (*Stenocereus pruinosus*)”**

## TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

PRESENTA:  
**CARLOS GONZÁLEZ MORÁN**

DIRECTORA:  
**M. C. ORQUÍDEA SÁNCHEZ LÓPEZ**

ASESOR:  
**M. C. IGNACIO HERNÁNDEZ CASTILLO**

**Huajuapán de León, Oaxaca. 10 de Diciembre de 2012**

## DEDICATORIA

“Porque está implícito en los objetivos de la vida dejar escrito acerca de nuestra propia existencia para el futuro, este trabajo va dedicado para todo aquel que ha dejado su huella en este mundo”

A todos aquellos que creyeron e hicieron posible este trabajo:

Orquídea Sánchez López

Familia González

Familia Morán

Abel González Torres

Porfiria Morán Sachiñas

Leovigildo González Solano

Armando González Blanco

y

Susana Santiago Rivera

## **AGRADECIMIENTOS**

Para mis amigos: Mariana, Yarinka, Tania, Carolina, Julio, Tavo, Erik, Raziél; gracias a las ideas que ofrecieron en este trabajo y más que todo por su apoyo en esta etapa de mi vida, ya está y los nombro para que no se sientan y luego reclamen ¡canijos!, ya ven que siempre me acuerdo de ustedes, en las buenas y malas.

A mi tío Armando González Blanco, por apoyarme en todo momento, gracias porque ante todo siempre me has tendido la mano sin tener obligación alguna, eso demuestra la honorable persona que yace en ti.

A mi abuelo Leovigildo González Solano, por comportarse como un segundo padre desde que te conozco, agradezco tus consejos y enseñanzas espero que este trabajo te haga más feliz y se agregue a tu muro de logros.

A mi padre Abel González Torres gracias por todo, ahora entiendo el porqué de muchas cosas, te extraño y lamento haberme tardado pues esto fue idea tuya, solo espero que ya estés descansando en paz, nunca te olvidaré.

A mi madre Porfiria Morán Sachiñas hay tantas cosas por las cuales agradecerte que se necesitarían más hojas para enumerarlas, a todo ello soy el resultados de tu esfuerzo y sacrificio, espero estés orgullosa de mi y me disculpo de todas las veces que te hice enojar, gracias por darme la vida mamá.

A mis hermanos: Nubia, Erik, Verónica, Javier y Raúl, porque me motivaban a demostrar que entre más grande el reto, igual o mayor será el beneficio y he aquí la prueba.

A mi novia, amiga y confidente Susana Santiago Rivera, gracias Chaparrita por toda la felicidad que me has dado, siempre diste sin esperar nada, sacrificaste muchas cosas por mí y te has mantenido este tiempo a mi lado a pesar de todo, por eso te amo loca.

Se agradece ampliamente al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por la beca recibida, herramientas y materiales financiados para la realización de esta tesis como parte del proyecto "Propuesta para el desarrollo e implementación de una Metodología en el manejo poscosecha de la pitaya" (Proyecto PROMEP, IDCA 8799, UTMIX-CA-29.) a cargo de la M.C. Orquídea Sánchez López.

## Resumen

La cosecha de la pitaya es de gran importancia en la economía de poblaciones de zonas semiáridas como las del Estado de Oaxaca.

En la región Mixteca oaxaqueña, se cultiva el género *Stenocereus pruinosus* que produce el fruto llamado “pitaya de mayo”, durante los meses de abril y mayo.

Actualmente, en la cosecha de pitaya se utiliza un gancho hecho de carrizo conocido como *chicole* para realizar el corte, debido a que en su extremo cuenta con una especie de jaula que atrapa a los frutos al desprenderlos, evitando que caigan al suelo. Sin embargo, la fruta cortada presenta daños físicos en su cáscara lo que acorta su vida útil.

En este trabajo se diseñó y construyó una herramienta que disminuye los daños físicos que se originaban durante el corte de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*). Para el diseño se empleó la metodología propuesta por Robert L. Mott (2006). Así mismo, se aplicó el Proceso de Jerarquía Analítica para la selección de alternativas de diseño de la herramienta para el corte de pitaya, para las cuales se tomaron en cuenta sus características y necesidades de productores de la región Mixteca del Estado de Oaxaca. Para la concepción completa del diseño se emplearon herramientas CAD, como el software SolidWorks.

Posteriormente se construyó la herramienta en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Por último, se realizaron pruebas a los frutos cortados con el *chicole* y la herramienta generada; se les midió el tiempo de vida útil, la firmeza y el tiempo de cosecha; y se analizaron los datos estadísticamente con la prueba t de dos muestras para comparar cada parámetro con un nivel de significación de 0.05. Dando como resultado que la herramienta generada incrementa el tiempo de vida útil, debido a que disminuye los daños físicos causados durante el corte.

## Índice General

<b>Resumen</b> .....	iv
<b>Índice General</b> .....	v
<b>Índice de Figuras</b> .....	viii
<b>Índice de Cuadros</b> .....	x
<b>CAPÍTULO 1. Marco de referencia</b> .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	2
1.3 Objetivo general.....	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
1.5 Metas.....	3
1.6 Justificación .....	4
1.7 Alcances del proyecto.....	4
<b>CAPÍTULO 2. Marco teórico</b> .....	5
2.1 Introducción .....	5
2.2 Pitaya.....	8
2.3 Herramientas .....	12
2.3.1 Dispositivo portátil operado con baterías de bajo peso. ....	12
2.3.2 Vibrador portátil del tallo (VPT's).....	12
2.3.3 Recolector de frutos .....	13
2.3.4 Cortador para ramas altas.....	13
2.3.5 Herramienta para el corte de mango .....	14
2.3.6 Dispositivo recolector de fruta, especialmente aceituna y similares.....	14
2.3.7 El <i>Chicole</i> .....	15
2.4 Normatividad .....	17
2.4.1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-007-STPS-2000 .....	17

2.4.2 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-120-SSA1-1994.....	18
2.4.3 NORMA MEXICANA NMX-E-202-1993-SCFI .....	18
2.4.4 NORMA MEXICANA NMX-FF-014-1982.....	18
2.4.5 CAC/RCP 53-2003 .....	19
2.4.6 CODEX STAN 237-2003 .....	19
2.4.7 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-3554 .....	19
2.4.8 BUENAS PRÁCTICAS DE COSECHA.....	20
2.5 Materiales utilizados en este proyecto.....	23
2.5.1 Metales.....	23
2.5.2 Cerámicos .....	26
2.5.3 Polímeros .....	27
2.6 Procesos de Manufactura.....	28
2.6.1. Operaciones de procesamiento.....	31
2.6.2 Operaciones de ensamble.....	35
2.7 Proceso de Jerarquía Analítica (AHP).....	35
<b>CAPÍTULO 3. Desarrollo de la herramienta .....</b>	<b>40</b>
3.1 Metodología.....	40
3.2 Maquinaria.....	41
3.2.1 Torno .....	41
3.2.2 Fresadora universal.....	42
3.2.3 Taladro-fresador .....	43
3.2.4 Soldadora de puntos .....	44
<b>CAPÍTULO 4. Resultados .....</b>	<b>45</b>
4.1 Introducción .....	45
4.2 Desarrollo de la metodología.....	47
4.3 Construcción del prototipo .....	61
4.3.1 Cortador .....	62

4.3.2 Soporte y anillo.....	64
4.3.3 Accesorio 1.....	69
4.3.4 Accesorio 2.....	71
4.3.5 Mango de la herramienta.....	72
4.3.6 Ensamblaje del Prototipo.....	73
4.4 Herramienta final .....	74
4.5 Análisis Estadísticos .....	78
4.5.1 Tiempo de vida útil de la pitaya .....	79
4.5.2 Firmeza de la pitaya .....	80
4.5.3 Tiempo de cosecha de la pitaya.....	81
<b>CAPÍTULO 5. Conclusiones generales .....</b>	<b>83</b>
5.1 Herramienta de corte.....	83
5.2 Desarrollo del proyecto.....	83
5.3 Uso del <i>chicole</i> .....	84
5.4 Ideas a futuro.....	85
5.5 Cultivo de la pitaya .....	85
<b>Bibliografía .....</b>	<b>86</b>
<b>Bibliografía de figuras .....</b>	<b>89</b>
<b>Bibliografía de cuadros .....</b>	<b>90</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Relieve típico de los huertos familiares en la mixteca .....	9
Figura 2. Variedad de especies en los huertos familiares.....	10
Figura 3. Dispositivo portátil para cosechar café .....	12
Figura 4. Sacudidor de árbol.....	13
Figura 5. Recolector de frutos.....	13
Figura 6. Cortador de ramas altas .....	14
Figura 7. Herramienta para el corte de mango .....	14
Figura 8. Dispositivo recolector de fruta, especialmente aceituna y similares .....	15
Figura 9. Productora de pitaya utilizando el <i>chicole</i> .....	15
Figura 10. <i>Chicole</i> , herramienta artesanal para el corte de la pitaya .....	16
Figura 11. Captura de la fruta por medio del <i>chicole</i> .....	17
Figura 12. Cortador con recubrimiento de Nitruro.....	26
Figura 13. Clasificación de los procesos de manufactura.....	30
Figura 14. Jerarquías y niveles para la selección de una alternativa.....	36
Figura 15. Pasos para el proceso de diseño.....	40
Figura 16. Torno paralelo.....	41
Figura 17. Fresadora universal. ....	42
Figura 18. Fresadora CNC.....	43
Figura 19. Taladro-fresador. ....	43
Figura 20. Soldadora de puntos.....	44
Figura 21. Accesorio 1 diseñado para las alternativas A <sub>1</sub> , A <sub>5</sub> y A <sub>6</sub> .....	50
Figura 22. Alternativa A <sub>1</sub> . ....	50
Figura 23. Alternativa A <sub>2</sub> .....	51
Figura 24. Alternativa A <sub>3</sub> . ....	52
Figura 25. Alternativa A <sub>4</sub> . ....	52
Figura 26. Alternativa A <sub>5</sub> . ....	53
Figura 27. Alternativa A <sub>6</sub> .....	53
Figura 28. Jerarquías y niveles para la selección de la alternativa de diseño. ....	55



Figura 29. Diseño del cortador de la alternativa seleccionada.....	60
Figura 30. Diseño complementado .....	60
Figura 31. Prototipo diseñado en el software SolidWorks.....	61
Figura 32. Placas de acero A-36.....	62
Figura 33. Modelos del Cortador elaborados con acero A-36.....	63
Figura 34. Piezas del subensamble SOPORTE.....	64
Figura 35. Barra de acero 1018. ....	66
Figura 36. Pieza S <sub>1</sub> .....	66
Figura 37. Pieza S <sub>2</sub> .....	66
Figura 38. Pieza S <sub>3</sub> .....	67
Figura 39. Alambre y tubo galvanizado.....	68
Figura 40. Pieza Codo del soporte.....	68
Figura 41. Pieza anillo .....	69
Figura 42. Subensamble de SOPORTE armado .....	69
Figura 43. Canastilla elaborada con alambre galvanizado .....	70
Figura 44. Remaches roscados para sujeción de la canastilla. ....	70
Figura 45. Canastilla armada .....	71
Figura 46. Accesorio 2 Ensamblado .....	72
Figura 47. Mango telescópico de aluminio.....	72
Figura 48. Acoplamiento del subensamble SOPORTE con mango telescópico ....	73
Figura 49. Ensamblado de mango telescópico, SOPORTE y el CORTADOR.....	73
Figura 50. Prototipo de la herramienta de corte.....	74
Figura 51. Placa de Acero Inoxidable 304. ....	75
Figura 52. Barra redonda de Nylamid tipo M. ....	77
Figura 53. Herramienta para el corte de pitaya ( <i>Stenocereus pruinosus</i> ).....	78
Figura 54. Tiempo de vida útil de la pitaya .....	79
Figura 55. Firmeza de la pitaya.....	80
Figura 56. Tiempo de cosecha de la pitaya. ....	82

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Propiedades mecánicas y físicas del aluminio y sus aleaciones.....	24
Cuadro 2. Escala de 1-9 para comparaciones pareadas. ....	37
Cuadro 3. Índices aleatorios de consistencia.....	39
Cuadro 4. Fuerza (Kgf) necesaria para el corte de la pitaya.....	46
Cuadro 5. Distancia (cm) entre areolas de dos pitayos. ....	46
Cuadro 6. Evaluación de las alternativas.....	54
Cuadro 7. Comparaciones pareadas de los criterios.....	55
Cuadro 8. Importancia de las alternativas con respecto al Costo de Material .....	56
Cuadro 9. Importancia de las alternativas con respecto al Desempeño .....	56
Cuadro 10. Importancia de las alternativas con respecto al Manejo.....	57
Cuadro 11. Importancia de las alternativas con respecto a la Fabricación.....	57
Cuadro 12. Importancia de las alternativas con respecto a la Seguridad .....	57
Cuadro 13. Importancia de las alternativas con respecto a la Estética.....	57
Cuadro 14. Resumen de resultados de las ponderaciones obtenidas. ....	58
Cuadro 15. Productos obtenidos de las interacciones de los Criterios con respecto a las Alternativas.....	58
Cuadro 16. Análisis químico del acero estructural A-36 .....	63
Cuadro 17. Propiedades mecánicas del acero estructural A-36 .....	63
Cuadro 18. Análisis químico del acero 1018.....	65
Cuadro 19. Propiedades mecánicas del acero 1018 .....	65
Cuadro 20. Análisis químico del acero inoxidable 304.....	75
Cuadro 21. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304. ....	75
Cuadro 22. Especificaciones de la ficha técnica del Nylamid .....	76
Cuadro 23. Especificaciones de la norma NMX-E-202-1993-SCFI.....	77
Cuadro 24. Tiempo de vida útil de la pitaya.....	79
Cuadro 25. Firmeza de la pitaya.....	80
Cuadro 26. Tiempos de corte de la pitaya. ....	81

## CAPÍTULO 1. Marco de referencia

### 1.1 Generalidades

México es un país donde las cactáceas son un símbolo, una imagen de lo que en si representa esta nación, pues se considera como el centro de origen genético del género *Opuntia*. Algunas cactáceas proveen de alimento a comunidades donde la escasez de recursos es notoria y la implementación de tecnologías o métodos son escasos o nulos. Se tiene conocimiento de la existencia de alrededor de 1600 especies desde Argentina hasta Canadá, cultivadas en más de 30 países. De las cuales 35 tienen potencial como cultivo, obtención de frutos, vegetales o forrajes. Éstas se clasifican en 3 tipos: las tunas, las pitahayas (trepadoras) y las pereskias (columnares); algunas de éstas como la *Opuntia ficus-indica* (Nopal), *Hylocereus undatus* (pitahaya roja), la *Escontria chiotilla* (jiotilla), la *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus stellatus* (Xoconostli) y la *Stenocereus pruinosus* (pitaya de mayo) entre otros, son consideradas como cactáceas potenciales para ser utilizadas como cultivos nuevos para el mercado de exportación en Israel (Esquivel, 2004). De la última especie se debe recalcar que anteriormente era confundida como *Stenocereus griseus* pero se ha llegado a la conclusión que son la misma especie (Luna-Morales, Aguirre y Peña-Valdivia, 2001).

En otras partes del mundo estas frutas son consideradas exóticas y por lo general son muy bien recibidas por el mercado extranjero, especies como la *Selenicereus megalanthus* (pitahaya amarilla) y la *Hylocereus undatus* (pitahaya roja) son exportadas por países como Colombia a diferentes partes del mundo como Europa (PROFIAGRO, 2011).

En México existen lugares donde el aprovechamiento de las cactáceas son fundamentales para la subsistencia, como es el caso de la región de los Cañones en el estado de Zacatecas donde utilizan un gancho pitayero para cortar la *Stenocereus queretaroensis*, en el estado de Sonora los indios papago con la ayuda de palos y canastos recogen los frutos del saguaro o como en la Región de la Mixteca, conocida por ser una de las principales zonas pitayeras del país y

donde se cosechan las especies *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* (Mercado y Granados, 1999). Desafortunadamente las variedades que se tienen en México únicamente han sido aprovechadas para autoconsumo o consumo local, con excepción de la *Stenocereus queretaroensis* la cual ha tenido una mayor importancia comercial (Esquivel, 2004).

La Región de la Mixteca es una zona singular donde se puede observar que el cultivo de las especies *Stenocereus pruinosus* y *Stenocereus stellatus* conocidas popularmente como Pitaya de Mayo y Xoconostli respectivamente, son una fuente de sustento ya sea alimenticia o por los ingresos que puede generar su venta. Pero muchas veces debido al manejo inadecuado y a la falta de herramientas para su cosecha se producen pérdidas, ya que el manejo es artesanal y rústico lo que provoca un daño físico en la fruta debida a golpes o rasgaduras, por lo tanto se debe desarrollar una metodología para el manejo poscosecha, en especial de la pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus*), porque esta planta tiene potencial para su comercialización como fruta exótica. También se deben diseñar y construir las herramientas necesarias para cada una de las etapas del manejo poscosecha de la pitaya, buscando incrementar la calidad y la producción, abriendo nuevos mercados como el de la pitahaya amarilla (Sánchez, 2010).

Por tal motivo, este trabajo se centra en la realización del diseño y construcción de una herramienta para el corte durante el proceso de poscosecha de la pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus*).

## **1.2 Planteamiento del problema**

Actualmente en la Región Mixteca Oaxaqueña, el corte de pitaya se realiza con un gancho elaborado de carrizo, comúnmente conocido como *chicole*, el cual tiene un tipo de jaula en uno de sus extremos, de tal manera que al desprender los frutos, estos quedan atrapados evitando que caigan al suelo y se dañen. El tamaño de dicha jaula depende de la pitaya que se vaya a recolectar, después se colocan los frutos en cajas o canastos y posteriormente se le quitan las espinas a

las pitayas utilizando unas pinzas de pan. Si se va a trasladar el fruto a largas distancias, es necesario que conserve sus espinas para que dure un poco más. Al realizar el corte con el *chicole*, éste produce daños a la pitaya acelerando su pudrición, impidiendo que los productores obtengan mayores ingresos al no poder trasladar la mayor parte de la cosecha. Por otra parte en los huertos se tienen pitayos que debido a su altura sus frutos no pueden ser cortados, debido a que el *chicole* como herramienta artesanal, no posee la característica de variar su altura y depende de la longitud y resistencia del carrizo. En el aspecto ergonómico, esto puede provocar una fatiga al realizar la operación de corte después de cierto tiempo, debido a las posturas que se toman.

### **1.3 Objetivo general**

Diseñar y construir una herramienta para disminuir daños físicos durante el corte de pitaya de la especie *Stenocereus pruinosus* en base a sus características y especificaciones de los productores de la Región Mixteca.

### **1.4 Objetivos específicos**

- Caracterizar físicamente a la pitaya (*Stenocereus pruinosus*) mediante la medición de los parámetros tales como diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso y firmeza.
- Analizar la herramienta actual para el corte de pitaya.
- Identificar las necesidades de los productores.
- Establecer las especificaciones técnicas de diseño para la herramienta.
- Generar alternativas y seleccionar el diseño más adecuado.
- Construir y evaluar la herramienta de corte.

### **1.5 Metas**

- Disminuir el daño ocasionado a la fruta al emplear la herramienta de corte diseñada en un 50%.

- Disminuir el tiempo de corte de la fruta empleando la herramienta de corte diseñada en un 25%.
- Aumentar la capacidad de recolección en la cosecha de la pitaya en un 25% (*Stenocereus pruinosus*).

### **1.6 Justificación**

El *chicole* al utilizarse para el corte de la pitaya produce daños en la fruta, lo cual reduce su tiempo de vida de anaquel, debido a que es una herramienta artesanal, por lo que es necesario diseñar y construir una herramienta, de acuerdo a las características de la pitaya y necesidades de los productores, para incrementar la productividad en la operación de corte y aunado a esto, reducir pérdidas en la cosecha de la pitaya.

### **1.7 Alcances del proyecto**

El presente trabajo, con el diseño y la construcción de la herramienta para el corte de la pitaya (*Stenocereus pruinosus*), propone:

- Caracterizar físicamente a la pitaya
- Analizar la herramienta de corte actual
- Identificar las necesidades de los productores
- Generar alternativas y seleccionar la herramienta de corte
- Construir y evaluar la herramienta de corte

## **CAPÍTULO 2. Marco teórico**

### **2.1 Introducción**

Las cactáceas son originarias del continente americano, son las plantas que más abundan y las más distribuidas. Se encuentran desde Canadá hasta Argentina, con un total de 1500 a 2000 especies solamente en México (Rebollar et al., 1997). La pitaya es una fruta del grupo de las cactáceas, su consumo es tradicional y es considerada exótica; aunque está cubierta de espinas, cuando llega su etapa de maduración no necesita de mucho esfuerzo para desprenderla. Esta fruta ha sido aprovechada para consumo por los nativos americanos desde tiempos prehispánicos; a la llegada de los españoles, estos le asignaron el nombre que hoy en día se sigue usando (Rebollar et al., 1997).

Muchas de estas frutas son consumidas por los seres humanos, ya que la mayoría se encuentran en zonas poco favorables para la agricultura y se vuelven una fuente de alimento importante. Provocando que el hombre busque la forma de aprovechar estos frutos y para esto ha tenido que crear herramientas que le ayuden, herramientas que podemos encontrar en regiones del centro y norte del país, así como en otras partes del continente Americano; un ejemplo lo podemos hallar en el estado de Arizona en los Estados Unidos en donde para recolectar las frutas de saguaro los indios Pápago utilizan un palo de aproximadamente veinte pies de largo hecho con 2 piezas de costillas de sahuaro, una vez que el fruto se baja, inmediatamente se le quitan las espinas y cáscara, para depositar la pulpa con semillas en el canasto (Rebollar et al., 1997).

En los estados de Sonora y Baja California se utiliza otro diseño de herramienta para cortar los frutos del cardón y el sahuaro, la cual está hecha de dos palos de larrea tridentada, cada una aproximadamente de diez centímetros, estos amarran transversalmente en ángulos agudos en un extremo, la distancia entre ángulos es de aproximadamente 30 a 40 centímetros, de esta manera el fruto se desprende mediante un deslizamiento hacia arriba o hacia abajo del dispositivo. Otra zona, se localiza en el estado de Zacatecas, en la región de los Cañones, donde utilizan el

“gancho pitayero” consistente en una vara larga de carrizo u otate con varios gajos de carrizo en la punta, separados y abiertos en forma de roseta mediante la inserción de un pezón de calabaza en el centro, la roseta se une mediante alambres o hilos; hay que denotar que en esta herramienta solo cabe una fruta, también puede ser grande, la cual puede recolectar varias frutas, la finalidad de este gancho es evitar que el producto se golpee. La roseta se coloca entre el brazo o rama del pitayo deslizándose hacia arriba para cortarlo con el alambre o el hilo tenso que une a la roseta. La fruta cae dentro de la roseta y se procede a cortar más hasta que se llene. La región de la Mixteca también es una de las principales zonas pitayeras del país donde a través del tiempo se ha acumulado gran cantidad de conocimiento acerca de esta fruta; comprende el valle de Tehuacán, la mixteca poblana y oaxaqueña en donde se puede apreciar la variedad de especies de cactáceas que en su mayoría producen frutas comestibles. Las herramientas de uso frecuente en esta región para la cosecha consiste en una vara de carrizo larga, en cuyos extremos presentan una horqueta formada por tres ramas que salen del mismo punto, con ayuda de alambre se acondiciona para que la fruta caiga dentro y no se dañe. En la Región Mixteca de Oaxaca se usa un gancho elaborado de carrizo, en uno de los extremos se tiene una jaula hecha del mismo material para capturar la fruta y así evitar que se golpee y caiga al suelo al desprenderse (Mercado y Granados, 1999).

En el mundo existen frutos parecidos, conocidas como frutas exóticas, tal es el caso de la pitaya o “pitahaya amarilla” (*Selenicereus megalanthus*) de Colombia que es uno de los productos más comercializados en la actualidad, esta fruta se encuentra estrechamente relacionada con la que se cuenta en México la “pitahaya roja” (*Hylocereus undatus*), ambas plantas que si bien es cierto no pertenecen a la misma especie que la “Pitaya de Mayo” (*Stenocereus pruinosus*), comparten características que pueden ser de gran ayuda para ésta última.

La pitaya es el fruto de una planta rústica xerofítica de la familia de las cactáceas; originaria de América tropical, fue observada por primera vez en forma silvestre por los conquistadores españoles en México, Colombia, Centroamérica y las



Antillas, quienes le dieron el nombre de pitaya que significa fruta escamosa. En los mercados internacionales se comercializan la amarilla y la roja actualmente; la primera se comenzó a cultivar comercialmente en Colombia a principios de la década de los 80, principalmente con fines de exportación, promovida como cultivo de diversificación de zonas cafeteras por el Programa de Desarrollo y Diversificación de la Federación Nacional de Cafeteros. El éxito inicial logrado en los mercados de Japón y Europa, gracias al fomento que hicieron la Federación Nacional de Cafeteros y PROEXPO, indujo un incremento significativo del área sembrada que llegó a 1,016 hectáreas en 1990. Su cosecha es particularmente difícil, debido a las espinas que posee, para ello es necesario usar herramientas especiales y elementos de protección para los trabajadores. La conservación de la calidad de la fruta depende de un adecuado manejo durante la poscosecha; cabe resaltar que en los últimos años se ha suspendido la realización de algunas prácticas de adecuación del producto; como el lavado y la desinfección de la fruta, con lo que la vida de anaquel se reduce de manera importante (Ingeniería\_Agrícola, 2011).

Es por esto que actualmente se busca el aprovechamiento de todos los recursos, particularmente los alimenticios, y la forma de hacerlo es desarrollando nuevos procesos, que dan como resultado múltiples aparatos, dispositivos y herramientas con los que pueda disponer el hombre. Es por esta circunstancia cuando el desarrollo tecnológico se vuelve un factor importante en el bienestar de la sociedad para poder solventar las carencias y problemas a los que se enfrentan los individuos dentro de ella. Una parte del bienestar se relaciona con la creación de bienes y servicios deseados y/o necesarios, que muchas veces suelen ser el punto de partida en avanzar o quedarse estancados en el desarrollo tecnológico. Según Groover (1997), la manufactura es una actividad importante que ayuda a transformar los materiales con el apoyo de máquinas, herramientas, energías y trabajo; creando productos más valiosos que tienen como objetivo satisfacer estas necesidades. Económicamente la manufactura ayuda a una sociedad en crear riqueza material con la cual pueden suplir e intercambiar por otros productos que

carecen. Por ello, las economías modernas en estos tiempos necesitan tener una base manufacturera sólida o tener recursos naturales valiosos, para poder tener una economía fuerte que logre proveer a sus individuos una calidad de vida alta. A través del tiempo la manufactura ha sido relegada a un segundo plano en cuanto a importancia respecto al desarrollo de una sociedad, pero observando las culturas que han existido a lo largo de la historia es notoria que solo aquellas que lograron hacer bien las cosas son las que tuvieron éxito y prosperaron; desarrollaron mejores herramientas, perfeccionaron las artesanías y las armas, esto provocó que se tuviera un mejor nivel de vida y con la ayuda de las armas tanto conquistar como defenderse en tiempos de guerra. Así la historia de la humanidad va de la mano con la fabricación de herramientas y nuevas tecnologías que le permitieron mejorar la calidad de vida de su sociedad (Groover, 1997).

Tomando la idea de que el desarrollo de nuevas herramientas para el progreso de nuestra sociedad es fundamental. Este proyecto se enfoca en el diseño y la construcción de una herramienta que disminuya daños físicos durante el corte de la pitaya de la especie *Stenocereus pruinosus*; utilizando para ello las máquinas-herramientas y equipos; como la fresadora CNC, la fresadora universal, el torno paralelo, el taladro fresadora, etc., además del uso de herramientas CAD (Computer Aided Design) para el diseño de la herramienta, como el SolidWorks, todo esto disponible en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, y demostrando que la combinación de la información obtenida y el conocimiento generado, pueden lograr solventar los problemas que se hallan en lugares donde la escases de recursos es notoria y su aprovechamiento es imprescindible como la región de la Mixteca.

## **2.2 Pitaya**

Los estudios arqueológicos realizados en el valle de Tehuacán por Luna-Morales (2007), han demostrado el uso del fruto, la semillas y el tallo de 8 especies de cactáceas columnares desde hace más de 8,000 años, de los cuales la especie *Stenocereus pruinosus* es uno de ellos, la cual recibe el nombre en mixteco de

“dichi” y el antillano “pitaya”. En la región de la mixteca se ha demostrado la evidencia de huertos abandonados tanto prehispánicos como coloniales y de principios del siglo XX. La importancia de la especie *Stenocereus pruinosus* para la región de la Mixteca se ve reflejada en las 30 variantes y un aparente híbrido desarrollado con el paso del tiempo en esta región. También es utilizado como combustible, haciendo uso de sus tallos y ramas, cuando la planta está seca o muerta; además de cerco vivo y control de la erosión, muy común en la Región Mixteca tal y como se muestra en la Figura 1. Sobre usos más específicos se sabe que es utilizado como zacatera, almacenes de rastrojo de maíz, como jabón y medicina (Luna-Morales y Aguirre, 2001).



**Figura 1.** Relieve típico de los huertos familiares en la mixteca. Fuente: El Tesista.

Según Luna-Morales y Aguirre (2001), la especie *Stenocereus pruinosus* es una de las más comercializadas en la región. Los huertos comerciales no llegan a ser mayores de 0.5 hectáreas, y además estos son relativamente pocos y recientes. Lo más común en estas localidades son los huertos familiares, los cuales son menos extensos pero presentan mayor diversificación de especies (Figura 2). Estos terrenos de cultivo por lo general deben presentar ciertas características; como el no presentar un exceso de humedad durante la época de lluvia, además

de esto se debe ver la textura del suelo, la pendiente y su localización, ya que son importantes, así como las condiciones de pH



**Figura 2.** Variedad de especies en los huertos familiares. Fuente: El Tesista.

Dentro de los problemas que pueden afectar estos huertos son: las grandes distancias de las zonas conurbadas; ya que al no existir supervisión suelen ser atacados por animales domésticos como el ganado caprino y bovino, los cuales se comen los tallos; otros animales más pequeños que afectan estas plantas son las aves y hormigas que consumen las flores y frutos; por último la existencia de una larva de coleóptero que suele afectarlas. La enfermedad en estas plantas por lo general es motivo para su poda, debido a que no se tiene la costumbre de hacerlo, simplemente se dejan crecer, aunque otra razón puede ser la propagación de material para nuevos cultivos.

Otra característica importante de esta especie es que durante el primer año ya pueden generar frutos, pero es solo hasta el tercer o cuarto año cuando inicia la verdadera producción; de ahí se requieren de 10 a 12 años para lograr rendimientos comerciales que se incrementarán llegados los 25 años; se ha logrado observar especímenes de más de 100 años aun con capacidad de producción.

Para el cultivo de la pitaya los productores han desarrollado empíricamente un sistema de clasificación de las mejores características para su selección; entre las que destacan, un mayor grosor de cáscara, una mayor longitud de espina, esta última incrementa la aireación y el amortiguamiento durante el empaque y por lo tanto su duración en poscosecha. El periodo de mayor producción del pitayo se liga a los meses de abril y mayo, en los cuales los productores cortan diariamente la fruta en horas de menor calor, por lo general antes de las 9 horas y después de las 14 horas; con el objetivo de hacer un menor esfuerzo y una menor deshidratación en la fruta logrando una mayor duración después de la cosecha. De acuerdo a las 31 variedades reportadas por Luna-Morales (2007) se obtuvieron datos promedios sobre el peso, alrededor de 189.20 gramos; un diámetro polar de 8.33 cm; un diámetro ecuatorial de 6.43 cm y una longitud de espina de 1.80 cm. Uno de los mayores problemas encontrados en la fruta es su corta duración poscosecha, ya que sin una adecuada refrigeración y estando en su madurez fisiológica no supera de los 5 a 7 días (Luna-Morales y Aguirre, 2001). Esquivel en 2004 reportó que la tuna (*Opuntia* spp.) a temperatura ambiente se deteriora rápidamente, mientras que a temperaturas inferiores de 8-10 °C puede presentar daño por frío, y observó que los frutos del género *Hylocereus* logran resistir hasta 7 días a temperatura ambiente y que en un rango de 10-12 °C almacenadas duran 14 días. En pruebas realizadas con respecto a la duración de la fruta, Rebollar et al. en 1997 reportó que la especie *Stenocereus queretaroensis* obtuvo una respuesta favorable en un periodo de 11 días de frigoconservación a una temperatura de  $9 \pm 1$  °C con una humedad relativa del 85% en pitayas empacadas en cartón; otros resultados obtenidos en frutas de la especie *Stenocereus queretaroensis* y *Stenocereus pruinosus* logró prolongar la vida de anaquel después de 10 días a 7 °C mediante la aplicación de una película de polietileno de 35  $\mu\text{m}$ .

### 2.3 Herramientas

En la industria alimenticia se han desarrollado diversos artefactos, maquinaria y equipo para la cosecha de frutas, todas con el fin de maximizar recursos. La mayor parte de las nuevas tecnologías buscan mejorar a sus predecesoras ya sea mejorando o innovando. A continuación se mostraran algunos de estos ejemplos para diferentes frutos.

#### 2.3.1 Dispositivo portátil operado con baterías de bajo peso.

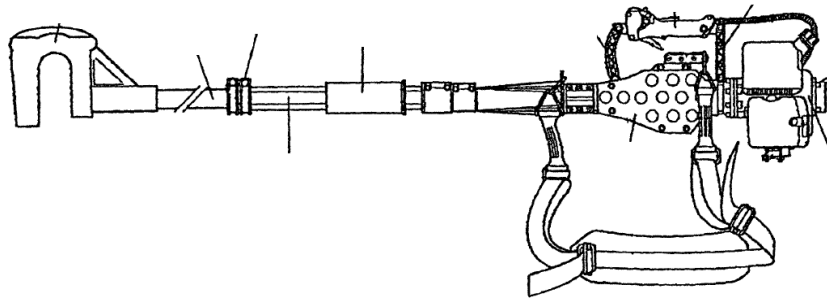
Esta herramienta desarrollada en el laboratorio de cosecha mecánica de la CENICAFE, tiene un peso total de 8 kg, debido a las baterías que debe utilizar en la espalda el operario (Figura 3). Su funcionamiento se basa en que los frutos de café se desprendan al ser golpeados por dos impactadores fabricados de teflón que giran a 1100 rpm (Oliveros, Ramírez, Acosta y Álvarez, 2005).



**Figura 3.** Dispositivo portátil para cosechar café (Oliveros et al., 2005).

#### 2.3.2 Vibrador portátil del tallo (VPT's)

Es una herramienta comúnmente utilizada para la cosecha de aceitunas, café, nueces, avellanas y similares (Figura 4). Por lo general la recolección debe realizarse en equipos, dos operadores de los vibradores y otros dos para manejar las mallas de captura de los frutos desprendidos (Oliveros, Benítez, Álvarez, Aristizá-bal, Ramírez, y Sanz, 2005).



**Figura 4.** Sacudidor de árbol (Griffini, 2006)

### **2.3.3 Recolector de frutos**

Es una herramienta vendida por la comercial TRUPER (Figura 5), la cual consta de un sistema de canastilla de flejes de acero de 1/8 de pulgada de ancho aproximadamente, con forma ovoide y con la parte superior abierta, que termina en forma de garra. La parte superior tiene la función de jalar la fruta, y arrancarla de la rama, para que así esta caiga en el fondo del recipiente.



**Figura 5.** Recolector de frutos (TRUPER, 2012).

### **2.3.4 Cortador para ramas altas**

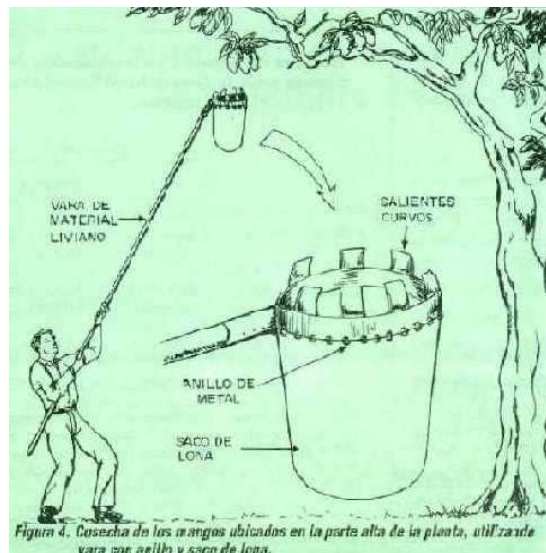
Es una herramienta que utiliza un sistema de tijeras de acero herramental, combinándolo con un sistema de poleas (Figura 6). Las tijeras se colocan en el brazo o rama del árbol a podar, no mayor a 1 pulgada de diámetro y utilizando el sistema de poleas el cual aumenta la fuerza se logra cortar las ramas.



**Figura 6.** Cortador de ramas altas (Marbletoolsupply, 2012).

### 2.3.5 Herramienta para el corte de mango

Es un artefacto que consta de una vara de material liviano, con una anillo metálico en su parte superior unida a una bolsa de sacos de lona; y en su parte superior conectada al anillo lleva salientes curvos hacia el interior como se muestra en la Figura 7. Su función radica en capturar la fruta (mango) en el interior de la bolsa y con la ayuda del anillo y sus salientes se arranca del árbol para que caiga en el fondo de la bolsa (Avilán, Rodríguez y Ruíz, 2012).



*Figura 4. Cosecha de los mangos ubicados en la parte alta de la planta, utilizando vara con anillo y saco de lona.*

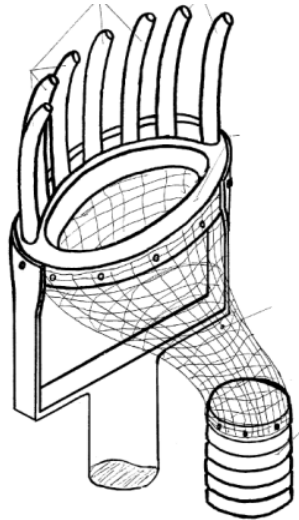
**Figura 7.** Herramienta para el corte de mango (Avilán, Rodríguez y Ruíz, 2012).

### 2.3.6 Dispositivo recolector de fruta, especialmente aceituna y similares

Es una herramienta que se acciona directamente con la mano y con el movimiento de la misma, o con un mango de longitud variable. Consta de una serie de piezas recolectoras ligeramente curvadas, unidas a otra pieza de sujeción, el cual tiene un hueco central donde se recibe la fruta que cae al desprenderlo de la rama y por



medio de una red o tejido similar, llega a un recipiente deseado como se muestra en la Figura 8 (Palomo, 1991).



**Figura 8.** Dispositivo recolector de fruta, especialmente aceituna y similares (Palomo, 1991).

### 2.3.7 El *Chicole*

Es una herramienta fabricada de carrizo (Figura 9), al que se le amarran en su punta un recipiente ovoide elaborado con el mismo material, con el cual se atrapan y cortan los frutos, evitando la caída del fruto. En una canasta o *chiquihuite*, también de carrizo, se colocan los frutos con sus espinas, con lo cual logra disminuir el calentamiento respiratorio y el golpeteo entre ellos (Luna-Morales y Aguirre, 2001).



**Figura 9.** Productora de pitaya utilizando el *chicole*. Fuente: El Tesista.

### **Componentes del *chicole***

El *chicole* (Figura 10) es una herramienta comúnmente fabricada de carrizo que se encuentra en las riberas de los ríos y en los terrenos. Se prefiere este material debido a que es ligero y alcanza alturas similares a las de los pitayos.



**Figura 10.** *Chicole*, herramienta artesanal para el corte de la pitaya.

Fuente: El Tesista.

Para fabricar el *chicole*, el carrizo es cortado en trozos y después se hacen tiras; estas son utilizadas para realizar la jaula donde se captura la pitaya, para ello se tuercen las tiras de carrizo y se atan sus extremos generalmente con alambre, aunque algunas veces se utiliza alguna cuerda hecha de plástico; se deja un orificio en un costado del tamaño suficiente para que pueda entrar la pitaya, finalmente se empala en una vara de carrizo lo suficientemente larga y se amarra con alambre o cuerda para alcanzar las pitayas que se localizan en la punta de las ramas.

### **Funcionamiento del *chicole***

El funcionamiento del *chicole* radica en arrancar la fruta de la rama del árbol tirando de ella con movimientos de arriba hacia abajo o de izquierda a derecha dependiendo de la posición de la fruta (Figura 11).



**Figura 11.** Captura de la fruta por medio del *chicole*. Fuente: El Tesista.

## **2.4 Normatividad**

A continuación se presentan algunas normas relacionadas al diseño de herramientas de corte de frutas y hortalizas, así como las buenas prácticas de cosecha.

### **2.4.1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-007-STPS-2000**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-007-STPS-2000. SOBRE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS-INSTALACIONES, MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS-CONDICIONES DE SEGURIDAD.

En el punto 7.2.1 establece sobre las condiciones que deben cumplir las herramientas; como el ser de uso exclusivo para lo que fueron diseñadas; permitir un manejo firme con seguridad en el mango; ser almacenadas en un lugar predestinado; ser transportadas en forma de segura, de tal forma que se eviten lesiones en los trabajadores y sus partes punzocortantes deben estar protegidas (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2000).

#### **2.4.2 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-120-SSA1-1994**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-120-SSA1-1994. BIENES Y SERVICIOS. PRÁCTICAS DE HIGIENE Y SANIDAD PARA EL PROCESO DE ALIMENTOS, BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS Y ALCOHÓLICAS.

Establece en la parte de equipamiento que todo equipo, utensilio o material del que estén compuestos y que tengan o no contacto directo con el producto, deben construirse y conservarse de manera que no constituyan un riesgo para la salud; mantenerse limpios en todas sus partes y limpiarse después de cada operación. El material con que estén contruidos debe ser inerte, que no transmita sustancias tóxicas, olores, sabores, deben ser inabsorbentes, resistentes a la corrosión y capaz de resistir las operaciones de limpieza y desinfección; por lo tanto no deben usarse maderas u otros materiales que no puedan limpiarse ni desinfectarse (Secretaría de Salud, 1994).

#### **2.4.3 NORMA MEXICANA NMX-E-202-1993-SCFI**

NORMA MEXICANA NMX-E-202-1993-SCFI. INDUSTRIA POLIAMIDA 6/12-ESPECIFICACIONES.

Esta norma establece las especificaciones que debe cumplir la poliamida 6/12 usada en la fabricación de artículos tales como soporte, raspadores, agitadores, guías, gusanos sin fin o tornillos, engranes, canjilones, ruedas dentadas para cadenas de tablillas, placas de tolva, etc., para ser usados en contacto con alimento humano (Secretaría de Fomento y Desarrollo industrial, 1993).

#### **2.4.4 NORMA MEXICANA NMX-FF-014-1982**

NORMA MEXICANA NMX-FF-014-1982. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS, PARA USO HUMANO-FRUTA FRESCA- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN.

Esta norma tiene como objetivo general determinar la resistencia a la penetración en una fruta en estado fresco, mediante la medición del esfuerzo necesario para

vencer su resistencia que presenta la pulpa a la introducción de un émbolo de metal (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1982).

#### **2.4.5 CAC/RCP 53-2003**

CAC/RCP 53-2003. CÓDIGO DE PRÁCTICAS DE HIGIENE PARA LAS FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS.

En la sección de equipo utilizado en el cultivo y la recolección, se menciona que tanto productores como recolectores deberán tomar a consideración los cuidados sobre uso y mantenimiento del equipo dados por el fabricante del mismo. Todo esto con la finalidad de que las frutas y hortalizas no entren en contacto con materiales tóxicos, de modo que estos puedan limpiarse desinfectarse y recibir mantenimientos; debiendo funcionar de acuerdo a lo proyectado sin dañar el producto, además de que deben mantenerse en buen estado (Comisión del Codex Alimentarius, 2003).

#### **2.4.6 CODEX STAN 237-2003**

CODEX STAN 237-2003. NORMA DEL CODEX PARA LA PITAHAYA

Esta norma se aplica a las especies y variedades comerciales de pitahayas obtenidas de los géneros *Selenicereus* e *Hylocereus*, de la familia Cactaceae, que habrán de suministrarse frescas al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen las pitahayas destinadas a la elaboración industrial (Comisión del Codex Alimentarius, 2003).

#### **2.4.7 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-3554**

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-3554. FRUTA FRESCA. PITAHAYA AMARILLA

Implementada en Colombia para el cultivo y comercialización de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) y desarrollada por la CENICAFE en el marco del convenio Federación Nacional de Cafeteros–Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Esta norma ha sido homologada por el ICONTEC y además, fue

incorporada en la propuesta de norma presentada al Comité de Frutas del Codex Alimentarius. Los requisitos que esta norma solicita son los siguientes:

- Las frutas deben estar enteras y sin heridas.
- Deben tener la forma ovoidal característica de la fruta.
- El pedúnculo o tallo debe medir de 15 mm a 20 mm de longitud.
- Deben estar sanas.
- Deben estar limpias (sin espinas); exentas de materia extraña visible principalmente en el orificio apical.
- Deben estar libres de humedad externa anormal producida por mal manejo en las etapas de poscosecha.
- Deben estar exentas de olores y sabores extraños.

También se presentan otras categorías como la extra, en la que se solicita que aparte de los requisitos generales mencionados anteriormente, se deben estar exentas de todo defecto como lo pueden ser alteraciones leves en la superficie de la cáscara que no afecten el aspecto general del producto. La categoría I, menciona que acepta deformación del fruto que no sobrepase el 10% en número o en peso. La categoría II, admite la presencia de manchas superficiales y pequeñas raspaduras cicatrizadas, pero no se permiten frutos que muestren claros signos de podredumbre, magulladuras severas o heridas no cicatrizadas que impidan su consumo (Ingeniería\_Agrícola, 2011).

#### **2.4.8 BUENAS PRÁCTICAS DE COSECHA**

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establece que las prácticas de cosecha deberán causar el mínimo daño mecánico posible al producto. El desenterrado, recolección y manejo cuidadosos ayudarán a reducir las pérdidas, por tal motivo hacen las recomendaciones que a continuación se mencionan (Food and Agriculture Organization, 2011).

### **Desprender la fruta cuidadosamente para evitar daños**

En algunos cultivos existe un punto natural de desprendimiento que se forma entre la unión del tallo y el pedúnculo cuando el fruto está maduro. El cosechador deberá asir la fruta firme pero suavemente y tirar hacia arriba. Los cosechadores deberán usar guantes de algodón, recortarse las uñas y no usar joyas como anillos ni pulseras para reducir los daños mecánicos que se les puedan ocasionar a los productos durante la cosecha. Si se cosechan pequeñas cantidades de hortalizas de hoja, ya sea para uso doméstico o para su venta directa a orillas de las carreteras o en los mercados locales, se puede utilizar una pequeña tina (cubo, bote o cubeta) de agua fría para enfriar el producto. La tina se puede llevar directamente al campo y ser usada por el cosechador como recipiente de campo. El enfriado de las hortalizas de hoja mediante el uso de agua fría en el momento de la cosecha ayudará a mantener la calidad y prevenir su deshidratación.

### **Recipientes de cosecha**

Existen cestos, bolsas y cubos de cosecha disponibles en diferentes tamaños y formas. Los cubos son mejores que las bolsas para la protección del producto ya que no se colapsan ni comprimen al producto. Estos recipientes de cosecha pueden confeccionarse cosiendo las bolsas y dejando aberturas en ambos extremos, o bien poniendo tela de lona sobre el fondo de las cestos ya hechos o colocando en las bolsas arneses o tirantes ajustables o simplemente adaptando unas correas a pequeños cestos. Las cajas de plástico rígido son relativamente caras pero durables, fáciles de limpiar y reutilizables. Cuando se vacían se pueden colocar una dentro de la otra para ahorrar espacio en el almacén o en el transporte. Cuando están llenas pueden ser apiladas colocando cada caja en dirección opuesta a la de abajo. Si las cajas de plástico están bien ventiladas por los lados laterales y/o el fondo, también se pueden usar para lavar y preenfriar el producto después de la cosecha.

## **Herramientas de cosecha**

Algunas frutas deben ser cortadas con tijeras de podar la planta o árbol madre. Las tijeras de podar y cuchillos que se vayan a utilizar deberán estar bien afilados. Al cortar un pedúnculo o tallo maderoso el corte deberá efectuarse lo más próximo posible a la fruta con el fin de evitar daños por punción a las frutas vecinas durante el transporte. Las tijeras de podar se usan frecuentemente para la cosecha de frutas, algunas hortalizas y flores (tijera de hojas rectas para frutos y flores, tijera de hojas curvas para uvas y frutos, tijera manual de corte y tijerilla para cítricos). Existe una gran variedad de estilos como los modelos que se sujetan con la mano o las que se colocan en el extremo de una pértiga, vara o vástago (tijera de corte montada en una pértiga o vara), incluyendo aquéllas que cortan y retienen el tallo del producto cortado. Este último diseño permite al cosechador trabajar sin bolsa colectora pues no dejan caer el producto. Cuando la fruta es difícil de alcanzar, como en el caso de los mangos o aguacates, se usa una herramienta de corte instalada a una vara (pértiga, vástago, garrocha o palo) lo suficientemente larga para ayudar a la recogida del fruto. Las orillas cortantes deben mantenerse afiladas y la bolsa colectora, que se coloca en un extremo de la vara, deberá ser relativamente pequeña. El ángulo del filo cortante y la forma de la bolsa colectora pueden influir en la calidad de la fruta cosechada, por lo que es importante revisar cuidadosamente el funcionamiento de los instrumentos nuevos antes de usarlos. Las varas o garrochas recogedoras y las bolsas colectoras pueden ser hechas a mano o comprarse en las empresas proveedoras de instrumentos para la horticultura. Las bolsas colectoras se tejen a mano con un cordel fuerte o se confeccionan con tela de lona. El aro usado como borde de la bolsa colectora así como las hojas cortantes pueden hacerse de una lámina de metal, tubo de acero o piezas de metal de desecho reciclado. Los árboles frutales son a veces bastante altos, por lo que si su fruta cae al suelo cuando es cortada se le ocasiona magulladuras severas. Si dos cosechadores trabajan juntos, uno puede cortar la fruta de la copa del árbol y el otro con la ayuda de un saco interceptar el fruto mitigando su caída. El trabajo del receptor consiste en sujetar el saco con las dos



manos y un pie, atrapar el fruto en su caída y entonces bajar el extremo de la bolsa para que la fruta pueda rodar suavemente hasta el suelo.

## **2.5 Materiales utilizados en este proyecto**

Según Groover (1997), señala que la mayoría de los materiales de ingeniería pueden clasificarse en una de las tres categorías básicas: 1) metales, 2) productos cerámicos y 3) polímeros; y una categoría extra 4) materiales compuestos; estos son materiales compuestos de los otros tres tipos básicos de material, en lugar de una categoría única.

### **2.5.1 Metales**

Los metales son los materiales más importantes de la ingeniería, ya que poseen propiedades que satisfacen una gran parte de los requerimientos de diseño. Los procesos de manufactura que transforman a los metales en productos útiles se han desarrollado en forma continua a través de muchos años. La importancia tecnológica y comercial de los metales se debe a las siguientes propiedades que poseen casi todos los metales comunes, alta rigidez, tenacidad, buena conductividad eléctrica y buena conductividad térmica; además de un costo por unidad de peso relativamente bajo. Existen tres principales categorías 1) metal fundido, 2) metal trabajado y 3) metal pulverizado. Estos se clasifican en dos grandes grupos: ferrosos, aquellos basados en el hierro, y no ferrosos, todos los demás metales. El grupo ferroso se divide, a su vez, en aceros y fundiciones de hierro. Algunos metales son más importantes como elementos puros sin embargo la mayoría de sus aplicaciones en ingeniería requieren la combinación de estos a través de una aleación, porque se pueden mejorar propiedades como la resistencia, la dureza y algunas otras que llegan a ser superiores al compararlas con las de los metales puros (Groover, 1997).

## Metales no ferrosos

Comprenden una amplia gama que van desde los metales más comunes (como el aluminio, cobre y magnesio) hasta las aleaciones de alta temperatura y alta resistencia (como el tungsteno, tantalio y molibdeno). Aunque por lo general cuestan más que los metales ferrosos, los metales y aleaciones no ferrosas tienen aplicaciones importantes debido a propiedades como la resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y eléctrica, baja densidad y facilidad de fabricación.

### Aluminio

Este elemento fue utilizado en forma de compuesto para el mango de la herramienta. Es un metal ligero, abundante en la tierra y difícil de extraer; tiene una excelente resistencia a la corrosión, una alta conductividad eléctrica, muy dúctil y fácil de formar, sus propiedades mecánicas y físicas para el aluminio y sus aleaciones se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Propiedades mecánicas y físicas del aluminio y sus aleaciones (Groover, 1997).

Densidad	2700 kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de elasticidad	69x10 <sup>3</sup> GPa	
Material	Límite a la cedencia MPa	Resistencia última a la tensión MPa
Aluminio		
Recocido	28	69
Laminado en frío	105	125
Aleaciones de aluminio	175	350

## Metales ferrosos

Los metales ferrosos se basan en el hierro, en este grupo están incluidos el acero y el hierro colado; y son los materiales comerciales más importantes y que comprenden más de las tres cuartas partes del tonelaje de metal que se utiliza en todo el mundo; el hierro colado es una aleación de hierro y carbón (2 a 4%) que se utiliza en fundición.

## **Aceros**

Dentro del grupo de metales ferrosos es el acero el más importante de los metales. Se define a como una aleación de hierro y carbono que contiene de 0.02 a 2.11% de carbono como máximo. Frecuentemente se incluyen otros elementos aleantes como: manganeso, cromo, níquel y molibdeno, pero el contenido de carbono es el que convierte el hierro en acero. Este se clasifica en las siguientes categorías: 1) aceros al carbono, 2) aceros de baja aleación, 3) aceros inoxidable y 4) aceros de herramienta. La razón de la popularidad del acero son: 1) buena resistencia mecánica, 2) un costo relativamente bajo entre los metales y 3) facilidad de procesado en una gran variedad de procesos de manufactura.

El acero al carbono contiene carbono como principal elemento de aleación, con solamente pequeñas cantidades de otros elementos (cerca del 0.5% de Manganeso); este acero se clasifica en 3 grupos de acuerdo al contenido de carbono:

**Acero al bajo carbono.** Son aceros con menos de 0.20% de carbono y son los más usados; sus aplicaciones varían desde laminas metálicas para automóviles, planchas de acero para la industria y rieles de ferrocarril. Estos aceros son fáciles de forma ya que no poseen una alta resistencia.

**Acero al medio carbono.** Son aceros que tienen entre un 0.20 y 0.50% de carbono, son más resistentes que los aceros al bajo carbono; y son utilizados comúnmente para maquinaria y partes de motores.

**Acero al alto carbono.** Son aceros que contienen cantidades mayores al 0.50% de carbono, son altamente resistentes, muy rígidos y duros. Son utilizados para la construcción de resortes, herramientas de corte, cuchillas y partes resistentes al desgaste.

Los aceros inoxidable son aceros altamente aleados y diseñados para suministrar una alta resistencia a la corrosión; los principales elementos de aleación son, el cromo que usualmente contiene arriba del 15%; este forma en la aleación una delgada película impermeable, la cual protege a la superficie de la corrosión; el níquel es otro elemento usado en ciertos aceros inoxidable para

incrementar la protección contra la corrosión; el carbono se usa para reforzar y endurecer el metal; sin embargo, cuando se eleva su contenido se produce un efecto de reducción de la protección contra la corrosión. Los aceros inoxidable son notables por su combinación de resistencia y ductilidad, además de su resistencia a la corrosión; aunque hacen que estas aleaciones sean difíciles de trabajar en manufactura; además de ser significativamente más caros que los aceros al carbono o de baja aleación; los aceros inoxidable se dividen tradicionalmente en tres grupos: 1) inoxidable austeníticos, 2) inoxidable ferríticos e inoxidable martensíticos.

Los aceros inoxidable austeníticos están compuesto generalmente de 18% Cromo y 8% Níquel y son los más resistentes a la corrosión de los tres grupos; son magnéticos y muy dúctiles, pero muestran endurecimiento por trabajo en forma significativa; estos son utilizados para fabricar equipos de procesos químicos y alimenticios, así como partes de maquinaria que requieren alta resistencia a la corrosión.

### 2.5.2 Cerámicos



**Figura 12.** Cortador con recubrimiento de Nitruro. Fuente: El Tesista.

Un material cerámico se define comúnmente como un compuesto que contiene elementos metálicos (o semimetálicos) y no metálicos; los materiales cerámicos modernos incluyen materiales como la alúmina, cuyas propiedades se mejoran de varias formas mediante métodos modernos de proceso. Los materiales más

nuevos incluyen carburos de metales, como el carburo de tungsteno y el carburo de titanio que son empleados ampliamente en la fabricación de buriles (Figura 12), y los nitruros metálicos y semimetálicos como el nitruro de titanio y el nitruro de boro usados como herramientas de corte y abrasivos.

### **2.5.3 Polímeros**

Un polímero es un compuesto formado por repetidas unidades estructurales llamada meros cuyos átomos comparten electrones para formar moléculas muy grandes; la mayoría de los polímeros se basan en el carbono y por consiguiente, son considerados sustancias químicas orgánicas; sin embargo, el grupo también incluye un número de polímeros inorgánicos; con excepción del hule natural, casi todos los materiales polímeros usados en ingeniería son sintéticos y están hechos mediante procesos químicos; los polímeros se dividen en plásticos y hules; es apropiado dividirlos en 3 categorías: 1) polímeros termoplásticos y 2) polímeros termofijos; donde se encuentran los plásticos y 3) elastómeros como el hule.

#### **Polímeros termoplásticos**

Son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero cuando se someten a temperaturas de algunos cientos de grados se convierten en líquidos viscosos. Esta característica permite conformarlos fácil y económicamente en productos útiles. Pueden sujetarse repetidamente a ciclos de calentamiento y enfriamiento sin que se degraden significativamente. En esta categoría podemos mencionar al polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y el nylon.

#### **Polímeros termofijos**

No toleran ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento como lo hacen los termoplásticos. Con calentamiento inicial, se ablandan y fluyen para ser moldeados, pero las temperaturas elevadas producen también una reacción química que endurece el material y lo convierte en sólido infusible. Si este polímero termofijo se

recalienta, se degrada por pirólisis en lugar de ablandarse. Algunas sustancias de esta familia son las resinas fenólicas, aminorresinas y resinas epóxicas.

### **Elastómeros**

Los elastómeros son polímeros que exhiben una extrema elasticidad cuando se sujeta a esfuerzos mecánicos relativamente bajos; algunos elastómeros pueden estirarse diez veces su longitud y luego recuperar completamente su forma original. En esta categoría se encuentran el hule natural, el neopreno, las siliconas y el poliuretano; las razones que le dan importancia comercial y tecnológica a los polímeros son:

- Compatibilidad con los procesos de forma neta
- Atractivas propiedades donde la resistencia no es un factor determinante
- Baja densidad
- Buena relación de resistencia al peso
- Alta resistencia a la corrosión
- Volumétricamente, los polímeros son competitivos en costo con los metales
- Requieren generalmente menos energía que los metales para su producción
- Algunos son translúcidos y transparentes
- Se usan ampliamente en materiales compuestos

Dentro de sus limitaciones podemos decir que tienen una baja resistencia con respecto a los metales y los cerámicos; bajo módulo de elasticidad o rigidez; las temperaturas de servicio se limitan hasta algunos cientos de grados; algunos polímeros se degradan cuando se sujetan a la luz del sol y otras radiaciones y exhiben propiedades viscoelásticas (plásticos).

### **2.6 Procesos de Manufactura**

La manufactura como ciencia se puede dividir en dos partes tecnológico y económico; en la parte tecnológica es el empleo de procesos tanto químicos como

físicos que alteran la geometría, las propiedades o el aspecto de determinado materia para crear partes o productos terminados, estos involucran la utilización de máquinas, herramientas, energías y el trabajo manual; a su vez se le considera una serie de operaciones que aproxima al material al resultado final esperado.

En el aspecto económico la manufactura es la transformación de los materiales en artículos cada vez más valiosos utilizando operaciones o procesos que van cambiando su forma o propiedades al combinarlos con otros materiales que han sido alterados en forma similar para así darle ese valor agregado. En los procesos de manufactura se encuentran las industrias manufactureras los cuales constan de empresas u organizaciones que producen bienes y servicios, estas se clasifican en primarias, secundarias y terciarias. La industria primaria es aquella en la que se cultiva y explotan los recursos naturales, tales como la agricultura y la minería. Las industrias secundarias adquieren los productos de las industrial primarias y los convierten en bienes de consumo o bienes de capital y finalmente las industrias terciarias, que constituyen el sector servicios de la economía.

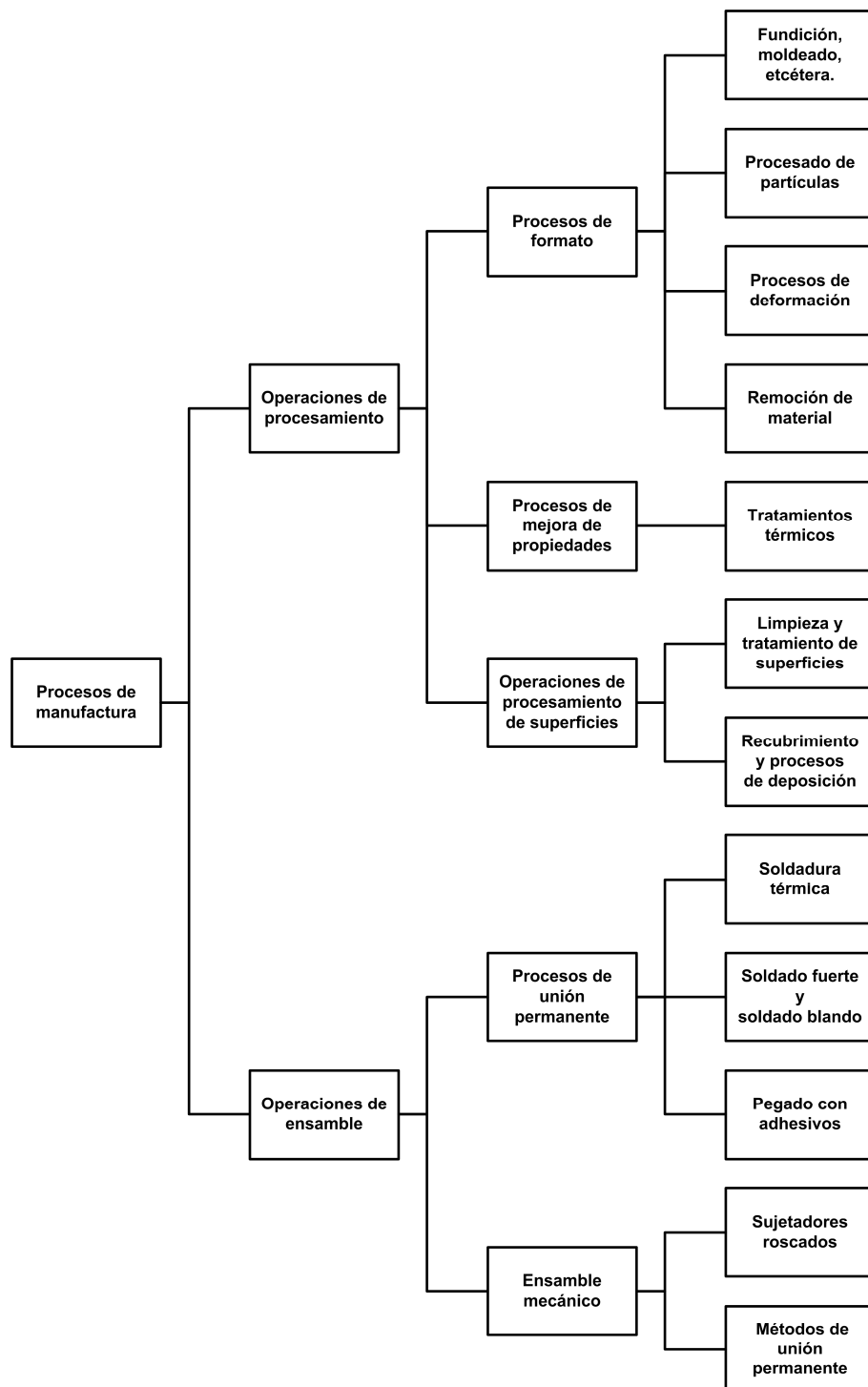
Dentro de la industria secundaria la actividad principal es la manufactura, aquí los productos fabricados se dividen en dos clases principales; bienes de consumo y bienes de capital. Los bienes de consumo son los productos que compran directamente los consumidores, tales como automóviles, televisores, computadoras y llantas. Los bienes de capital son aquellos que adquieren otras compañías para producir bienes o servicios ejemplo los aviones, ferrocarriles, maquinas, herramientas y el equipo de construcción.

Los procesos de manufactura se pueden dividir en dos tipos básicos (Figura 13):

1) Operaciones de proceso y 2) Operaciones de ensamble.

Una operación de proceso transforma un material de trabajo de una etapa a otra más avanzada, que lo sitúa cerca del estado final deseado del producto, al cambiar la geometría, las propiedades o la apariencia del material inicial.

Una operación de ensamble une dos o más componentes para crear una nueva entidad llamada ensamble, subensamble o cualquier otra manera que se refiera al proceso de unir.



**Figura 13.** Clasificación de los procesos de manufactura (Groover, 1997).



### **2.6.1. Operaciones de procesamiento**

Una operación de proceso utiliza energía para alterar la forma, las propiedades físicas o el aspecto de una pieza de trabajo a fin de agregar valor al material. Las formas de energía incluyen la mecánica, térmica, eléctrica o química. La energía se aplica de forma controlada mediante la maquinaria y su herramienta.

Se distinguen tres categorías de operaciones de proceso:

1. Operaciones de formado
2. Operaciones para mejorar propiedades
3. Operaciones de procesamiento de superficies

Las operaciones de formado alteran la geometría del material inicial de trabajo mediante diversos métodos que incluyen los procedimientos comunes de fundición, forjado y maquinado.

Las operaciones para mejorar propiedades agregan valor al material con la mejora de sus propiedades físicas sin cambiar su forma; el tratamiento térmico es un ejemplo. Las operaciones de procesamiento de superficie tiene por objeto limpiar, tratar, revestir o depositar materiales en la superficie exterior de la pieza de trabajo; ejemplo común la electrodeposición.

#### **1. Proceso de formado**

Dentro de la industria manufacturera, las operaciones de formado son las comunes. Utilizando las formas diversas de energía que existen, la mecánica, la térmica, la eléctrica y otras, transforman las propiedades físicas de los materiales así como su forma, mediante el uso de la maquinaria y equipo, todo esto le agrega un valor al producto terminado.

La mayoría de los procesos de formado aplican calor, fuerza mecánica o una combinación de ambas para efectuar un cambio en la geometría del material de trabajo; los cuales se describen en las siguientes categorías:

- Fundición, moldeo y otros procesos en los que el material inicial es un líquido calentado o semifluido.

- Procesado de partículas. El material inicial es un polvo que se forma y calienta para darle una geometría deseada.
- Procesos de deformación. El material inicial es un sólido dúctil (usualmente metal) que se deforma para formar la pieza.
- Procesos de remoción de material. El material inicial es un sólido (dúctil o frágil) del cual se quita material para que la pieza resultante tenga la geometría deseada.

Este proyecto se enfoca en los procesos de remoción de material, estos son operaciones que quitan el exceso de material de la pieza de trabajo inicial para que la forma resultante adquiera la geometría deseada; los procesos más importantes en esta categoría son el torneado, el taladrado y el fresado; estas operaciones de corte se encuentran dentro de las más comunes aplicadas a metales sólidos. Se ejecutan utilizando herramientas de corte que son más duras y más fuertes que el metal de trabajo. El esmerilado es otro proceso común en esta categoría, en la cual se usa una rueda abrasiva de esmeril para quitar el material excedente. Hay otros procesos de remoción de material denominados no tradicionales porque no usan herramientas tradicionales de corte y abrasión, en su lugar emplean rayos láser, haces de electrones, erosión química, descargas eléctricas y energía electroquímica.

### ***Procesos de remoción de material***

En el desarrollo del proyecto se utilizaron diferentes máquinas-herramientas; definidas según Groover (1997) como máquinas motorizadas que se utilizan para operar las herramientas de corte que anteriormente se manejaban en forma manual; estas máquinas-herramientas modernas se describen mediante la misma definición básica excepto que la fuerza motriz es más bien eléctrica que hidráulica o de vapor; y el nivel de precisión y automatización es mucho más elevada hoy en día. Entre todas las máquinas de producción, las máquinas-herramientas son las más versátiles, no solamente se usan para fabricar artículos de consumo, sino

también para producir componentes para otras máquinas de producción. Tanto históricamente como en un sentido reproductivo, la máquina-herramienta es la madre de toda la maquinaria.

### **Torneado**

El torneado se lleva a cabo tradicionalmente en una máquina herramienta llamada torno, la cual suministra la potencia para tornear la parte a una velocidad de rotación determinada con avance de la herramienta y profundidad de corte especificado. Dentro de las operaciones relacionadas con el torneado tenemos:

- Careado
- Torneado ahusado o cónico
- Torneado de contornos
- Torneado de formas
- Achaflanado
- Tronzado
- Roscado
- Perforado
- Taladrado
- Moleteado

### **Fresado**

Existen dos tipos básicos de operaciones de fresado a) fresado periférico y b) fresado en las caras o frontal

*Fresado periférico.* También denominado fresado plano, el eje de la herramienta es paralelo a la superficie que se está maquinando y la operación se realiza por los bordes de corte en la periferia exterior del cortador; dentro de este tipo de fresado se encuentran: a) fresado de placa, b) ranurado (fresado aserrado), c) fresado lateral y d) fresado paralelo simultáneo.

*Fresado en las caras o fresado frontal.* El eje de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo y el maquinado se ejecuta por los bordes o filos cortantes del extremo y la periferia de la fresa.

En el fresado periférico existen diversas formas para este fresado: a) fresado convencional, b) fresado parcial de caras o parcial frontal, c) fresado terminal, d) fresado de perfiles, e) fresado de cavidades y f) fresado de contorno superficial.

### **Taladrado**

El taladrado es una operación de maquinado que se usa para crear orificios redondos en una parte de trabajo; se realiza por lo general con una herramienta cilíndrica rotatoria, llamada broca, que tiene dos bordes cortantes en su extremo; la broca avanza dentro de la parte de trabajo estacionaria para formar un agujero cuyo diámetro está determinado por el diámetro de la broca. El taladrado se realiza en un taladro prensa, aunque otras máquinas-herramientas pueden ejecutar esta operación.

### **2. Operaciones de proceso de mejora de propiedades**

Estas operaciones buscan mejorar las propiedades físicas o mecánicas de los materiales de trabajo, dentro de los cuales los más importantes son los tratamientos térmicos; estos buscan mejorar las propiedades mecánicas mediante procesos de calentamiento y enfriamiento, provocando cambios estructurales en el material (Groover, 1997).

### **3. Operaciones de procesamiento de superficies**

Son un conjunto de procesos industriales ya sea químicos o mecánicos cuyo objetivo es la remoción de sustancias, grasas, suciedad, rebabas y que además buscan en algunos casos aumentar la lisura, el lustre, mejorar las propiedades en la superficie. Estos procesos no alteran la geometría de las partes (Groover, 1997).

### **2.6.2 Operaciones de ensamble**

En el desarrollo del proyecto se realizaron operaciones de este tipo; estas se caracterizan debido a que dos o más partes separadas se unen para formar una nueva entidad, los componentes de esta quedan unidos en forma permanente o parcial. Se incluyen la soldadura térmica, la soldadura fuerte, la soldadura blanda y el pegado con adhesivos; estas uniones son difíciles de deshacer. En los métodos de ensamble mecánico se utilizan, tornillos, tuercas, pernos y sujetadores roscados que unen dos o más piezas y pueden desarmarse; el remachado, los ajustes a presión y los encajes de expansión son otras técnicas que forman uniones más permanentes (Groover, 1997).

### **2.7 Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)**

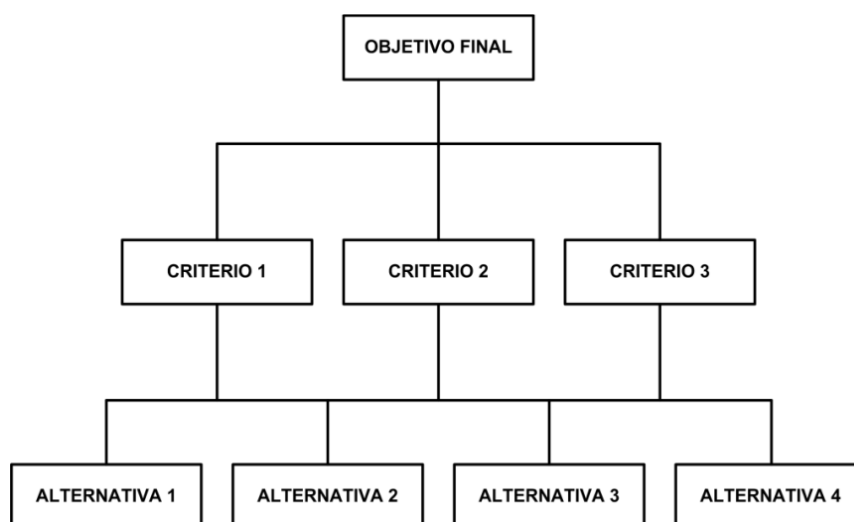
El Proceso de Jerarquía Analítica denominado AHP (Analytic Hierarchy Process), se describe como una técnica de toma de decisiones para la administración de problemas en la que participan múltiples criterios y diferentes objetivos (García, Noriega, Díaz y de la Riva, 2006). Con el AHP es posible crear un marco de referencia para ayudar a la toma de decisiones tomando en consideración los factores cuantitativos y cualitativos; el AHP ha sido propuesto debido a su aproximación en la búsqueda de una solución más óptima en los problemas de toma de decisiones del mundo real los cuales son diversos, amplios y complejos (Saaty, 1990), como el que busca este estudio.

#### **La evaluación usando el Proceso de Jerarquía Analítica**

El AHP es una técnica de Toma de Decisiones para problemas que toman en consideración múltiples opiniones y diferentes objetivos que chocan. El AHP involucra a las decisores encargados de realizarlo a descomponer una decisión en partes más pequeñas, procediendo del objetivo final seguido de los criterios, subcriterios y al final las alternativas de decisión; los decisores entonces hacen simples comparaciones pareadas de los puntos de vistas a lo largo de la jerarquía

para llegar a las prioridades generales de las alternativas. Este enfoque provee una estructura y las matemáticas para ayudar a los encargados de tomar una decisión racional. Una decisión racional es uno de los mejores logros obtenidos de una multitud de objetivos (Oddershede, Carrasco y Barham, 2008).

El primer paso en el AHP es descomponer el problema dentro de una jerarquía de dominios. El nivel más alto representa el objetivo final del problema. Los niveles intermedios son los criterios o los objetivos secundarios, de los cuales los niveles más bajos dependen, y el ultimo nivel son las alternativas. Los niveles inferiores actúan como criterios o factores que contribuyen al nivel inmediato superior; al final pueden ser usados tantos niveles como sean necesarios. En la Figura 14 se muestra un diseño simple de una estructura jerárquica de tres niveles.



**Figura 14.** Jerarquías y niveles para la selección de una alternativa (Saaty, 1990).

La lógica de una jerarquía es evaluar el impacto de los elementos de un nivel alto en los de un nivel inferior y alternativamente la contribución de los elementos en un nivel inferior con respecto a su importancia de un nivel superior.

El procedimiento de evaluación consiste en una comparación por parejas a través de la estructura jerárquica para así lograr una matriz de prioridades para cada nivel de la estructura; el paso final implica la aplicación de los pesos de los factores medidos para obtener una clasificación de los atributos críticos y apoyar

cada aplicación. El AHP proporciona una escala de clasificación para evaluar la importancia de cada dimensión técnica para cada tipo de aplicaciones; esta escala de criterios se estima por medio de la comparación pareada entre estos. La siguiente ecuación (1) muestra la escala usada en esta técnica y el significado de estos valores en el Cuadro 2.

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\} \quad (1)$$

**Cuadro 2.** Escala de 1-9 para comparaciones pareadas (Saaty, 1990).

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia entre un elemento sobre otro
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión

Cuando existen  $n$  atributos la comparación pareada de los elementos  $i$  respecto al elemento  $j$  se coloca en la posición  $a_{ij}$  de la matriz  $W$  de comparaciones como se ilustra en la ecuación (2).

$$W = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Por lo tanto se debe comparar la importancia relativa de un elemento respecto a un segundo, usando la escala de 1-9 mostrada en el Cuadro 2; alternatively se colocará su recíproco en la posición  $a_{ji}$  de  $W$ , conservando una consistencia en las decisiones que se tomaron; una vez ingresados los juicios correspondientes en la matriz de comparaciones apareadas, se deben realizar los cálculos para

obtener los eigenvalores y eigenvectores. Para realizarlo se resuelve la siguiente ecuación (3).

$$W * v = \lambda * v \quad (3)$$

Donde:

W= Es la matriz recíproca de comparaciones apareadas (juicios de importancia / preferencia de un criterio sobre otro)

$\lambda$ = Máximo Eigenvalor de A

w= Eigenvector correspondiente a  $\lambda$

Ventajas del uso de AHP (García et al; 2006):

- Se permite evaluaciones en las que existen factores de orden cualitativo.
- Se obtiene pesos asignados a cada uno de los elementos, los cuales son usados como criterio de decisión.
- El uso de computadoras permite conducir análisis de sensibilidad en los resultados.
- Además de que permite una mejor interacción entre los decisores cuando trabajan en equipo y el poder identificar y tomar en cuenta las inconsistencias de sus juicios respecto a factores cualitativos.

El AHP proporciona un marco para una prueba de consistencia de los juicios garantizando que los elementos sean agrupados y clasificados de acuerdo a un criterio lógico utilizando el Índice de Consistencia (IC) (ecuación 4); y la Relación de Consistencia (RC) para medir la calidad de los juicios emitidos por el decisor (ecuación 5); un resultado de  $RC < 0.1$  se considera aceptable, uno mayor indica la necesidad de mejorar el criterio haciendo nuevas valoraciones en sus juicios o reestructurar la jerarquía; para poder obtener estos índices se emplean las siguientes ecuaciones.

$$IC = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (5)$$



Donde IA representa el Índice Aleatorio, estimado del promedio de 500 matrices recíprocas positivas generadas de manera aleatoria; el RC es una medida de la relación del error realizado por el decisor y el error aleatorio, y debe ser menor al 0.1 ó 10%. En el Cuadro 3 se muestra los IA de cierto número de atributos de acuerdo al tamaño de la matriz representada por n (García et al, 2006).

**Cuadro 3.** Índices aleatorios de consistencia

0	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

## CAPÍTULO 3. Desarrollo de la herramienta

### 3.1 Metodología

Durante el desarrollo de un proyecto, el establecer una metodología sirve de guía cuando no se cuenta con la experiencia suficiente para la realización del mismo. Para el diseño de la herramienta de corte se empleó la metodología del proceso de diseño de Robert L. Mott (2006), la cual consta de 9 pasos (Figura 15).

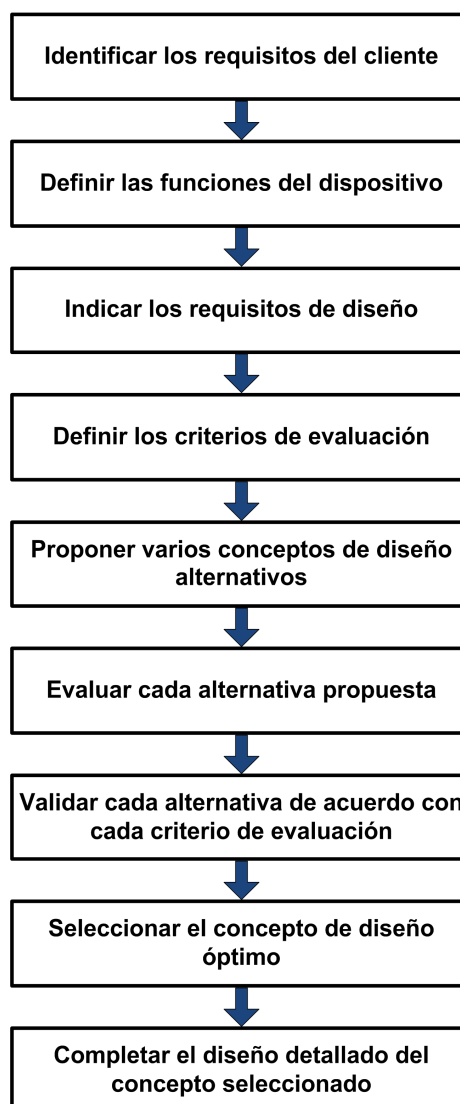


Figura 15. Pasos para el proceso de diseño (Mott, 2006).

Finalizando el proceso de diseño de Mott para la selección de la alternativa, se da paso a la fabricación del prototipo.

### **3.2 Maquinaria**

A continuación se muestran las máquinas-herramientas empleadas para la construcción de la herramienta diseñada, que se encuentran disponibles en el Laboratorio de Tecnología Avanzada y el Taller de Metales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

#### **3.2.1 Torno**

Torno paralelo marca TREN S a.s., modelo SÚVOZ 1 911 TRENCIN (Figura 16) es una máquina-herramienta empleada para trabajos de desbaste en piezas cilíndricas.



**Figura 16.** Torno paralelo. Fuente: El Tesista.

### 3.2.2 Fresadora universal

La fresadora universal marca ALMILL, modelo 949 (Figura 17) necesaria para las partes de la herramienta que requieren exactitud.



**Figura 17.** Fresadora universal. Fuente: El Tesista.

Debido a la variedad de formas posibles y a sus altas velocidades de producción, el fresado es una de las operaciones de maquinado más versátiles y ampliamente usadas. Otro tipo de fresadora disponible es la fresadora CNC marca Buffalo Machinery Company Limited, modelo MM430 (Figura 18) indispensable para los trabajos que requieren acabados muy finos.



**Figura 18.** Fresadora CNC. Fuente: El Tesista.

### **3.2.3 Taladro-fresador**

El taladro-fresador marca TITANIUM, modelo ZAY7032 (Figura 19) empleado para trabajos de perforación.



**Figura 19.** Taladro-fresador. Fuente: El Tesista.

### 3.2.4 Soldadora de puntos

La soldadora de puntos marca Industrials electromecanicas MAC'S S. A. A. tipo A mod. PMP30 (Figura 20) es una máquina conveniente en el proyecto para los tipos de soldadura que se realizarán en la construcción de la herramienta diseñada.



**Figura 20.** Soldadora de puntos. Fuente: El Tesista.

## CAPÍTULO 4. Resultados

### 4.1 Introducción

Para poder identificar las variables en el problema, se hicieron visitas de campo a los huertos de la comunidad de Santa María Camotlán ubicado a 20 minutos de la ciudad de Huajuapán de León. Ahí se realizaron observaciones de la herramienta utilizada actualmente para el corte de la pitaya de mayo. Mediante pláticas con los productores, se detectaron las principales necesidades y características que se debían considerar en el diseño en la herramienta; también se analizó el proceso de cosecha existente, del cual se obtuvo información de los métodos y prácticas presentes, como el uso del *chicole*; además se considero los medios y recursos con los que dispone la Universidad Tecnológica de la Mixteca en materia de infraestructura y el apoyo por parte del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) en la parte financiera; como último se busco la asesoría de profesores y técnicos con conocimientos afines.

Durante el proceso de selección de la alternativa, se realizaron bosquejos de 6 alternativas identificadas como A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub> y A<sub>6</sub>; y la alternativa seleccionada es la única que se construyó.

Durante las visitas de campo realizadas se recopilaron datos referentes a la fuerza de corte mediante la utilización de un medidor digital de fuerza (force gauge), marca Extech, modelo 475044, serie R.127732 junto con una navaja; la ejercicio consistió en hacer presión en la zona del pedúnculo cortando las espinas que se encuentra en esta área, mediante el halado de la navaja la cual estaba sujeta al medidor digital mediante alambres amarrados a los extremos de la navaja. Los resultados se muestran en el Cuadro 4. La fuerza promedio cuando la dirección de corte es hacia abajo es 4.548 Kgf (44.61 N) y de 4.362 Kgf (42.79 N) en el sentido contrario.

**Cuadro 4.** Fuerza (Kgf) necesaria para el corte de la pitaya. Fuente: El Tesista.

Fuerza de corte con dirección hacia abajo (Kgf)	Fuerza de corte con dirección hacia arriba (Kgf)
4.55	5.60
5.09	3.85
4.30	4.48
4.25	3.44
4.55	4.44

También se midió la distancia entre areolas de una misma costilla del pitayo, ya que es en esta zona es donde se desarrollan los botones que posteriormente se convertirán en frutos. Se tomaron datos de dos pitayos para identificar el espacio que se tiene para maniobrar al cortar la pitaya, a continuación se muestran los datos recabados en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Distancia (cm) entre areolas de dos pitayos. Fuente: El Tesista.

Pitayo 1 distancia entre areolas medida en cm	Pitayo 2 distancia entre areolas medida en cm
1.8	2.0
2.0	2.0
1.7	1.8
2.0	2.0
2.2	1.7
	1.9
	2.0

Posteriormente se hizo una prueba t para 2 muestras utilizando el software Minitab para conocer si la distancia entre areolas es igual para los dos pitayos, se obtuvo un valor  $t_0$  de 0.26, comparado con el valor de  $t$  ( $\alpha/2=0.025$ ,  $v=6$ ) de 2.447, verificando el criterio de rechazo  $|t_0| > t_{\alpha/2,v}$  (Montgomery, 2008), se concluye que las distancias entre areolas de ambos pitayos son iguales. Con esto se calculó el promedio del conjunto de datos, resultando de 1.9 cm.

A continuación se da paso a los resultados obtenidos por la metodología establecida para este proyecto.



## **4.2 Desarrollo de la metodología**

### **Paso 1. Identificar los requisitos del cliente.**

De acuerdo a los requisitos de los productores que deben considerarse para el diseño de la herramienta de corte, se identificaron los siguientes:

- Minimizar el tiempo de corte de la fruta respecto a la herramienta actual.
- Facilitar la operación de corte.
- Evitar daños físicos a la fruta durante el corte.
- Evitar la contaminación de la fruta por el contacto con la herramienta.

### **Paso 2. Definir las funciones del dispositivo.**

Las funciones de la herramienta de corte que satisfacen las necesidades de los productores, se enlistan a continuación:

- Cortar la fruta mediante cuchillas para evitar rasgaduras.
- Almacenar la fruta en un recipiente unido a la herramienta para evitar daños.
- Ajustar la altura de la herramienta según la altura de los pitayos.

### **Paso 3. Indicar los requisitos de diseño.**

- El cortador de la herramienta tendrá que soportar fuerzas máximas de 45 N para realizar el corte.
- El cortador de la herramienta debe ser de acero inoxidable, con un espesor de 2 a 5 mm.
- El cortador de la herramienta debe ser adecuado para introducirse en los espacios pequeños que hay entre fruta (de 1 a 3 cm. de ancho), pero lo suficiente para ser visto por el operario durante su uso (10 cm. de largo).
- El cortador de la herramienta será desmontable del mango de la herramienta.

- La longitud del mango de la herramienta será de 2.5 m. y el diámetro de 1 pulgada.
- El mango de la herramienta debe ser de aluminio y con recubierta aislante.
- El recipiente de almacenamiento de la fruta debe soportar un peso máximo de 1.0 kg.
- El recipiente de almacenamiento debe tener la capacidad de acomodarse de acuerdo a la postura que se tome para cortar la pitaya.
- El material del recipiente de almacenamiento será de alambre.
- La herramienta tendrá un peso máximo de 1 Kg.
- Deben observarse todas las normas de seguridad gubernamentales y de la industria.

#### **Paso 4. Definir los criterios de evaluación**

Considerando la información obtenida por los usuarios se obtuvieron los siguientes criterios para realizar la selección de la mejor alternativa.

*Costo de material.*- Son los gastos generados por la compra de material e insumos necesarios para la construcción de la herramienta, en este caso el costo estará ligado al tamaño y número de componentes de las alternativas, además de la cantidad de recursos que incurran para su fabricación. Para este punto un valor mínimo es óptimo.

*Desempeño.*- Es el cumplimiento de las funciones definidas anteriormente, como lo son cortar la fruta mediante cuchillas para evitar rasgaduras, almacenar la fruta en un recipiente unido a la herramienta para evitar daños y ajustar la altura de la herramienta según las características de los pitayos. Para este punto un valor máximo es óptimo.

*Manejo.*- Para este atributo se deberá observar el grado de dificultad que puede presentar el dispositivo al momento de operarlo, debido a que si es muy complejo

su manejo requerirá capacitación. El dispositivo deber tener un mínimo de movimientos para su fácil manejo. Para este punto un valor máximo es óptimo.

*Fabricación.*- Para este criterio se toman en cuenta los diferentes procesos que se llevarán para la transformación de los materiales e insumos necesarios en la fabricación del dispositivo. Este punto es importante en el sentido de las diferentes técnicas ó procesos que se pueden utilizar y el costo reflejado en ello, ya que el proceso de manufactura puede elevar el costo de la herramienta de corte, además se ha tomado en consideración la maquinaria y equipo con los que cuenta el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad. Un valor mínimo en el número de procesos es óptimo.

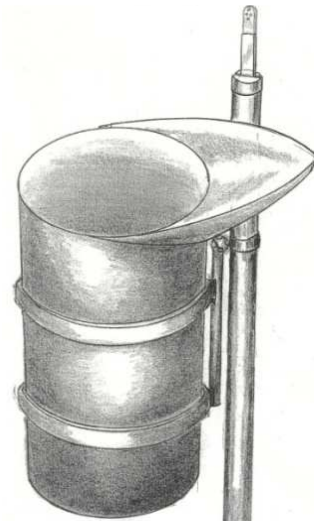
*Seguridad.*- Se refiere al daño potencial que puede causar el dispositivo al usuario en el momento de su uso. Algunas de las alternativas propuestas cuentan con partes punzocortantes que si no se tiene la precaución necesaria, puede provocar daños tanto al operario como al fruto debido a las características del proceso de corte. Un valor en la seguridad alto es óptimo.

*Estética.*- Este criterio se enfoca al nivel de agrado que causa la herramienta al operario. Un valor máximo es óptimo para este punto.

### **Paso 5. Proponer varios conceptos de diseño alternativos**

A continuación se presentan 6 bosquejos de diseño alternativos los cuales se determinaron a partir de factores tales como: desempeño, ambiente, vida útil, costo de material, requerimientos de construcción, dimensiones, peso, acabado, apariencia, estética, materiales, estándares, ergonomía, calidad, pruebas y ensayos, seguridad, restricciones y mantenimiento, cubriendo las necesidades de los productores, y aunado a lo anterior las observaciones por parte del tesista durante las visitas a los huertos de pitayas.

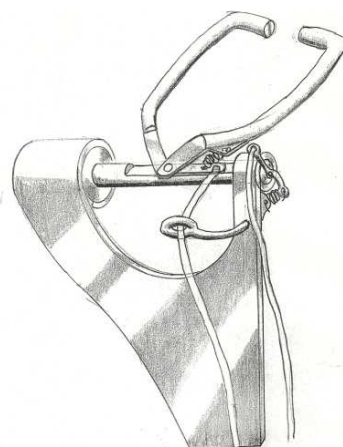
Antes de la descripción de las alternativas propuestas se hace notar la existencia de un dispositivo (Figura 20) que compone a las alternativas A<sub>1</sub>, A<sub>5</sub> y A<sub>6</sub>, cuya única función será la de almacenar la fruta cuando ésta sea cortada o desprendida de los pitayos. Estas alternativas estarán unidas con el Accesorio 1 por la parte superior mediante tornillos, la cual se aprecia en la Figura 21. Su finalidad será el almacenar la fruta para evitar daños.



**Figura 21.** Accesorio 1 diseñado para las alternativas A<sub>1</sub>, A<sub>5</sub> y A<sub>6</sub>.  
Fuente: El Tesista.

#### **Alternativa A<sub>1</sub>**

Este dispositivo consta de un sistema en forma de pinzas, haladas mediante la fuerza ejercida por el operario a través de un lazo amarrado a uno de los extremos de uno de los brazos, y con la asistencia de resortes, los cuales ayudan al dispositivo a volver a su posición inicial después de cada movimiento (Figura 21).

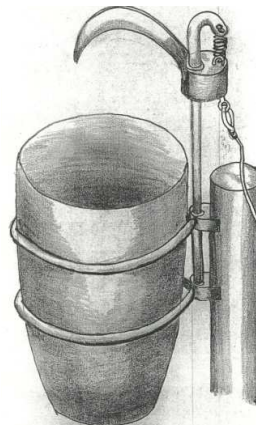


**Figura 22.** Alternativa A<sub>1</sub>. Fuente: El Tesista.

El primer lazo está sujeta a las pinzas por uno de sus extremos, éste actúa ejerciendo una presión sobre la fruta hasta tenerla aprisionada. Un segundo lazo sujeto a un costado de la base del dispositivo, sirve de mecanismo para girar las pinzas a la parte posterior con un movimiento inferior a los 180°. El mismo movimiento genera la liberación de la tensión ejercida en las pinzas por parte del primer lazo, que suelta la fruta dentro del canasto.

### **Alternativa A<sub>2</sub>.**

Consta de una cuchilla en forma de hoz, ésta es halada mediante cordón que se encuentra sujeta en la parte inferior de un cilindro al cual está unida la cuchilla (Figura 23). Para efectuar el trabajo el operario debe realizar un movimiento hacia abajo con la fuerza de su brazo activando el mecanismo que corta a la fruta de arriba hacia abajo, el cilindro se desliza en una varilla que se encuentra incorporado a un costado de la canastilla, esta varilla contiene en su parte superior en forma de U, un resorte el cual está sujeto a la parte deslizante del cortador en hoz.



**Figura 23.** Alternativa A<sub>2</sub>. Fuente: El Tesista.

### **Alternativa A<sub>3</sub>.**

La tercer alternativa (Figura 24) es un dispositivo en forma de red, el cual el operario debe introducir cuidadosamente una pitaya en su interior, siguiendo esto se aplica una fuerza que activan las tijeras que se localiza en su parte inferior, la

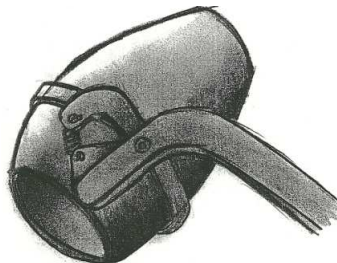
tijera corta a la fruta en su pedúnculo y la retiene impidiendo que la fruta se escape de la red.



**Figura 24.** Alternativa A<sub>3</sub>. Fuente: El Tesista.

#### **Alternativa A<sub>4</sub>**

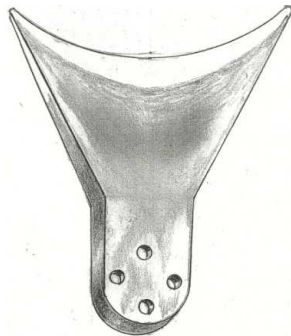
La cuarta alternativa (Figura 25) es un recipiente ovoide, es el más parecido al *chicole*, su función consiste en capturar la fruta en su interior y mediante un movimiento de torsión desprender la fruta.



**Figura 25.** Alternativa A<sub>4</sub>. Fuente: El Tesista.

#### **Alternativa A<sub>5</sub>**

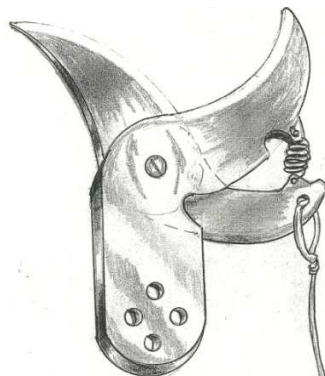
La quinta alternativa (Figura 26) es un dispositivo en forma de V, el cual se une a la parte superior de la garrocha y mediante un movimiento de abajo hacia arriba por parte del operario, corta a la fruta en su unión. Esta alternativa ejerce una fuerza directa en el corte ya que no dispone de ningún otro dispositivo más que la fuerza que se ejerza en el mango.



**Figura 26.** Alternativa A<sub>5</sub>. Fuente: El Tesista.

### **Alternativa A<sub>6</sub>**

Esta alternativa (Figura 27) consta de un sistema de tijeras, una de las partes se mantiene fija mediante tornillos y tuercas al mango de la herramienta, la otra está sujeta mediante un cordón, ambas están conectadas por un resorte que ayuda a colocar la herramienta en su posición inicial después de cortar. El lazo es activado mediante la fuerza realizada por el operario. Esta alternativa debe cortar en el pedúnculo de la fruta para que caiga dentro del recipiente de almacenamiento.



**Figura 27.** Alternativa A<sub>6</sub>. Fuente: El Tesista.

### **Paso 6. Evaluar cada alternativa propuesta**

En el Cuadro 6 se muestran las alternativas con su respectiva evaluación, considerando los criterios de Desempeño (De), Seguridad (Se), Manejo (Ma), Costo de materiales (Cm), Fabricación (Fa) y Estética (Es).

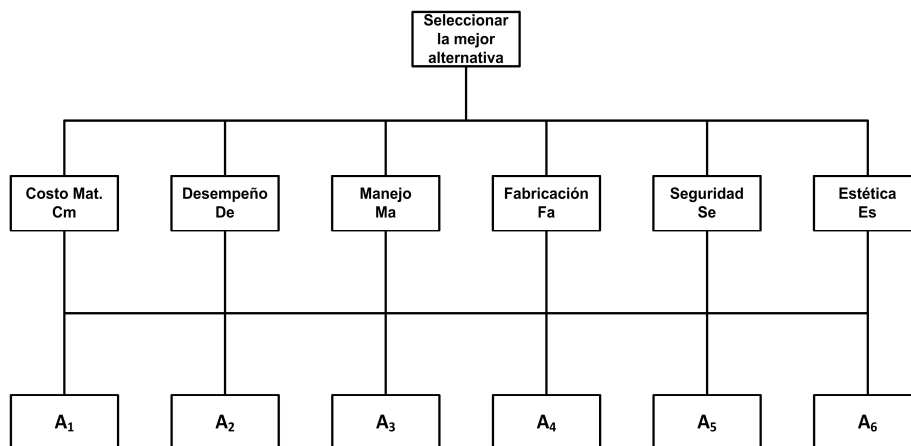
**Cuadro 6.** Evaluación de las alternativas. Fuente: El Tesista.

Bosquejo	Observaciones
<p>A<sub>1</sub></p> 	<p>De Arranca fruta por la fuerza que se ejerce en las pinzas.                      Se Sus componentes no contienen elementos punzocortantes.                      Ma Las pinzas realizan dos tipos de movimientos, sujeción y giro.                      Cm Posee gran número de componentes.                      Fa Sus componentes involucran diferentes procesos de manufactura.                      Es Posee una apariencia metálica.</p>
<p>A<sub>2</sub></p> 	<p>De La cuchilla es propensa a dañar las frutas durante la actividad                      Se El cortador es el único elemento punzocortante                      Ma Funcionamiento simple de halado del lazo al cortar                      Cm No utiliza una gran numero de componentes                      Fa No involucra demasiados procesos de manufactura                      Es Tiene un diseño tradicional de hoz para el corte</p>
<p>A<sub>3</sub></p> 	<p>De Se debe capturar la fruta en su interior antes de cortar con las tijeras                      Se Contiene una tijeras afiladas localizadas en su parte inferior                      Ma Desarrollar algunas maniobras para poder capturar la fruta                      Cm Diferentes tipos de materiales                      Fa Su fabricación involucra algunos procesos de manufactura                      Es Diseño en forma de red</p>
<p>A<sub>4</sub></p> 	<p>De No corta la fruta, la arranca mediante torsión                      Se No contienen elementos punzocortantes                      Ma Desarrollar algunas maniobras para poder capturar la fruta                      Cm Utiliza pocos materiales                      Fa No involucra gran cantidad de procesos de manufactura                      Es Tiene un diseño en forma de balón</p>
<p>A<sub>5</sub></p> 	<p>De Corta la fruta                      Se El cortador es el único elemento punzocortante                      Ma Aplicación directa de la fuerza del operario al cortar                      Cm Utiliza pocos materiales                      Fa No involucra gran cantidad de procesos de manufactura                      Es Es un diseño simple y práctico</p>
<p>A<sub>6</sub></p> 	<p>De Corta la fruta                      Se Contiene elementos punzocortantes                      Ma Aplicación de la fuerza mediante un lazo                      Cm Utiliza pocos materiales                      Fa Involucra cierta cantidad de procesos de manufactura                      Es Es un diseño en forma de tijeras</p>



**Paso 7. Validar cada alternativa de acuerdo con cada criterio de evaluación**

Siguiendo los pasos descritos por el AHP, se elaboró un diagrama que representa el problema a solucionar mediante la colocación del objetivo principal, los criterios y las alternativas de decisión como se muestra en la Figura 28.



**Figura 28.** Jerarquías y niveles para la selección de la alternativa de diseño.  
Fuente: El Tesista.

En la parte superior se localiza el objetivo general, el cual es la selección de la mejor alternativa, en el segundo nivel se localizan los criterios que se tomaron en cuenta para la evaluación y ubicados en el último nivel se encuentran las alternativas de decisión; el empleo del AHP implica la realización de preguntas en la cual realcen que criterio tiene más importancia con respecto a otro y así asignarle un peso. Como primer paso se realiza la comparación por pares de los criterios que se utilizan como parámetros para la selección de la mejor alternativa, el resultado se muestra en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Comparaciones pareadas de los criterios (RC= 0.034).  
Fuente: El Tesista.

Criterios	Cm	De	Ma	Fa	Se	Es	Ponderación
Cm	1	1/3	1/3	1	1/3	4	0.099
De	3	1	2	3	2	5	0.318
Ma	3	1/2	1	3	1	5	0.221
Fa	1	1/3	1/3	1	1/3	4	0.099
Se	3	1/2	1	3	1	5	0.221
Es	¼	1/5	1/5	1/4	1/5	1	0.039

En la columna denominada Ponderación, se ven reflejados la importancia que tiene un criterio para la realización del proyecto, los resultados obtenidos revelaron que el desempeño es el criterio preponderante con un importancia relativa del 31.8%, seguidos del Manejo y la Seguridad quienes comparten un grado de 22.1%, el tercero en importancia se encuentran el Costo y la Fabricación con 9.9% y por último la Estética con 3.9%, estos valores sumados deben dar como resultado la unidad; consecuentemente se procede a realizar los mismos pasos con las alternativas de decisión propuestas para cuantificar su importancia en cada uno de los criterios, usando la escala del cuadro 6. Las matrices generadas se muestran en los Cuadros 8, 9, 10, 11, 12 y 13; la última columna muestra el grado de importancia que tiene cada alternativa respecto al criterio en el que fue evaluado como lo realizado en el Cuadro 7.

**Cuadro 8.** Importancia de las alternativas con respecto al Costo de Material (RC=0.023). Fuente: El Tesista.

Alternativa	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	Ponderación
A <sub>1</sub>	1	1/4	1	1/5	1/7	1/4	0.042
A <sub>2</sub>	4	1	4	1/2	1/4	1	0.134
A <sub>3</sub>	1	1/4	1	1/5	1/7	1/4	0.042
A <sub>4</sub>	5	2	5	1	1/3	2	0.211
A <sub>5</sub>	7	4	7	3	1	4	0.434
A <sub>6</sub>	4	1	4	1/2	1/4	1	0.134

**Cuadro 9.** Importancia de las alternativas con respecto al Desempeño (RC=0.016). Fuente: El Tesista.

Alternativa	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	Ponderación
A <sub>1</sub>	1	1	7	5	1	1/2	0.195
A <sub>2</sub>	1	1	7	5	1	1/2	0.195
A <sub>3</sub>	1/7	1/7	1	1/3	1/7	1/9	0.027
A <sub>4</sub>	1/5	1/5	3	1	1/5	1/6	0.050
A <sub>5</sub>	1	1	7	5	1	1/2	0.195
A <sub>6</sub>	2	2	9	6	2	1	0.336

**Cuadro 10.** Importancia de las alternativas con respecto al Manejo (RC=0.025).  
Fuente: El Tesista.

Alternativa	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	Ponderación
A <sub>1</sub>	1	1/3	4	2	1/4	1/4	0.092
A <sub>2</sub>	3	1	6	4	1/2	1/2	0.196
A <sub>3</sub>	¼	1/6	1	1/3	1/7	1/7	0.032
A <sub>4</sub>	½	1/4	3	1	1/5	1/5	0.062
A <sub>5</sub>	4	2	7	5	1	1	0.307
A <sub>6</sub>	4	2	7	5	1	1	0.307

**Cuadro 11.** Importancia de las alternativas con respecto a la Fabricación (RC=0.027). Fuente: El Tesista.

Alternativa	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	Ponderación
A <sub>1</sub>	1	1/4	1	1/6	1/7	1/3	0.041
A <sub>2</sub>	4	1	4	1/3	1/4	2	0.138
A <sub>3</sub>	1	1/4	1	1/6	1/7	1/3	0.041
A <sub>4</sub>	6	3	6	1	1/2	4	0.278
A <sub>5</sub>	7	4	7	2	1	5	0.405
A <sub>6</sub>	3	1/2	3	1/4	1/5	1	0.093

**Cuadro 12.** Importancia de las alternativas con respecto a la Seguridad (RC=0.024). Fuente: El Tesista.

Alternativa	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	Ponderación
A <sub>1</sub>	1	3	3	1	7	7	0.318
A <sub>2</sub>	1/3	1	1/2	1/4	4	4	0.113
A <sub>3</sub>	1/3	2	1	1/3	5	5	0.157
A <sub>4</sub>	1	4	3	1	7	7	0.334
A <sub>5</sub>	1/7	1/4	1/5	1/7	1	1	0.037
A <sub>6</sub>	1/7	1/4	1/5	1/7	1	1	0.036

**Cuadro 13.** Importancia de las alternativas con respecto a la Estética (RC=0.075).  
Fuente: El Tesista.

Alternativa	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	Ponderación
A <sub>1</sub>	1	4	5	3	5	3	0.392
A <sub>2</sub>	¼	1	3	1/3	3	1/3	0.111
A <sub>3</sub>	1/5	1/3	1	1/4	1	1/4	0.052
A <sub>4</sub>	1/3	3	4	1	4	1	0.202
A <sub>5</sub>	1/5	1/3	1	1/4	1	1	0.071
A <sub>6</sub>	1/3	3	4	1	1	1	0.168

El siguiente paso consiste en organizar la información obtenida de las ponderaciones de cada uno de los cuadros para lograr obtener una ponderación final en cada una de las alternativas. El resultado final consiste en la multiplicación de cada una de las ponderaciones finales de cada una de las alternativas obtenidas en los cuadros. Se multiplica cada una de las ponderaciones del Cuadro 7 (que especifica el grado de importancia de un criterio para el logro del objetivo deseado) por la ponderación obtenida de las diferentes alternativas (que representa el peso o el valor que ésta tiene en el criterio). Consecuentemente la suma obtenida de los productos es la ponderación final de la alternativa. En el Cuadro 14 se muestra los resultados obtenidos en cada uno de los cuadros, el producto de las interacciones y la ponderación final se muestran en el Cuadro 15.

**Cuadro 14.** Resumen de resultados de las ponderaciones obtenidas.

Fuente: El Tesista.

Criterio	Alternativas						
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	
Cm	0.099	0.042	0.134	0.042	0.211	0.434	0.134
De	0.318	0.195	0.195	0.027	0.050	0.195	0.336
Ma	0.221	0.092	0.196	0.032	0.062	0.307	0.307
Fa	0.099	0.041	0.138	0.041	0.278	0.405	0.093
Se	0.221	0.318	0.113	0.157	0.334	0.037	0.037
Es	0.039	0.392	0.111	0.052	0.202	0.071	0.168

**Cuadro 15.** Productos obtenidos de las interacciones de los Criterios con respecto a las Alternativas. Fuente: El Tesista.

Criterio	Producto					
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Cm	0.004	0.013	0.004	0.021	0.043	0.013
De	0.062	0.062	0.008	0.016	0.062	0.107
Ma	0.020	0.043	0.007	0.013	0.068	0.068
Fa	0.004	0.013	0.004	0.027	0.040	0.009
Se	0.070	0.025	0.034	0.074	0.008	0.008
Es	0.015	0.004	0.002	0.008	0.002	0.006
Suma	0.177	0.162	0.061	0.160	0.225	0.213

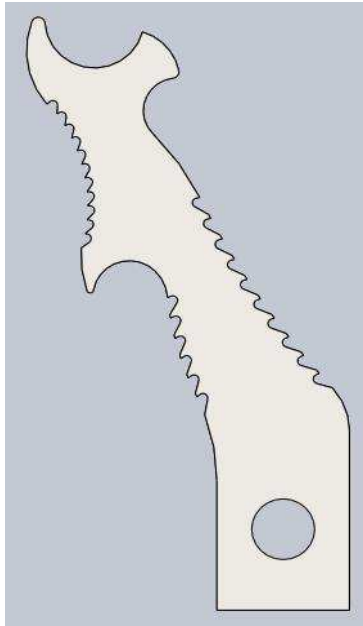
### **Paso 8. Seleccionar el concepto de diseño**

La información sugiere (Cuadro 14) que si se enfoca únicamente en el Desempeño la alternativa  $A_6$  es la mejor opción al poseer el nivel más alto (0.336); si se basara en el Manejo, las alternativas  $A_5$  y  $A_6$  deben ser tomadas en cuenta pues comparten el mismo valor (0.307); si solamente se considera la Seguridad, la alternativa  $A_4$  quedaría seleccionada (0.334); la alternativa  $A_5$  igualmente debe ser elegida si la decisión se basa en la Fabricación (0.405), esto mismo sucedería si se optará por el Costo únicamente (0.434); si se centrara en la Estética la opción preferible es la alternativa  $A_1$  (0.392). No obstante, ya que en el AHP se toman en consideración los diferentes criterios (Cuadro 15) que intervienen para una mejor decisión, se establece por lo tanto que los resultados derivados de las interacciones son más consistentes y acertados cuando se selecciona la alternativa  $A_5$ , la cual alcanzó el nivel más alto en cuanto a puntaje con un total de 22.5% respecto de los demás, seguida de la  $A_6$  con 21.3%, en tercer lugar la  $A_1$  con el 17.7%, en cuarto lugar  $A_2$  con 16.2%, en la quinta posición la  $A_4$  con 16.0% y como última elección la alternativa  $A_3$  con 6.1%.

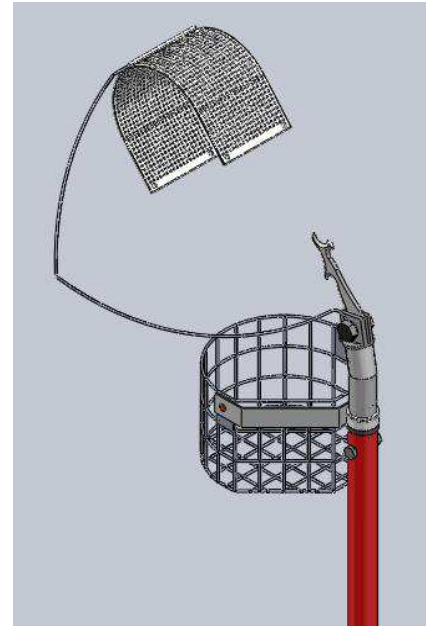
### **Paso 9. Completar el diseño detallado del concepto seleccionado**

Después del proceso de selección se decidió mejorar el diseño que había quedado como preferible dentro de la prueba de AHP (Figura 29). Por ello se mejoró su rendimiento, dejando como base el hecho que es una estructura fija como lo muestra la alternativa  $A_5$ ; dándole una nueva forma para no solo hacer un solo movimiento de corte, sino otros como el desprender al jalar; se hicieron modificaciones para aumentar las capacidades en los diferentes criterios de evaluación en la alternativa  $A_5$ ; también se realizaron cambios al Accesorio 1 mejorando su flexibilidad y capacidad de acoplarse a las posiciones de trabajo que puedan surgir, ya que esta especie (*Stenocereus pruinosus*) no tiene un patrón uniforme en cuanto al desarrollo de sus brazos, y por lo tanto tiende a tomar posiciones diversas durante su crecimiento. Como punto final se ideó un nuevo

elemento (Accesorio 2) para aumentar la eficiencia al capturar la fruta y que esta no caiga al suelo, mostrada en la Figura 30.

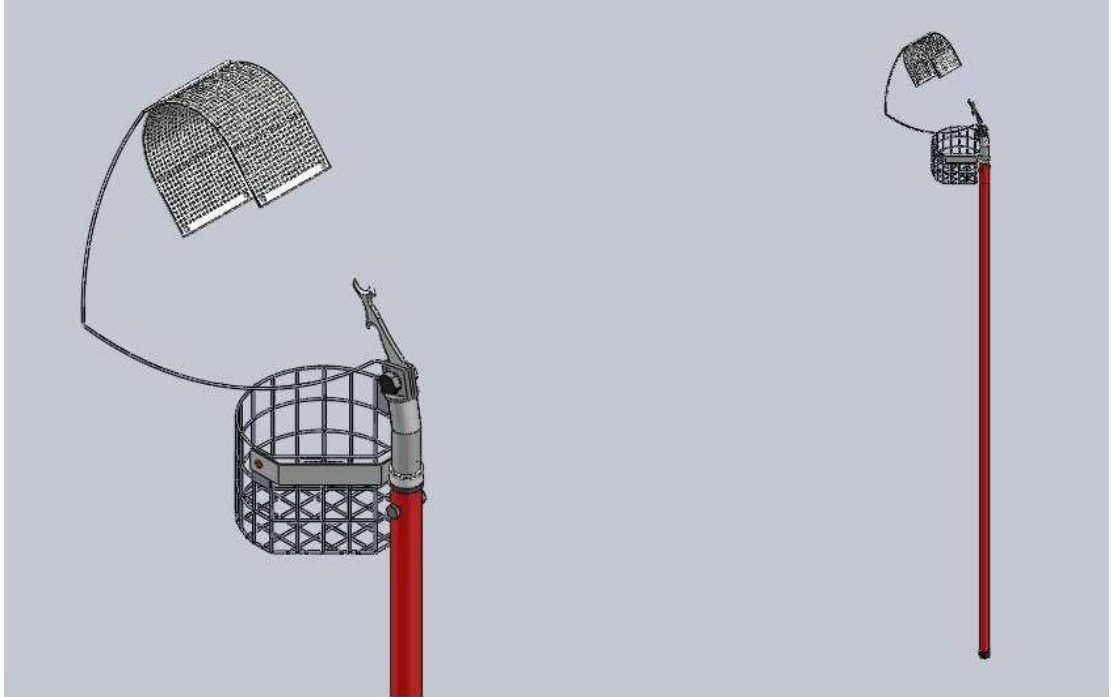


**Figura 29.** Diseño del cortador de la alternativa seleccionada. Fuente: El Tesista.



**Figura 30.** Diseño complementado. Fuente: El Tesista.

De esta forma se da paso a la concepción completa del diseño mediante el uso de herramientas CAD. Para ello se usó el software denominado SolidWorks instalado en el equipo de cómputo del área de simulación del LabTAM; este programa permite modelar piezas y extraer de ellos planos en 2D a partir de los modelos en 3D mediante la transferencia de la idea mental del diseñador al sistema CAD y así construir virtualmente la pieza (Figura 31). Con esto se concluye los pasos para el proceso de diseño mencionado.



**Figura 31.** Prototipo diseñado en el software SolidWorks. Fuente: El Tesista.

#### **4.3 Construcción del prototipo**

La importancia del prototipo radicó en observar los métodos posibles y las dificultades que se pudieran encontrar en la construcción del modelo final; obstáculos para su elaboración, así como el equipo y herramental necesario.

Se decidió usar materiales alternativos; esto con la finalidad de detectar errores e implementar mejoras al diseño disminuyendo el desperdicio de material en la construcción. Para la construcción de la herramienta de corte, se utilizaron las máquinas-herramientas con los que dispone el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura y el Taller de Metales de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Se tomo la decisión de utilizar materiales alternos para su creación y así obtener información de los mejores métodos y técnicas que serían útiles para el dispositivo final. A continuación se mencionará cada una de las partes que conforman la herramienta junto con los materiales que se ocuparon.

### 4.3.1 Cortador

Para la realización de la pieza denominada Cortador, se hicieron diferentes pruebas en el material conocido como MDF y posteriormente fabricada en una placa de Acero estructural A-36 de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor y una dimensión 30X30 cm por lado (Figura 32), la cual fue cortada en 4 partes de 14 cm aproximadamente, utilizando un cortador de carburo de  $\frac{3}{8}$  de pulgada, antes de poder maquinaarla con el material definitivo (Acero Inoxidable 304), para conocer las dimensiones y la cantidad de cortadores que se iban a ocupar y que lograrían el acabo deseado; además de observar los movimientos realizados por la máquina (Fresadora CNC). Después del primer ensayo de la máquina con este material, se decidió empezar con la realización del prototipo de la herramienta.



**Figura 32.** Placas de acero A-36. Fuente: El Tesista.

#### **Acero estructural A-36.**

Este acero de medio carbono muy comúnmente utilizado en la industria de la construcción para edificios y puentes, fue aprovechado para darle forma y utilizarlo como material para la elaboración del cortador, pieza principal; la cual será de acero inoxidable en el dispositivo final; este acero se caracteriza por poseer una densidad similar al acero inoxidable ( $7860 \text{ Kg/ m}^3$ ). En los Cuadros 16 y 17 se muestra su análisis químico y sus propiedades mecánicas respectivamente.



**Cuadro 16.** Análisis químico del acero estructural A-36. Fuente: Ferreceptsa, 2012.

Análisis químico	
	%
Carbono	0.25-0.29
Manganeso	1.20 máx.
Fósforo	0.04 máx.
Sulfuro	0.05 máx.
Silicio	0.40 máx.
Cobre	0.20 mín.

**Cuadro 17.** Propiedades mecánicas del acero estructural A-36. Fuente: TERNIUM, 2012.

Propiedades mecánicas	
Resistencia última a la tensión	400 MPa
Límite a la cedencia	250 MPa
Módulo de elasticidad	200 GPa
Módulo de rigidez	77.2 GPa

De las 4 piezas resultantes, se tomaron 2, una para los dos diferentes modelos realizados de la alternativa A<sub>5</sub>. El resultado de los dos modelos se muestra a continuación en la Figura 33.



**Figura 33.** Modelos del Cortador elaborados con acero A-36. Fuente: El Tesista.

Como se muestra en el diseño terminado en SolidWorks (Figura 29) el modelo presentaba pequeños dientes en forma de sierra para hacer un corte más rápido, si bien eso se tenía previsto, no se logró comprobar debido a las limitaciones establecidas por los mismos herramientas disponibles en el mercado, debido a esto no son perceptibles en la imagen, y en el diseño final fue retirada esta idea.

Siguiendo con los dos modelos fabricados por la fresadora CNC; estos se implementaron en las primeras prácticas de los huertos familiares para observar su manejo; arrojaron que el modelo de lado derecho se doblaba, debido a las hendiduras realizadas en el diseño y a su grosor (2 mm), el cual finalmente cedió en la parte más angosta fracturándose. El otro modelo resulto ser más resistente, en parte a su grosor (5 mm) pero requería un afilado adicional debido a esto y era más pesado; por esto se decidió rediseñar el modelo disminuyendo su grosor a 3 mm sin ningún tipo de acabado en su superficie y dándole un afilado al terminar su fabricación.

#### 4.3.2 Soporte y anillo

El subensamble denominado SOPORTE consta de 5 partes (Figura 34); 3 piezas sólidas, una tubular y un anillo, fue realizado con el mismo material y utilizó procesos de manufactura similares al resto de las piezas.



**Figura 34.** Piezas del subensamble SOPORTE. Fuente: El Tesista.

### **Pieza S<sub>1</sub>**

Para la elaboración de este subensamble y el anillo, se utilizó una barra redonda de acero 1018 de 1 pulgada de diámetro nominal; esta barra fue maquinada por el torno usando operaciones de desbaste para secciones donde se debía de reducir su diámetro; el careado en los extremos de las piezas, achaflanado, tronzado, roscado exterior e interior en dos piezas, perforado y taladrado.

### **Acero 1018**

El acero al carbón que se utilizó para la realización de la parte del soporte fue el acero 1018, el cual entra dentro de la clasificación de acero al bajo carbono, con una densidad = 7870 Kg/m<sup>3</sup> su análisis químico se muestra en el Cuadro 18.

**Cuadro 18.** Análisis químico del acero 1018.

Fuente: Aceros Fortuna 1018, 2012.

Análisis químico	
	%
Carbono	0.18
Manganeso	0.75
Fósforo	0.04 máx.
Azufre	0.05 máx.
Silicio	0.25

Este acero tiene una buena soldabilidad y es de fácil manejo para su maquinado, sus propiedades mecánicas se muestran en el Cuadro 19. Dentro de sus aplicaciones se tiene la construcción de flechas de transmisión, pernos de asiento y en general en partes donde no se requieren una alta resistencia. Este material se obtuvo en forma de barra de perfil redondo (Figura 35).

**Cuadro 19.** Propiedades mecánicas del acero 1018.

Fuente: SUMITECCR AISI 1018, 2012.

Propiedades mecánicas	
Resistencia última a la tensión	440 MPa
Límite a la cedencia	370 MPa
Módulo de elasticidad	205 GPa



**Figura 35.** Barra de acero 1018. Fuente: El Tesista.

La pieza  $S_1$  (Figura 36) recibió operaciones de desbaste, achaflanado, careado y perforado; realizado por el torno, así como operaciones de fresado de perfiles y taladrado.



**Figura 36.** Pieza  $S_1$ . Fuente: El Tesista.

### **Pieza $S_2$**

La pieza  $S_2$  (Figura 37), hecha del mismo perfil que la pieza  $S_1$ , recibió operaciones de desbaste, achaflanado, tronzado, careado, taladrado y roscado interior, realizados por el torno.



**Figura 37.** Pieza  $S_2$ . Fuente: El Tesista.

### **Pieza S<sub>3</sub>**

La pieza S<sub>3</sub> (Figura 38), igualmente recibió operaciones de desbaste, careado, tronzado, perforado y roscado exterior en el torno.



**Figura 38.** Pieza S<sub>3</sub>. Fuente: El Tesista.

### **Pieza Codo del soporte**

La pieza denominada codo del soporte de este subensamble se construyó usando un tubular que en la industria denominan “tubo conduit” que consiste en acero al carbón galvanizado con un diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (diámetro exterior 23.42 mm), 1.06 mm de espesor de pared y 7 cm. de largo.

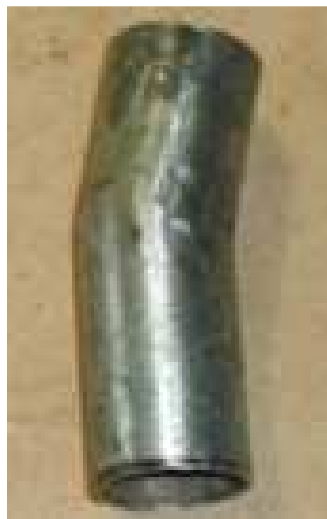
### ***Acero galvanizado***

Para la elaboración de esta pieza se utilizó acero galvanizado (Figura 39), el cual es acero o hierro, que por medio de un proceso denominado inmersión en caliente, se sumerge en un baño fundido de un segundo metal, en este caso el zinc, por lo cual se le denomina galvanizado.



**Figura 39.** Alambre y tubo galvanizado. Fuente: El Tesista.

Esta pieza es un tubo de 7 cm cortado a una longitud de 4 cm con una ligera inclinación de  $5^\circ$ , los lados resultantes son soldados en el sentido opuesto al que originalmente tenían como se muestra en la Figura 40.



**Figura 40.** Pieza Codo del soporte. Fuente: El Tesista.

#### **Pieza Anillo**

La pieza denominada anillo (Figura 41) se construyó del mismo perfil redondo de acero 1018 usado para las piezas  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ . Este recibió primero un taladrado, posteriormente un aserrado y finalizó con un taladrado y roscado interior a un costado.



**Figura 41.** Pieza anillo. Fuente: El Tesista.

### **Ensamblaje del soporte**

Finalmente estas 5 piezas son ensambladas, la pieza  $S_1$  se introduce a presión en la parte superior del Codo del soporte, así como la pieza  $S_2$  en su parte inferior; se coloca el anillo en la parte inferior de la pieza  $S_2$  donde hacen juego; y finalmente se introduce la parte superior roscada de la pieza  $S_3$  dentro de la rosca interna de la pieza  $S_2$  que se localiza en su parte inferior. De esta forma queda constituido el subensamble SOPORTE (Figura 42).



**Figura 42.** Subensamble de SOPORTE armado. Fuente: El Tesista.

### **4.3.3 Accesorio 1**

El subensamble denominado Accesorio 1 (Canastilla), está formado de 2 piezas; la primera de ellas es la canastilla metálica y la segunda la horqueta de la canastilla.

### **Horqueta de Canastilla**

La horqueta de la canastilla está fabricada de lamina galvanizada calibre 20 de 1 cm. de ancho y 25 cm. largo; con tres perforaciones.

### **La Canastilla**

La canastilla está fabricada con alambre galvanizado calibre 16 (Figura 43), el diseño se basa en tiras de alambre soldadas mediante el proceso de soldadura de puntos por resistencia utilizando una máquina de soldadura de puntos por balancín (Punteadora).



**Figura 43.** Canastilla elaborada con alambre galvanizado. Fuente: El Tesista.

El subensamble se une mediante dos remaches roscados utilizados muy comúnmente en cinturones de cuero (Figura 44).



**Figura 44.** Remaches roscados para sujeción de la canastilla. Fuente: El Tesista.



Finalmente estos remaches roscados se ensamblan introduciéndolos en los orificios que tiene la lámina galvanizada en sus extremos junto con la canastilla (Figura 45).

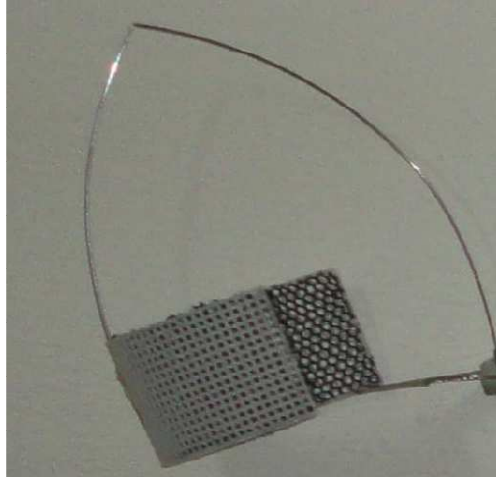


**Figura 45.** Canastilla armada. Fuente: El Tesista.

#### **4.3.4 Accesorio 2**

Durante el desarrollo de la herramienta y las pruebas que se realizaron de campo, fue notoria la dificultad para asegurar la fruta y que ésta entrara en la canastilla y evitara su caída al suelo; para solucionarlo, se construyó un nuevo elemento para la herramienta denominada Accesorio 2; el cual consta de 3 partes: la primera es la malla rectangular doblada en forma de U; este elemento es una malla comercial de polietileno. Para darle la forma se atravesó en cada uno de sus extremos un hilo de nylon único, para que al mismo tiempo este se amarrara a la piola o cordón de la herramienta, y así al jalar la piola, se cierre aun más la malla rectangular y pueda sujetar la pitaya. La segunda es un alambre acerado doblado en forma de V, esto debido a las propiedades del material al ser capaz de doblarse y volver a su estado original; esto da la posibilidad de maniobrar el cortador mientras se tiene sujeta la fruta con la malla. La parte tres es una extensión de tela del mismo tamaño que la malla rectangular, la cual está pegada en el interior de la malla. Su función radica en asegurar que la fruta no caiga o resbale de la malla al estar

sujeta, ya que la pitaya al poseer espinas en su cáscara, da la posibilidad de que se enrede en la tela y se evite la caída al suelo (Figura 46).



**Figura 46.** Accesorio 2 Ensamblado. Fuente. El Tesista.

#### **4.3.5 Mango de la herramienta**

Esta pieza no fue maquinada, ya que en el mercado existen diferentes productos que pueden suplir los requerimientos de su diseño. Para este caso se adquirió un mango telescópico marca TRUPER, código 16000, clave MG-TR-82, fabricado en aleación de aluminio (no especificada por el comerciante) con una extensión mínima de 1.3 m. y una extensión máxima de 2.4 m (Figura 47).



**Figura 47.** Mango telescópico de aluminio. Fuente: El Tesista.

#### 4.3.6 Ensamblaje del Prototipo

En ensamble final de los componentes se realiza tomando el subensamble SOPORTE, este se introduce en el mango telescópico (Figura 48) y es atravesado por un tornillo de  $\frac{1}{4}$  de pulgada con su tuerca respectiva (Figura 49).



**Figura 48.** Acoplamiento del subensamble SOPORTE con mango telescópico. Fuente: El Tesista.



**Figura 49.** Ensamblado de mango telescópico, SOPORTE y el CORTADOR. Fuente: El Tesista.

El siguiente paso consiste en el acoplamiento del accesorio 1. Para hacerlo se debe identificar el orificio que se encuentra en el elemento horqueta de canastilla, este debe ir acoplado en una relación concéntrica con el otro orificio realizado en el elemento anillo que forma parte del subensamble soporte, mediante un tornillo de gota de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Finalmente se introduce la pieza CORTADOR en el subensamble SOPORTE, en la ranurada creada específicamente para esa función; y se coloca un extremo del Accesorio 2 con forma de anillo, hecho con el mismo alambre en la zona del orificio de  $\frac{3}{8}$  de pulgada que se localiza en el subensamble SOPORTE; como ultimo paso se introduce un tornillo de  $\frac{3}{8}$  de pulgada que atraviesa los 3 elementos; así queda ensamblada el prototipo con todos sus elementos como se muestra en la Figura 50.



**Figura 50.** Prototipo de la herramienta de corte.  
Fuente: El Tesista.

#### **4.4 Herramienta final**

Finalmente considerando las características de la fruta y necesidades de los productores, junto con los requisitos establecidos por las normas, particularmente la NOM-120-SSA1-1994 que dicta que los materiales que estén en contacto con directo con el producto no deben constituir un riesgo para la salud, que no transmitan sustancias tóxicas, olores, sabores; y que sean inabsorbentes, resistentes a la corrosión y que puedan limpiarse y desinfectarse. Debido a lo anterior para la pieza CORTADOR se utilizó Acero Inoxidable 304 para su fabricación (Figura 51).



**Figura 51.** Placa de Acero Inoxidable 304. Fuente: El Tesista.

### **Acero Inoxidable 304**

Se utilizó Acero Inoxidable 304, del tipo austeníticos, no magnético, con una densidad de  $7900 \text{ Kg/m}^3$ , para construir el CORTADOR; cuyo análisis químico se muestra en el Cuadro 20.

**Cuadro 20.** Análisis químico del acero inoxidable 304.

Fuente: Aceros Fortuna 304, 2012.

Análisis químico	
	%
Carbono	0.08 máx.
Manganeso	2.00 máx.
Fosforo	0.045 máx.
Azufre	0.030 máx.
Silicio	1.00 máx.
Cromo	18.00/20.00
Níquel	8.00/11.00

Este es considerado para ser usado en un amplio rango de procesos en la industria alimenticia, lechera y el teñido; ejemplos de ello lo encontramos en tuberías, cubos, esterilizadores, equipos de preparación y procesos; en el Cuadro 21 se muestran sus propiedades mecánicas.

**Cuadro 21.** Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304. Fuente: Beer, Johnston y Dewolt, 2007.

Propiedades mecánicas	
Resistencia ultima a la tensión	593 MPa
Límite a la cedencia	248 MPa
Módulo de elasticidad	200 GPa

Otro elemento al que se le sustituyó el material del cual estaba fabricado fue el subensamble denominado SOPORTE, esto a causa de que todo el elemento estaba fabricado de acero 1018 y lo hacía pesado, para ello se optó por utilizar un plástico haciéndolo más ligero, pero sin quitarle la resistencia que necesita para el trabajo que debe realizar, por lo tanto se seleccionó el material denominado Nylamid.

### Nylamid

**Cuadro 22.** Especificaciones de la ficha técnica del Nylamid.

Fuente: Aceros Fortuna Nylamid, 2012.

	Características Nylamid
Densidad	----
Dureza Shore-D	85
Absorción de agua hasta saturación	7% por peso
Resistencia a la tensión	844 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	1055 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la flexión	1125 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al impacto IZOD	2.18 cm.kg/cm
Elongación	20%

Se consideró este material ya que es un polímero del grupo de los termoplásticos, liviano pero con suficiente resistencia para las fuerzas tanto de compresión como tensión que tendrá que soportar durante su uso (Cuadro 22); el Nylamid es un producto comercializado por la empresa Nylamid S.A. de C.V. El utilizado en este proyecto es del tipo M (M=mecánico), color hueso, barra redonda, 1 pulgada de diámetro nominal y 24 pulgadas de largo (Figura 52).



**Figura 52.** Barra redonda de Nylamid tipo M. Fuente: El Tesista.

Este material está aprobado por la SECOFI debido a su capacidad para trabajar en contacto directo con alimentos de consumo humano pues cumple con los estándares de la norma mexicana NMX-E-202-1993-SCFI (Cuadro 23).

**Cuadro 23.** Especificaciones de la norma NMX-E-202-1993-SCFI. Fuente: Secretaría de Fomento y Desarrollo, 1993

	Características SECOFI
Densidad	1.14 a 1.16 g/cm <sup>3</sup>
Dureza Shore-D	80 a 82
Absorción de agua hasta saturación	3% máx.
Resistencia a la tensión	720 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	850 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la flexión	1200 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al impacto IZOD	3-4 kJ/m <sup>2</sup>
Elongación	15 a 30 %

Referente al subensamble SOPORTE, se hace notar que el elemento Codo del soporte fue eliminado del diseño final ya que su función de darle cierto grado de inclinación a la herramienta, es cumplida por el CORTADOR debido a su diseño; con esto se facilitó también la construcción del subensamble.

Se debe mencionar que no hubo algún cambio en los otros elementos que conforman la herramienta, ya que no presentaron otro tipo de inconveniente ni

restricciones para su uso, quedando como herramienta final el dispositivo que se muestra en la Figura 53.



**Figura 53.** Herramienta para el corte de pitaya (*Stenocereus pruinosus*).  
Fuente: El Tesista.

#### **4.5 Análisis Estadísticos**

Cabe resaltar que antes de determinar la herramienta final para el corte se observó su funcionamiento; en un principio se encontraron diversos problemas y uno en particular referente a la captura de la fruta, ya que en un inicio el diseño del Accesorio 1 debía realizarla, pero se vio limitada debido a las diversas formas en las que se desarrolla la planta, en la mayoría de las veces se cortaba y capturaba la pitaya cuando se encontraba en una posición propicia, esto contribuyó al desarrollo del Accesorio 2, dando la posibilidad de que al no poder cortar con el Accesorio 1, éste podía ser retirado de la herramienta y solamente usar el segundo.



Fue así que se dio por finalizado el desarrollo de la herramienta con éste último elemento, y el comienzo de las pruebas en las cuales se recopilaron los datos que se analizan a continuación.

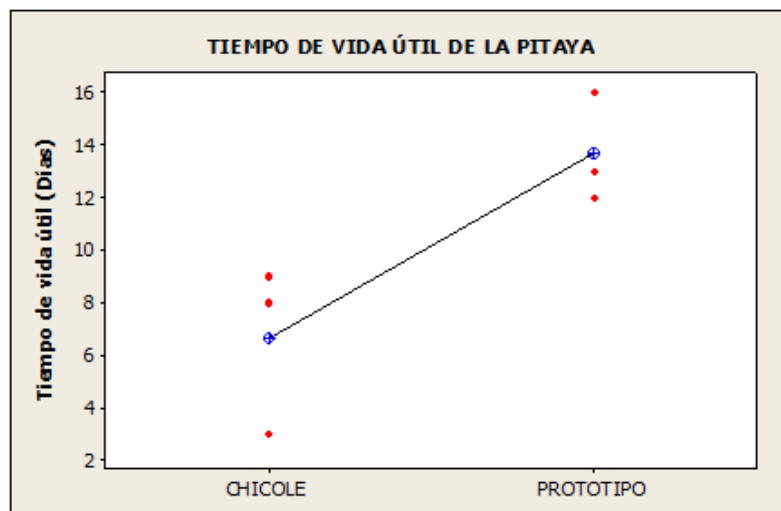
#### 4.5.1 Tiempo de vida útil de la pitaya

Se cortaron los frutos empleando ambas herramientas, posteriormente se desespinaron y se almacenaron a 8 °C. Los datos obtenidos de las muestras de fruta se muestran en el Cuadro 24.

**Cuadro 24.** Tiempo de vida útil de la pitaya. Fuente: El tesista.

Herramienta de corte	Tiempo de vida útil (días)			Promedio
	M1	M2	M3	
<i>Chicole</i>	8	9	3	6.67
Prototipo	16	13	12	13.67

Se realizó una prueba t para 2 muestras con tres réplicas cada una (Montgomery, 2008) empleando el software Minitab para conocer si el tiempo de vida útil de la pitaya es menor al cortar la fruta con el *chicole*, se obtuvo un valor de  $t_0 = -3.17$ , comparado con el valor de  $t_{0.05,3} = 2.353$ , por lo que  $t_0 < -t_{0.05,3}$  se cumple y se concluye que el empleo del *chicole* para el corte de la pitaya disminuye el tiempo de vida útil de la pitaya, lo cual puede observarse en la Figura 54.



**Figura 54.** Tiempo de vida útil de la pitaya. Fuente: El Tesista.

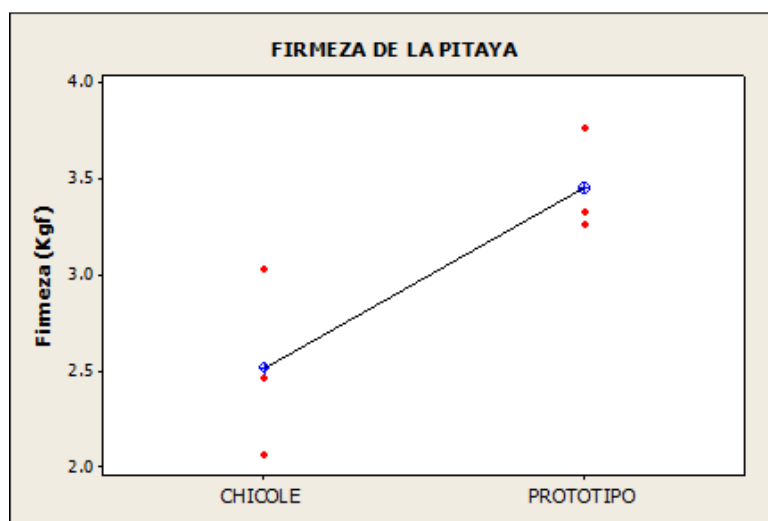
#### 4.5.2 Firmeza de la pitaya

Se cortaron pitayas empleando ambas herramientas, posteriormente se desespinaron y se les midió la firmeza aplicando presión con ayuda de un penetrómetro manual (modelo McCormick FT327) con puntal de 8 mm ( $1/2 \text{ cm}^2$ ) de diámetro, para perforar desde la piel y hasta la pulpa de la pitaya. Se tomó lectura de manera directa y se repitió la operación en 3 partes diferentes del fruto (NMX-FF-014-1982). Los datos obtenidos de las muestras de fruta se muestran en el Cuadro 25.

**Cuadro 25.** Firmeza de la pitaya. Fuente: El Tesista.

Herramienta de corte	Firmeza (Kgf)			
	M1	M2	M3	Promedio
<i>Chicole</i>	2.467	2.067	3.033	2.522
Prototipo	3.333	3.767	3.267	3.456

Del mismo modo se realizó una prueba t para 2 muestras con tres réplicas cada una (Montgomery, 2008), empleando el software Minitab para conocer si la firmeza de la pitaya es menor al cortar la fruta con el *chicole*, se obtuvo un valor de  $t_0 = -2.91$  comparado con el valor de  $t_{0.05,3} = 2.353$ , por lo que  $t_0 < -t_{0.05,3}$  se cumple y se concluye que el empleo del *chicole* para el corte de la pitaya influye en la disminución de la firmeza de la pitaya, ya que los valores son más bajos que los obtenidos con el prototipo como lo muestra la Figura 55.



**Figura 55.** Firmeza de la pitaya. Fuente: El Tesista.

Se puede apreciar que la herramienta de corte que busca sustituir al *chicole*, no solo preserva la pitaya al cosecharla sino que además de esto logró prolongar el periodo de vida de anaquel de la misma, así como una mayor capacidad para soportar la presión que sufre durante el envase y transporte. Esto logra darle una mayor calidad al producto al mejorar su presentación dentro del mercado como una fruta que no presenta magulladuras, además desacelera la etapa de putrefacción y agrega más tiempo para poder ser transportada a zonas más apartadas de las que actualmente se comercializa.

#### 4.5.3 Tiempo de cosecha de la pitaya

Durante las pruebas de campo se realizaron tomas con cámaras digitales para analizar el desempeño de la herramienta y obtener un promedio del tiempo implementado para realizar el corte de la fruta, desde su posicionamiento sobre esta, hasta el momento en que es separa del pitayo. A continuación se muestran los datos recolectados de los videos examinados en el Cuadro 26.

**Cuadro 26.** Tiempos de corte de la pitaya. Fuente: El Tesista.

Tiempo de cosecha de la pitaya (seg)						
Herramienta de corte	M1	M2	M3	M4	M5	Promedio
<i>Chicole</i>	4	6	22	12	8	10.40
Prototipo	25	18	18	28	40	25.80

De igual modo se realizó una prueba t para 2 muestras con cinco réplicas cada una (Montgomery, 2008), empleando el software Minitab para conocer si el tiempo de cosecha de la pitaya es menor al cortar la fruta con el *chicole*; se obtuvo un valor de  $t_0 = -2.99$  comparado con el valor de  $t_{0.05,7} = 1.895$ , por lo que  $t_0 < -t_{\alpha,v}$  se cumple y se concluye que el empleo del *chicole* para el corte de la pitaya es menor a los valores obtenidos con el prototipo como lo muestra la Figura 56.

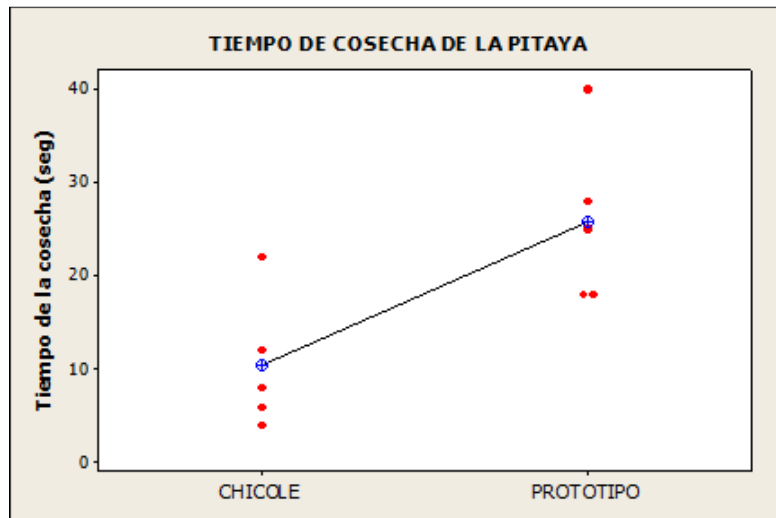


Figura 56. Tiempo de cosecha de la pitaya. Fuente: El Tesista.

## **CAPÍTULO 5. Conclusiones generales**

### **5.1 Herramienta de corte.**

Con respecto a los objetivos del proyecto se cumplieron en mayor parte ya que se diseñó y construyó la herramienta de corte para la pitaya de acuerdo a las especificaciones requeridas que se detectaron en el desarrollo de la misma. Con ayuda de herramientas CAD, máquinas-herramientas y equipo con los que dispone en el Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura (LabTAM) de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Durante la generación de las alternativas que se idearon para elegir el mejor diseño y después de haberse seleccionado una para el prototipo, se le agregaron mejoras al modelo tomando en cuenta las características y los problemas observados durante este proyecto.

Los resultados de los análisis estadísticos mostraron que el uso de la herramienta de corte otorgó un periodo de vida mayor al que se obtiene mediante el uso del *chicole*; igualmente se pudo corroborar que al no ejercer un desprendimiento brusco en la pitaya para arrancarlo de la planta, su consistencia o firmeza no se vio afectada ya que la herramienta captura la fruta sin apretujarla, para después ser cortada en el pedúnculo por el cortador de la herramienta; esto ayuda a la fruta en darle una mejor apariencia contrastando con el aspecto que da la fruta cortada con el *chicole*, las cuales presentan magulladuras en la superficie de la cáscara y da un aspecto malsano de esta, además de acelerar la etapa de putrefacción; si bien es cierto que los tiempos de corte mediante el uso de la herramienta de corte no se minimizaron, se observó que la cantidad de fruta en buen estado es mayor, contraria a cuando se utiliza el *chicole*.

### **5.2 Desarrollo del proyecto**

Durante el desarrollo de un proyecto sobre un nuevo producto el seleccionar los materiales adecuados puede volverse tedioso y llegar a ser complicado si no se tiene la información adecuada y disponible, si bien es cierto que la gran variedad de materiales en la actualidad es basta, muchas veces esto logra ocultar los materiales que son útiles, aunado a esto si no se cuenta con la información

suficiente. Es de gran importancia que durante el diseño se considere que las medidas de las piezas se establezcan bajo estándares internacionales y de preferencia al Sistema Inglés. Al determinar los materiales que se ocuparán, es conocer si se cuenta con la tecnología y/o herramientas suficientes, y que éstas sean capaces de llevar a cabo su transformación. Es necesario tener un amplio conocimiento de los materiales existentes, caso contrario se debe comenzar por aumentar la información referente a esto, además de estar en contacto, observar y analizar los materiales para tener la certeza de ser los que se necesitan y si lograrán dar el resultado deseado. Es importante indagar acerca de proyectos anteriores o de carácter similar y examinar que tipos de materiales utilizaron y los problemas a los que se enfrentaron. Así mismo interactuar con el problema y evaluar todas las alternativas posibles para llegar a una solución, tener contacto directo, apreciarlo. Ver los obstáculos existentes dará un panorama general a lo que te enfrentas.

Del mismo modo que los materiales pueden convertirse en un obstáculo, también lo son los procesos de manufactura con los que se cuenta, ya sea construyendo una herramienta, prototipo, sistemas, etc., debemos observar si se existen los medios para realizarlos o se tendrá que buscar ayuda externa, debido a que el financiamiento por lo general es limitado y no se puede comprar todo lo que se requiere para lograrlo, se debe buscar la forma de crear un plan para llegar al objetivo con lo que se tiene disponible, aunado a esto, es importante conocer las capacidades de las máquinas existente y de las cuales se puedan hacer uso, y saber si estas son capaces de cumplir con los requerimientos de diseño deseados.

### **5.3 Uso del *chicole***

Un factor negativo en el uso del *chicole* para el corte de pitaya es que al buscar comercializar la fruta en otras regiones tanto en el extranjero como en el territorio nacional, resalta su método de fabricación artesanal, además de no poseer un mantenimiento ni un proceso de limpieza periódico, debido a los materiales con los que está compuesto y el riesgo de ser un foco de infección para la misma fruta; sobre este mismo punto debemos recalcar que existen normas como la **NOM-120-**

**SSA1-1994** que prohíbe el uso de herramientas que tengan contacto con alimentos y cuyos materiales estén fabricados de madera.

#### **5.4 Ideas a futuro**

Es importante para futuras investigaciones tomar en cuenta que la producción de pitayas comienza en mayo y no dura más de un mes; un periodo de tiempo corto para un trabajo de este tipo, además que tal producción solo se realiza una vez al año. Se debe recalcar que durante las pruebas no se hicieron prácticas en otras especies, como por ejemplo la jiotilla y el xoconostli; debido a que se estaba fuera de temporada; pero analizando la herramienta final y con la información obtenida se tiene la idea que, ajustando el accesorio 2; esto es; reduciendo su tamaño en cuanto a la longitud de su diámetro, se puede comenzar una experimentación del uso de la herramienta en estas especies.

#### **5.5 Cultivo de la pitaya**

Para finalizar es importante evidenciar que las prácticas de cosecha actuales no ayudan a la maximización de la recolección de fruta, debido a factores como la falta de atención que se le da a la planta, en parte a la idea de creer que no necesita cuidados para su desarrollo; así mismo, los productores descuidan la planta de las amenazas como plagas, insectos y particularmente de aves, estas últimas causan más daño al fruto que cualquiera; además de este abandono, no se busca la poda periódica de la planta, salvo para su propagación, y simplemente se le deja crecer hasta alturas en las cuales es imposible coger el fruto.

Por lo que se ha observado en la realización de este proyecto, se llega a la conclusión final de que el desarrollo comercial de la pitaya dependerá en gran medida del impulso que se aporte principalmente en la investigación y la creación de nuevos métodos que agilicen su producción, maximicen el rendimiento por planta, mejoren la presentación de la pitaya para su comercialización y así lograr un producto de calidad capaz de competir en mercados internacionales y de esta manera ayudando en el desarrollo económico de la Región Mixteca.

## Bibliografía

1. Avilán R., L., Rodríguez, M., & Ruíz, J. (s.f.). *El cultivo del Manguero en Venezuela: IX. Cuando y cómo realizar la cosecha del mango*. Recuperado el 18 de abril de 2012, de INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas)/ SIAN (Sistema de Información Agrícola Nacional): [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd48/texto/manguero.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd48/texto/manguero.htm)
2. Comisión del Codex Alimentarius. (2003). CAC/RCP 53-2003. *Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas* .
3. Comisión del Codex Alimentarius. (2003). CODEX STAN 237-2003. *Norma del Codex para la pitahaya* .
4. Esquivel, P. (2004). Los Frutos de las Cactáceas y su Potencial como Materia Prima. *Agronomía Mesoamericana* , 215-219.
5. *Food and Agriculture Organization*. (s.f.). Recuperado el 24 de MAYO de 2011, de Food and Agriculture Organization: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae075s/ae075s04.htm>
6. García, J. L., Noriega, S. A., Díaz, J. J., & de la Riva, J. (2006). Aplicación del Proceso de Jerarquía Analítica en la Selección de Tecnología Agrícola. *Agronomía Costarricense* , 107-114.
7. Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. MEXICO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA.
8. Ingeniería\_Agrícola. (s.f.). *angelfire*. Recuperado el 24 de mayo de 2011, de angelfire: <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/pitaya.htm>
9. Luna-Morales, C. d., & Aguirre R., J. R. (2001). Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *INTERCIENCIA VOL 26 N° 1* .
10. Luna-Morales, C. d., Aguirre Rivera, J. R., & Peña-Valdivia, C. B. (2001). Cultivares tradicionales mixtecos de *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* (Cactaceae). *Anales del Intituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72(2): 131-155. 2001* , pp. 131-155.



11. Luna-Morales, C. (2007). Ordenación y clasificación morfológica del fruto de cultivares mixtecos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en México. *Agrociencia Vol XI N° 2* , pág. 10-16.
12. Mercado Bañuelos, A., & Granados Sánchez, D. (1999). *La Pitaya, Biología, Ecología, Fisiología sistemática, Etnobotánica* (2002 ed.). Chapingo, Edo. de México, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
13. Montgomery, D. C. (2008). *Diseño y Análisis de Experimentos* (2 ed.). México: Limusa Wiley.
14. Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
15. Oddershede Herrera, A., Carrasco González, R., & Barham Abu-Muhor, E. (2008). Multi-criteria Decision Model for Assessing Health Service Information Technology Network Support Using the Analytic Hierarchy Process. *Computacion y Sistemas* , pp 173-182.
16. Oliveros Tascón, C. E., Benítez Mora, R., Álvarez Mejía, F., Aristizábal Tórres, I. D., Ramírez Gómez, C. A., & Sanz Uribe, J. R. (2005). Cosecha del café con vibradores portátiles del tallo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, vol. 58, núm. 1 , págs. 2697-2708.
17. Oliveros Tascón, C. E., Ramírez Gómez, C. A., Acosta Acosta, R., & Álvarez Mejía, F. (2005). Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, vol. 58, num. 2 , págs. 3003-3013.
18. Palomo Rivera, J. A. (1991). *Patente nº ES 2 020 430*. España.
19. PROFIAGRO. (5 de Agosto de 2011). [www.foninclusion.org.ec](http://www.foninclusion.org.ec). Recuperado el 5 de Agosto de 2011, de [www.foninclusion.org.ec](http://www.foninclusion.org.ec): [http://www.foninclusion.org.ec/archivos/documentos/estudio\\_de\\_prefactibilidad\\_ad\\_pitahaya.pdf](http://www.foninclusion.org.ec/archivos/documentos/estudio_de_prefactibilidad_ad_pitahaya.pdf)
20. Rebollar Alviter, Á., Romero Peñaloza, J., Cruz Hernández, P., & Zepeda Castro, H. (1997). *El cultivo de la pitaya (Stenocereus spp.), una alternativa para el trópico seco del estado de Michoacán* (2002 ed.). Texcoco, Edo. de México, México: Editorial Futura S.A.

21. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* , págs. 9-26.
22. Sánchez López, O. (2010). [www.utm.mx/~mtllo/Extensos/Enero.html](http://www.utm.mx/~mtllo/Extensos/Enero.html). Recuperado el 4 de Agosto de 2011, de [www.utm.mx/~mtllo/Extensos/Enero.html](http://www.utm.mx/~mtllo/Extensos/Enero.html)
23. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1982). NMX-FF-014-1982. *Productos alimenticios no industrializados, para uso humano-fruta seca-determinación de la resistencia a la penetración* . México.
24. Secretaría de Fomento y Desarrollo Industrial. (1993). NMX-E-202-1993-SCFI. *Industria del plástico-Poliamida 6/12-Especificaciones* . México.
25. Secretaría de Salud. (1994). NOM-120-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas* . México.
26. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (25 de abril de 2000). NOM-007-STPS-2000. *Actividades agrícolas-Instalaciones, maquinaria, equipo y herramientas-Condiciones de seguridad* . México.

### Bibliografía de figuras

1. Avilán R., L., Rodríguez, M., & Ruíz, J. (s.f.). *El cultivo del Manguero en Venezuela: IX. Cuando y cómo realizar la cosecha del mango*. Recuperado el 18 de abril de 2012, de INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas)/ SIAN (Sistema de Información Agrícola Nacional): [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd48/texto/manguero.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd48/texto/manguero.htm)
2. Griffini, A. (2006). *Patente nº ES 2 256 435 T3*. España.
3. Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. MEXICO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA.
4. *Marbletoolsupply*. (s.f.). Recuperado el 18 de abril de 2012, de <http://www.marbletoolsupply.com/catalogo2009/catalogo2009/53.php.htm>
5. Oliveros Tascón, C. E., Ramírez Gómez, C. A., Acosta Acosta, R., & Álvarez Mejía, F. (2005). Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, vol. 58, num. 2 , págs. 3003-3013.
6. Palomo Rivera, J. A. (1991). *Patente nº ES 2 020 430*. España.
7. TRUPER. (s.f.). [www.tujardin.co](http://74.117.159.232/~tujardin/tienda/index.php?route=product/product&filter_name=recolector+de+fruta&product_id=182). Recuperado el 18 de abril de 2012, de [http://74.117.159.232/~tujardin/tienda/index.php?route=product/product&filter\\_name=recolector de fruta&product\\_id=182](http://74.117.159.232/~tujardin/tienda/index.php?route=product/product&filter_name=recolector+de+fruta&product_id=182)

### Bibliografía de cuadros

1. *Aceros Fortuna 1018*. (s.f.). Recuperado el 10 de mayo de 2012, de Acero 1018:  
[http://www.acerosfortuna.com.mx/pdfs/aceros\\_especiales/1018data.pdf](http://www.acerosfortuna.com.mx/pdfs/aceros_especiales/1018data.pdf)
2. *Aceros Fortuna 304*. (s.f.). Recuperado el 10 de mayo de 2012, de Acero inoxidable 304:  
[http://www.acerosfortuna.com.mx/pdfs/aceros\\_especiales/304data.pdf](http://www.acerosfortuna.com.mx/pdfs/aceros_especiales/304data.pdf)
3. *Aceros Fortuna Nylamid*. (s.f.). Recuperado el 10 de mayo de 2012, de Productos industriales Nylamid:  
<http://www.acerosfortuna.com.mx/productos-industriales-nylamid.php>
4. Beer, F. P., Johnston, E. R., & Dewolt, J. T. (2007). *Mecánica de materiales*, 4° Ed. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
5. FerreCepsa. (s.f.). *FerreCepsa*. Recuperado el 6 de abril de 2012, de <http://www.ferreceptsa.com.mx/grados-acero-a-36.php>
6. Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. MEXICO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA.
7. Secretaría de Fomento y Desarrollo Industrial. (1993). NMX-E-202-1993-SCFI. *Industria del plástico-Poliamida 6/12-Especificaciones*. México.
8. SUMITECCR: *AISI 1018*. (s.f.). Recuperado el 10 de mayo de 2012, de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201018.pdf>
9. TERNIUM. (s.f.). *TERNIUM centroamérica*. Recuperado el 18 de abril de 2012, de <http://www.terniumcentroamerica.com/pdf/productos/HT-Placa-A36-CA.pdf>